引文格式：刘莉莉,王明涛,刘安琪,等. 黄河三角洲地区冰雹灾害风险区划研究[J]. 地理空间信息, 2024, 22(10): 108-112. doi:10. 3969/j. issn. 1672-4623.2024.10.026

黄河三角洲地区冰雹灾害风险区划研究
——以滨州市为例

刘莉莉[1,2]，王明涛[2*]，刘安琪[2]，张晓婧[2]
（1. 山东省气象防灾减灾重点实验室，山东 济南 256600；2. 滨州市气象局，山东 滨州 256612）

摘　要：为研究分析黄河三角洲地区冰雹灾害风险区划，为该地区防灾减灾、应急管理等提供气象理论依据。梳理了黄河三角洲地区国家级气象观测站1978—2020年历年发生冰雹灾害基本信息和致灾危险性因子，通过分析气象要素统计特征、气象灾害概率风险、人口密度、经济密度、农作物面积和人口、经济、农业脆弱性，得出危险性评估、暴露度指数和脆弱性指数，用归一化方法建立灾害风险评估模型，形成了黄河三角洲地区GDP、人口和农业气象灾害风险评估与区划。经过分析得出，滨州市冰雹危险性以较低以下为主，冰雹灾害GDP、人口、农业风险均以中风险以下为主，大体上由南向北逐步递减，较高以上风险在邹平市分布范围相对较广。

关键词：冰雹灾害；风险评估；滨州
中图分类号：P208　　**文献标志码：**B　　**文章编号：**1672-4623（2024）10-0108-05

Study on Risk Regionalization of Hail Disaster in the Yellow River Delta: Taking Binzhou City for Example

LIU Lili[1,2], WANG Mingtao[2], LIU Anqi[2], ZHANG Xiaojing[2]
(1. Shandong Key Laboratory of Meteorological Disaster Prevention and Reduction, Jinan 256600, China;
2. Binzhou Meteorological Bureau, Binzhou 256612, China)

Abstract: To study and analyze the risk regionalization of hail disasters in the Yellow River Delta region, and to provide meteorological theoretical basis for disaster prevention, reduction and emergency management in the region, we summarized the basic information and risk factors of hail disasters occurred at national meteorological observation stations in the Yellow River Delta region from 1978 to 2020. By analyzing the statistical characteristics of meteorological factors, probability and risk of meteorological disasters, population density, economic density, crop area, population, economy and agricultural vulnerability, we obtained hazard assessment, exposure index and vulnerability index. We used normalization method to establish a disaster risk assessment model, and formed the risk assessment and zoning of GDP, population, and agricultural meteorological disasters in the Yellow River Delta region. The results show that the risk of hail disaster in Binzhou City is mainly below low, and the GDP, population and agricultural risks of hail disasters are mainly below medium risk, gradually decreasing from south to north. The distribution ranges of higher and higher risks in Zouping City are relatively wide.

Key words: hail disaster, risk assessment, Binzhou

冰雹是一种剧烈的气象灾害，是由强对流天气引发的。它出现的时间短、影响范围小，但常常是来势汹汹、破坏力强，造成的损失巨大。滨州市地处黄河三角洲腹地，气候属于温带季风气候，夏季多雷雨天气，气象条件比较有利于冰雹的形成，此外该地区地势平坦，容易形成强烈的对流运动，这也是冰雹形成的一个重要因素。黄河三角洲地区的生态保护和高质量发展及滨州现代农业安全高效发展亟需大力提高冰雹预报准确率和灾害区划，合理防范。因此，为有效做好防范，减少灾害，探究冰雹灾害风险区划尤为重要[1-2]。

1　研究区域与数据

黄河三角洲地域范围主要包括滨州、东营全部以及淄博、潍坊、德州和烟台部分市、县，总面积2.65万km^2，占山东省总面积的1/6。黄河三角洲地区位于暖温带，冬寒夏热，四季分明，夏季温高湿大，多雷雨天气，比较有利于冰雹的形成。滨州市为该地区的中心城

收稿日期：2023-07-05。
第一作者简介：刘莉莉（1981—），本科，工程师，研究方向为应用气象，E-mail：51893068@qq.com。
通信作者：王明涛（1981—），本科，工程师，研究方向为大气科学，E-mail：hxwmt@163.com。

市。调查统计、收集了30 a以上长时间的连续序列数据资料，气象观测资料分析统计的时段主要从1978—2020年。历史冰雹过程的历年逐日冰雹日数、冰雹过程持续时间、冰雹最大直径、极大风速等基本信息和致灾危险性因子，采用附近农业气象观测站的土壤相对湿度、水分亏缺指数、农作物生育期相关的数据资料，数据来源于山东省气象部门[4-6]。

2　技术方法

2.1　冰雹灾害致灾因子选取

参考全国冰雹灾害风险普查技术规范最新版[8-10]，冰雹灾害致灾因子调查包括降雹日期、降雹频次、降雹开始时间、降雹结束时间、降雹持续时间、降雹时极大风速、最大冰雹直径、直接经济损失等信息数据，其中降雹持续时间、最大冰雹直径、直接经济损失等要素同时具备的较少，因此，选用降雹持续时间、冰雹日数和最大冰雹直径作为冰雹灾害致灾危险性评估的致灾因子进行冰雹灾害致灾危险性评估。

2.2　冰雹灾害致灾危险性评估

2.2.1　数据处理

对冰雹气象灾害的发生频次、强度、影响范围分别开展综合致灾危险性评估，包括冰雹灾害致灾危险性评估与制图、冰雹灾害事件数据库建立和技术标准规范研制。对冰雹灾害主要承灾体在特定时间段内出现致灾冰雹气象条件的危险性进行分析。从灾害事件的过程和影响出发，对冰雹灾害的致灾因子综合致灾危险性进行评估[9-13]。

数据加工处理方法主要用到归一化处理、熵值赋权法、气象资料延长订正、空间插值、信息扩散技术。

归一化通过转换将有量纲数值转化为无量纲，进而消除量纲差异。计算公式为：

$$x' = \frac{x - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \tag{1}$$

式中，x 为样本的数据；x' 为归一化后的数据；$x_{\min}$ 为最小值的样本数据；$x_{\max}$ 为最大值的样本数据。

熵值赋权法可以在致灾危险性、脆弱性和暴露度评价中涉及多评价因子的权重系数时确定。一个系统有序程度的高低，决定了熵值的大小，权重则反之。在一个评价指标中，差距越大的指标值在综合评价中的作用就越大，当某项指标的指标值相等时，在综合评价中没有作用[14-16]。

假设 n 个对象 和m 个指标构成评价体系，先计算第 i 项指标下第 j 个对象的指标值 r_{ij} 所占指标比重 P_{ij}：

$$P_{ij} = \frac{r_{ij}}{\sum_{j=1}^{n} r_{ij}} \quad (i=1,2,\cdots,m;j=1,2,\cdots,n) \tag{2}$$

再计算第 i 个指标的熵值 S_i：

$$S_i = -\frac{1}{\ln n}\sum_{j=1}^{n} P_{ij}\ln P_{ij} \quad (i=1,2,\cdots,m;j=1,2,\cdots,n) \tag{3}$$

最后计算第 i 个指标的熵权，从而确定了指标的客观权重 w_i：

$$w_i = \frac{1-S_i}{\sum_{i=1}^{m}(1-S_i)} \quad (i=1,2,\cdots,m) \tag{4}$$

气象资料延长订正：根据实际情况，区域自动站历史序列可用线性回归方法延长订正。线性回归模型描述两个要素之间的线性相关关系，如果两要素间有显著关系，可以用线性回归方程来表达：

$$\hat{y} = a + bx \tag{5}$$

式中，a 和 b 为回归系数；x 为自变数，y 为 x 相对应的依变数的点估计值。

空间插值：空间插值是采用反距离权重方法进行的。反距离权重插值法通过插值点和样本点间距离作为权重来进行加权平均，离插值点越近的样本点赋予权重越大。假设平面上分布一系列离散点，已知其坐标为 $Z_i(i=1,2,\cdots,n)$，其与待插值点 O 之间的距离为 $d_i(i=1,2,\cdots,n)$，则待插值点 O 的数值：

$$Z_O = \left[\sum_{i=1}^{n}\frac{Z_i}{d_i^k}\right] \Big/ \left[\sum_{i=1}^{n}\frac{1}{d_i^k}\right] \tag{6}$$

式中，Z_o 为插值点 O 的估计值；Z_i 为控制点 i 的值；d_i 为控制点 i 与点 O 间的距离；n 为在估计中用到的控制点的数目；k 为指定的幂。

信息扩散技术主要是来解决样本信息不充分、数据不完备的小样本概率分布估计问题，信息扩散技术的计算方法如下：

设样本数为 m 的气象要素指标论域为

$$U = \{u_1, u_2, \cdots, u_n\} \tag{7}$$

按照下式，一个单值观测样本 y_i 可以将其所携带的信息扩散给 U 中的所有点：

$$f_j(u_i) = \frac{1}{h\sqrt{2\pi}} e^{\frac{(y_j-u_j)^2}{2h^2}} \tag{8}$$

式中，h 为扩散系数，可根据样本集合中样本的最大值 b 、最小值 a 和样本个数 m 来确定，见下式：

$$h=\begin{cases}0.814\,6(b-a), m=5\\0.569\,0(b-a), m=6\\0.456\,0(b-a), m=7\\0.386\,0(b-a), m=8\\0.336\,2(b-a), m=9\\0.298\,6(b-a), m=10\\\dfrac{2.685\,1(b-a)}{m-1}, m\geq 11\end{cases} \tag{9}$$

令：

$$C_j=\sum_{i=1}^{n}f_j(u_i) \tag{10}$$

$$\mu_{y_j}(u_i)=f_j(u_i)/C_j \tag{11}$$

$$q(u_i)=\sum_{j=1}^{m}\mu_{y_j}(u_i) \tag{12}$$

$$Q=\sum_{i=1}^{n}q(u_i) \tag{13}$$

则 u_i 出现的概率为：

$$P(u_i)=q(u_i)/Q \tag{14}$$

2.2.2 致灾危险性等级划分

根据冰雹灾害风险指标值分布特征，定义风险等级区间，基于地理信息系统中自然断点分级法，将冰雹灾害致灾危险性划分为高、较高、较低和低4个等级。

2.3 冰雹灾害风险评估

2.3.1 技术方法

依据整个社会的经济状况和承受灾体的重要性，基于冰雹灾害致灾强度，对冰雹灾害的影响程度进行风险评估。依据风险评估结果，按照行政空间单元对风险评估结果进行空间划分。

2.3.2 风险等级划分

依据不同承灾体风险评估结果，结合行政单元进行空间划分。基于地理信息系统中自然断点分级法，将冰雹灾害风险等级划分为高、较高、中、较低和低5个等级。

2.3.3 冰雹灾害风险区划技术

选用海拔高度作为冰雹灾害发生的孕灾环境敏感性指数（*VH*）。采用自然断点法将高程分为5个等级，按照高程越高越敏感进行赋值。

根据评估区域的实际情况以及国普办下发的数据选择承灾体对象，选取各点的人口密度、GDP、农作物面积（小麦、玉米等），结合致灾因子致灾危险性指数（*VE*）、孕灾环境敏感性指数（*VH*）、承灾体易损性指数（*VS*）（包括承灾体暴露度和脆弱性）采用加权求积，得到评估区域内的不同承灾体的冰雹灾害风险评估指数 $(V)=VE^{WE}\times VH^{WH}\times VS^{WS}$，*WE*、*WH*、*WS* 分别为各指数权重，权重比为5∶2∶3，各权重系数之和为1。

根据冰雹灾害风险指标值分布特征，定义风险等级区间，基于地理信息系统中自然断点分级法，将冰雹灾害风险等级划分为高、较高、中、较低和低5个等级。

3 结果与分析

3.1 冰雹致灾危险性分析

3.1.1 冰雹历史特征值统计

滨州市1978—2020年历年冰雹日数呈减少趋势，1980年冰雹日数相对最多，为1.6 d，共计6 a的冰雹日数达到1 d，共计7 a没有出现冰雹日。利用滨州市周边国家气象站历年冰雹日数数据，采用反距离权重插值方法插值得到滨州市冰雹日数空间分布图，滨州市历年冰雹日数大体上由中部向南向北逐渐增多，其中以滨城区南部、博兴县中南部、惠民县北部等地冰雹出现日数最少，平均每年冰雹日数少于1 d，滨城区东北部、博兴县北部边缘、无棣县和沾化区的南部最多，平均每年冰雹日数超过1.2 d。

3.1.2 冰雹危险性评估分析

冰雹致灾因子选取滨州市及临近的国家气象站历年冰雹日数、最大冰雹直径和降雹持续的时长数，对各站冰雹信息进行空间归一化后，采用反距离插值方法得到滨州市冰雹危险性评估结果并进行制图，结果见图1。滨州市沾化区、无棣县大部、滨城区及博兴县的东北部、邹平市西南部以及惠民县北部的小部分地区冰雹危险性较高，其他地区均为较低或低危险性地区。



图1 冰雹危险性区划图

审图号：鲁SG(2023)017号

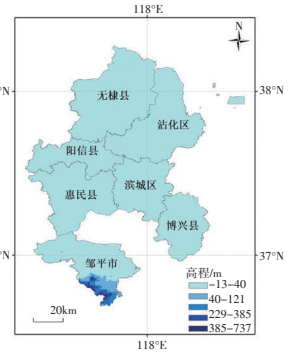


图2 滨州市冰雹孕灾环境分布图

审图号：鲁SG(2023)017号

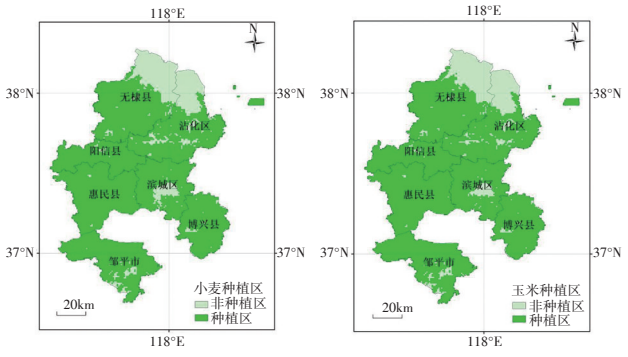
3.2 冰雹风险评估与区划

3.2.1 冰雹孕灾环境敏感性

选用海拔高度作为冰雹发生日数的孕灾环境敏感性指数（*VH*）。采用自然断点法将高程分为5个等级，按照高层越高越敏感进行赋值（图2）。

3.2.2　冰雹承灾体易损性评估

滨州市的人均GDP以城市建成区所在地最高，特别是滨城区和邹平市城区，达7亿元以上，其他大部分地区都在1亿元以下。与GDP分布相似，滨州市人口密度以城市建成区所在地最高，其中滨城区、邹平市和博兴县城区人口密度达6 600人以上，其次为各村镇地区，人口密度在1 300人以下，北部沿海地区人口密度最小，小于312人。滨州市小麦和玉米分布图（图3）表明：惠民县大部、阳信县、滨州市西部、博兴县大部和邹平市中北部地区种植小麦比较密集，无棣县中南部、阳信县大部、惠民县北部、沾化县南部、滨州市北部、博兴县大部和邹平县中部地区种植玉米比较密集。选取格点的人均GDP、人口密度、小麦、玉米等农作物面积，分别建立承灾体易损性指数（*VS*），包括暴露度（*VD*）和脆弱性（*VF*），即$VS=VD\cdot VF$。当无法获取冰雹造成的直接GDP损失、人员伤亡、农作物受灾面积等数据时，则直接用承灾体暴露度表征其易损性。



a 小麦种植分布图　　b 玉米种植分布图

图3　滨州市农作物种植分布图

审图号：鲁SG(2023)017号

3.2.3　冰雹灾害风险评估

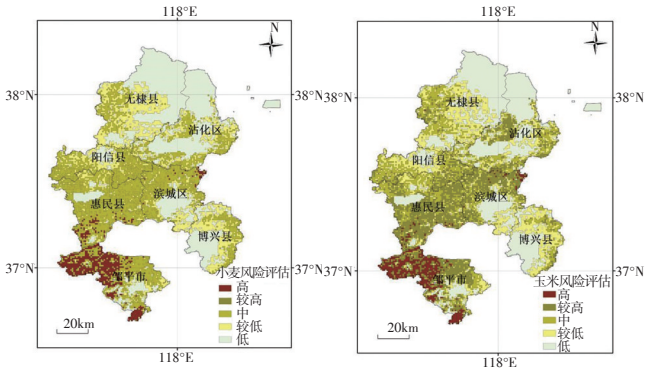
结合致灾因子危险性指数（*VE*）、孕灾环境敏感性指数（*VH*）、承灾体易损性指数（*VS*），以加权求积的方法对不同承灾体进行风险评估，（*V*）=$VEWE\cdot VHWH\cdot VSWS$，*VS*为承灾体易损性，包括暴露度（*VD*）和脆弱性（*VF*），即$VS=VD\times VF$。*WE*、*WH*、*WS*分别为各指数权重，权重比为5∶2∶3，各权重系数之和为1。计算前各因子进行归一化处理，利用熵权法、专家打分法等确定权重。

以GDP为承灾体进行风险评估时，以地均GDP表征暴露度，冰雹灾害直接GDP损失占GDP的比重表征脆弱性；以人口为承灾体进行风险评估时，以人口密度表征暴露度，冰雹灾害造成人员伤亡数占人口比重表征脆弱性；以农业为承灾体进行风险评估时，以小麦、玉米、水稻等农作物播种面积表征暴露度，以农业受灾面积占播种面积比重表征脆弱性。由于获取的冰雹造成的直接GDP损失、人员伤亡、农作物受灾面积等数据极少，直接用承灾体暴露度表征其易损性。

根据冰雹灾害风险指标值分布特征，定义风险等级区间，基于地理信息系统中自然断点分级法，将冰雹灾害风险按5级分区划分为高、较高、中等、较低和低风险区。

滨州市冰雹灾害GDP风险区划结果表明：邹平市南部、滨城区中部、惠民县城附近、沾化城区附近、无棣县城附近GDP冰雹灾害风险为高或较高；阳信县中南部地区GDP冰雹灾害风险为中；其他地区GDP冰雹灾害风险以较低或低为主。

滨州市冰雹灾害人口风险区划结果表明（图4）：邹平市南部、滨城区中部、惠民县城附近、无棣县城附近、沾化城区附近人口冰雹风险为高或较高；邹平市西北部、无棣县北部、阳信县中部、惠民县南部和中部偏北的地区冰雹灾害人口风险为中；其他地区的人口冰雹灾害风险为较低或低。



a 小麦　　b 玉米

图4　滨州市冰雹灾害小麦和玉米风险区划图

审图号：鲁SG(2023)017号

滨州市冰雹灾害小麦风险区划结果表明：惠民县大部、邹平市北部、滨州市中北部、阳信县东部地区小麦冰雹灾害风险为高或较高；博兴县东部、无棣县西部、沾化区东部和南部地区小麦冰雹风险为中；其他地区小麦冰雹风险为较低或低。

滨州市冰雹灾害玉米风险区划结果表明：惠民县大部、邹平市北部、滨州市中北部、阳信县东部、沾化区西北地区玉米冰雹灾害风险为高或较高；博兴县东部、无棣县西部、沾化区东部和南部地区玉米冰雹风险为中；其他地区玉米冰雹风险为较低或低。

4　结　论

1）滨州市历年平均冰雹日数呈减少趋势，空间

分布大体上由中部向南向北逐渐增多。

2）滨州市沾化区、无棣县大部、滨城区及博兴县的东北部、邹平市西南部以及惠民县北部的小部分地区冰雹高危险性较高，其他地区均为低危险性地区。

3）平市南部、滨城区中部、惠民县城附近、沾化城区附近、无棣县城附近GDP冰雹灾害风险为高或较高；阳信县中南部地区GDP冰雹灾害风险为中；其他地区GDP冰雹灾害风险以较低或低为主。

4）邹平市南部、滨城区中部、惠民县城附近、无棣县城附近、沾化城区附近人口冰雹风险为高或较高；邹平市西北部、无棣县北部、阳信县中部、惠民县南部和中部偏北的地区冰雹灾害人口风险为中；其他地区的人口冰雹灾害风险为较低或低。

5）惠民县大部、邹平市北部、滨州市中北部、阳信县东部地区小麦冰雹灾害风险为高或较高；博兴县东部、无棣县西部、沾化区东部和南部地区小麦冰雹风险为中；其他地区小麦冰雹风险为较低或低。惠民县大部、邹平市北部、滨州市中北部、阳信县东部、沾化区西北地区玉米冰雹灾害风险为高或较高；博兴县东部、无棣县西部、沾化区东部和南部地区玉米冰雹风险为中；其他地区玉米冰雹风险为较低或低。

参考文献

[1] 尹丽云,梅寒,张腾飞,等. 云南省精细化冰雹灾害危险性区划分析[J]. 灾害学,2022,37(3):99-105

[2] 仇莉,王凌军,郑小阳,等. 延安市冰雹时空分布及灾害特征[J]. 陕西气象,2022(4):37-41

[3] 王丽荣,李姣,张素云,等. 雷达对冰雹灾害落区的跟踪及鉴定[J]. 灾害学,2019,34(3):66-70

[4] 梁轶,王景红,邸永强,等. 陕西苹果果区冰雹灾害分布特征及风险区划[J]. 灾害学,2015,30(1):135-140

[5] 邓晓斌. 基于ArcGIS两种空间插值方法的比较[J]. 地理空间信息,2008,6(6):85-87

[6] 王峰,田世芹,魏敏. 滨州市冰雹灾害特征分析及区划研究[J]. 气象研究与应用,2018,39(3):44-47

[7] 陶云,段旭,杨明珠. 云南冰雹的时空分布特征及其气候成因初探[J]. 南京气象学院学报,2002,25(6):837-842

[8] 赵文慧,姚展予,贾烁,等. 1961—2015年中国地区冰雹持续时间的空间分布特征及影响因子研究[J]. 大气科学,2019,43(3):539-551

[9] 蔡义勇,王宏,余永江. 福建省冰雹时空分布与天气气候特征分析[J]. 自然灾害学报,2009,18(4):43-48

[10] 马卫春,杨友长. 基于Python的ArcGIS Server地图瓦片定时自动更新方法[J]. 地理空间信息,2013,11(1):147-149

[11] 马振兴. 天津市自然灾害特征及防治对策[J]. 自然灾害学报,2006,15(5):89-92

[12] 郑丽娜,刘畅,宿秋兰,等. 2019年6月黄河口6次局地冰雹实例分析[J]. 海洋气象学报,2020,40(1):79-89

[13] 包云轩,覃文娜,高苹,等. 江苏省近30年冰雹灾害的时空变化规律[J]. 自然灾害学报,2012,21(5):198-206

[14] 王秀玲,郭丽霞,高桂芹. 唐山地区冰雹气候特征与雷达回波分析[J]. 气象,2012,38(3):344-348

[15] 周兰,岳耀杰,栗健,等. 冰雹灾害承灾个体脆弱性评估研究进展[J]. 中国农业气象,2014,35(3):330-337

[16] 温华洋,田红,唐为安,等. 安徽省冰雹气候特征及其致灾因子危险性区划[J]. 中国农业气象,2013,34(1):88-93

（上接第8页）

Wet and Drained Soils, and Construct Ed Wetlands[R]. Switzerland:IPCC,2014

[2] Zuo C, Gong W, Gao Z, et al. Correlation Analysis of CO_2 Concentration Based on DMSP-OLS and NPP-VIIRS Integrated Data[J]. Remote Sensing,2022,14(17):4 181

[3] 赵乘锐,李鑫,张鹏,等. 基于夜间灯光数据整合的县级尺度碳排放时空格局演变研究:以哈长城市群为例[J]. 大众标准化,2022,371(12):82-86

[4] 苏泳娴,陈修治,叶玉瑶,等. 基于夜间灯光数据的中国能源消费碳排放特征及机理[J]. 地理学报,2013,68(11):1 513-1 526

[5] Meinshausen M, Meinshausen N, Hare W, et al. Greenhouse-gas Emission Targets for Limiting Global Warming to 2 C[J]. Nature,2009,458(7 242):1 158-1 162

[6] 郭忻怡,闫庆武,谭晓悦,等. 基于DMSP/OLS与NDVI的江苏省碳排放空间分布模拟[J]. 世界地理研究,2016,25(4):102-110

[7] 许燕燕,周廷刚,李洪忠,等. 基于DMSP/OLS夜间灯光数据的成渝城市群碳排放时空动态特征研究[J]. 环境污染与防治,2019,41(12):1 504-1 511

[8] Meng X, Han J, Huang C. An Improved Vegetation Adjusted Nighttime Light Urban Index and Its Application in Quantifying Spatiotemporal Dynamics of Carbon Emissions in China[J]. Remote Sensing,2017,9(8):1-20

[9] 吕倩,刘海滨. 基于夜间灯光数据的黄河流域能源消费碳排放时空演变多尺度分析[J]. 经济地理,2020,40(12):12-21

[10] 曹子阳,吴志峰,匡耀求,等. DMSP/OLS夜间灯光影像中国区域的校正及应用[J]. 地球信息科学学报,2015,17(9):1 092-1 102