

引用格式:廖书冰,蔡宏,袁艳琼,等.夜间灯光数据表征的区域经济发展水平对老年人高血压与Ⅱ型糖尿病患病率分布的影响[J].地球信息科学学报,2020,22(11):2177-2187. [ Liao S B, Cai H, Yuan Y Q, et al. Impact of regional economic development represented by nighttime light on the prevalence rate of elderly hypertension and type 2 diabetes[J]. Journal of Geo-information Science, 2020,22(11):2177-2187. ] DOI:10.12082/dqxxkx.2020.190743

# 夜间灯光数据表征的区域经济发展水平对老年人高血压与Ⅱ型糖尿病患病率分布的影响

廖书冰<sup>1</sup>, 蔡宏<sup>1\*</sup>, 袁艳琼<sup>2</sup>, 张蓓蓓<sup>1</sup>, 李义平<sup>1</sup>

1. 贵州大学矿业学院, 贵阳 550025; 2. 湖南省常宁市三角塘医院, 常宁 421500

## Impact of Regional Economic Development Represented by Nighttime Light on the Prevalence Rate of Elderly Hypertension and Type 2 Diabetes

LIAO Shubing<sup>1</sup>, CAI Hong<sup>1\*</sup>, YUAN Yanqiong<sup>2</sup>, ZHANG Beibei<sup>1</sup>, LI Yiping<sup>1</sup>

1. College of Mining, Guizhou University, Guiyang 550025, China; 2. Sanjiaotang Hospital, Changning City, Changning 421500, China

**Abstract:** The prevalence of elderly hypertension and type 2 diabetes diseases have a strong positive correlation with regional socioeconomic development. As nighttime light images can reflect the regional socio-economic development directly, the application of nighttime light data to study of diseases in the elderly become very significant. Selecting Changning City as the study area, this paper analyzed the difference in spatial distributions of the prevalence of elderly hypertension and type 2 diabetes among 26 townships based on the LuoJia1-01 nighttime light data and the prevalence rate data of these two diseases in the study area. The spatial distribution of the prevalence of these two diseases in the study area was simulated by linear regression models. Results show that: (1) The correlation between mean nighttime light values and prevalence of hypertension or type 2 diabetes was stronger than that between total nighttime light values and prevalence of hypertension or type 2 diabetes. The relationship between mean or total nighttime light values and prevalence of hypertension was weaker than that between mean or total nighttime light values and prevalence of type 2 diabetes in the elderly; (2) The impacts of mean nighttime light on the distribution of the both diseases were larger than that of total nighttime value. And both the mean and total nighttime light had larger impacts on the spatial distribution of type 2 diabetes; (3) The risk of the elderly living in areas with high nighttime light was 6.493 times higher than those living in areas with low nighttime light, with the OR value for type 2 diabetes was 8.556; and (4) The linear regression model between the prevalence of either elderly hypertension or type 2 diabetes and mean nighttime light showed a high accuracy, which could accurately predict the spatial distribution of the prevalence of hypertension or type 2 diabetes of the elderly in the study area. Our research results can provide reference for the application of nighttime light data in disease researches and the analysis of the causes of regional hypertension

收稿日期:2019-11-28;修回日期:2020-03-02.

基金项目:贵州省科技计划项目(黔科合基础[2016]1028);贵州大学人才引进项目(贵大人基合字[2015]28)。[ **Foundation items:** Science and Technology Program of Guizhou Province, No.[2016]1028; Talents Introduction Funding Project of Guizhou University; No.[2015]28.]

作者简介:廖书冰(1994—),男,湖南常宁人,硕士生,主要研究方向为资源环境遥感。E-mail: shubingliao94@126.com

\*通讯作者:蔡宏(1980—),女,甘肃金昌人,副教授,主要研究方向为资源环境遥感。E-mail: 588cai@163.com

and type 2 diabetes diseases in the elderly, as well as the investigation and prediction of similar diseases.

**Key words:** LJ1-01; nighttime light; hypertension; type 2 diabetes; Pearson's correlation coefficient; Odd Ratio; spatial distribution of prevalence; modeling

**\*Corresponding author:** CAI Hong, E-mail: 588cai@163.com

**摘要:**区域社会经济发展程度与老年慢性病患者率有着极强的正相关关系,而夜间灯光强度是区域经济发展程度的直接反征;因此,使用夜间灯光数据进行老年慢性病研究具有重要的现实意义。本文以湖南省常宁市为研究对象,结合珞珈一号夜间灯光数据和研究区各乡镇老年高血压及Ⅱ型糖尿病患病率统计数据,对常宁市26个乡镇单位老年高血压和Ⅱ型糖尿病患病率的分布特征差异进行了分析,进而通过建立模型模拟了研究区2种老年慢性病患者率的空间分布。研究结果表明:①研究区夜间灯光均值与老年高血压及Ⅱ型糖尿病患病率的相关性都强于夜间灯光总量,且老年Ⅱ型糖尿病患病率与夜间灯光强度之间的关系要强于老年高血压患病率;②对于同种慢性病患者率的分布,夜间灯光均值的影响要大于夜间灯光总量,且夜间灯光总量和均值对糖尿病患病率分布的影响均大于老年高血压患病率;③居住在高夜间灯光均值地区的老年人患高血压的风险是低夜间灯光均值地区的6.493倍,患Ⅱ型糖尿病的风险为8.556倍;④研究区老年高血压及Ⅱ型糖尿病与夜间灯光均值的一元线性拟合模型精度较高,可以较为精确地在模拟研究区老年高血压和Ⅱ型糖尿病的患病率的空间分布。该研究成果可为夜间灯光数据在疾病研究中的应用和区域性老年人高血压及Ⅱ型糖尿病患病原因分析,及相似病种患病情况的调查和预测提供参考。

**关键词:**珞珈一号;夜间灯光;高血压;Ⅱ型糖尿病;皮尔逊相关性分析;OR值;患病率空间分布;模型拟合

## 1 引言

随着我国近些年来的快速发展,我国居民的生活水平显著提高,生活方式与饮食习惯也随之发生巨大的改变,中老年人高血压和Ⅱ型糖尿病等慢性病的患病率已经成为一个不可忽视的社会问题<sup>[1]</sup>。大量研究表明,性别、吸烟、肥胖、血脂异常等因素与2种慢性病有着极强的相关关系;此外,社会经济因素,如受教育程度,职业类型,经济收入等对患病率的影响也十分重大<sup>[2-4]</sup>。社会经济因素对慢性病的患病率的影响随国家间的发展水平变化而变化。在发展中国家,社会经济因素对2种慢性病的影响主要体现为社会经济水平较高的人群患病率较高,而发达国家却正好相反<sup>[5-6]</sup>。近些年来,学者们对我国2种慢性病患者率与居民社会经济因素之间的关系开展了一系列研究,结果表明,社会经济因素(如家庭经济收入、受教育程度,区域经济发展水平等),与高血压和Ⅱ型糖尿病的患病率之间有着最密切的流行病学联系,是影响研究人群糖尿病患病率的重要因素<sup>[7-9]</sup>。

夜间灯光影像作为城市化、人口密度、经济增长、居民收入及社会经济地位的直接表征,是遥感在社会经济领域的应用研究中的重要数据<sup>[10-11]</sup>。目前,夜间灯光数据在城市用地扩张格局<sup>[12]</sup>、人口分布空间特征<sup>[13]</sup>、城市环境监测<sup>[14]</sup>、区域能源消费等领域的应用已经十分成熟,形成了比较完整的理论体

系;除此之外,学者们也拓展了夜间灯光数据在人道主义灾难评估和城市热环境监测等领域的应用。传统疾病研究中,目标人群的社会经济地位,家庭收入等数据通常经问卷调查获取,也可从研究区政府统计部门获取。但问卷调查获取的家庭收入数据效率低,工作量大,较少用于大范围研究;而统计数据又存在尺度过大且分布不连续等特点,夜间灯光数据以其分辨率较高,覆盖范围广且连续分布和容易获取等优势,逐渐作为一个重要的社会经济因子被学者们引入到疾病研究领域。Kloog等<sup>[15]</sup>和Bauer等<sup>[16]</sup>的研究表明,夜间灯光强度与以色列和美国佐治亚州的乳腺癌的发病有着极强的正相关关系;Kloog等<sup>[17]</sup>的另一个研究表明,全球男性前列腺癌的患病率与夜间灯光强度显著相关;Laohasiriwong等<sup>[18]</sup>的研究表明,将夜间灯光数据作为描述社会经济发展状况的综合指标,可以很好地解释泰国76省高血压患病率之间的差异。

近年来,常宁市政府十分重视基层慢性病监管和防治工作,并对此开展了一系列调研。然而,在乡镇尺度上研究2种疾病的患病率存在问卷调查工作量大,乡镇尺度的统计数据又非常缺乏的窘境。因此,在珞珈一号夜间灯光数据分辨率可以满足研究要求的情况下,本文以湖南省常宁市为研究区,尝试使用珞珈一号卫星影像提取的研究区夜间灯光强度作为表征研究区社会经济发展状况的综合指标,通过进行相关性分析及计算OR值等方法分

析其对研究区2种老年慢性病患病率分布特征的影响;并在此基础上建立一元线性拟合模型,分别将研究区老年高血压及老年糖尿病的患病率数据从区域尺度降至像元尺度,从而在更小尺度上识别2种老年慢性病易发地区。

## 2 研究区概况、数据来源与研究方法

### 2.1 研究区概况

研究区选取为湖南省常宁市,该市为湖南省衡阳市代管的县级市。如图1所示,常宁市地处 $26^{\circ}07'N-26^{\circ}36'N$ ,  $112^{\circ}07'E-112^{\circ}41'E$ ,面积 $2046.6\text{ km}^2$ ,下辖宜阳街道等3个街道,白沙镇等17个乡镇和塔山瑶族乡,常住人口约80.5万人,GDP为331.93亿元,城镇化率为48.8%,城镇和农村人均可支配收入分别为32 006元和16 790元。常宁市位于亚热带季风气候区,水热条件好,土地肥沃,农业以种植业为主,以油茶为代表的经济作物享誉全国;自然资源方面,常宁市矿产资源丰富,铅锌矿储量居全国首位。常宁市工业发达,工业产值占全市GDP近三分之一,旅游业与服务业占GDP比重也在逐年上升。

### 2.2 数据来源与预处理

由于常用的DMSP/OLI和NPP/VIRS夜光数据

空间分辨率的限制,本文选取的夜间灯光数据为来源于高分辨率对地观测系统湖北数据与应用中心高分数据平台的LuoJia1-01夜间灯光数据,为武汉大学“珞珈一号”科学实验卫星01星搭载的CMOS传感器获得的GEC系统几何纠正产品,成像时间为2018年9月3日,分辨率为130 m(数据由“高分分辨率对地观测系统湖北数据与应用网”(http://www.hbeos.org.cn/)提供)。

老年人高血压及Ⅱ型糖尿病患病率数据由常宁市疾病预防控制中心提供。该数据由2018年常宁市卫生健康局组织的全市各乡镇/街道65岁以上中老年人集中体检结果整理而得(由21个现存乡镇/街道和原盐湖镇等5个乡镇分别检查并统计),样本量约10万人,基本覆盖全市常住人口中65岁以上的老年人,比较具有代表性珞珈一号夜间灯光影像存在背景噪声,需要对原始影像进行去噪处理才能获得有效灯光值。钟亮等<sup>[19]</sup>的研究表明,将夜间灯光亮度DN值数量关系中的断点值作为噪声点与非噪声点的近似临界值,可以有效去除珞珈一号灯光数据的噪声。如图2所示,研究区影像夜间灯光图像DN值数量分布图在DN值为710附近有明显的断点。因此,本文将DN值为710作为区分噪声与有效像元的阈值,将DN值小于710的像元进行掩膜。此外,Zhao<sup>[20]</sup>等提出,夜光影像还存在部分位于非城区位置的高DN值像元,这些像元主要

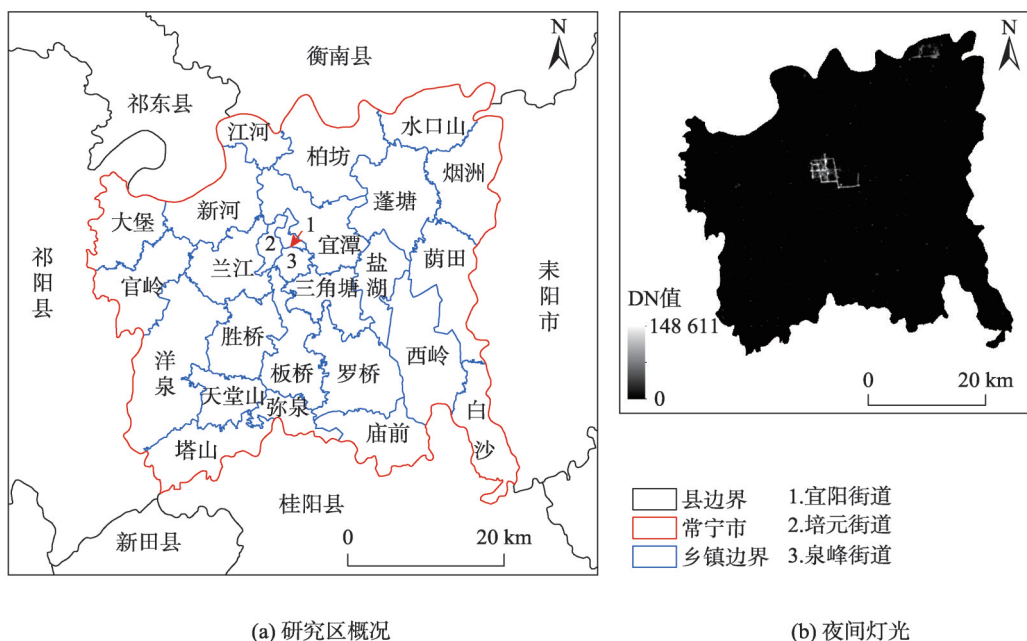


图1 研究区概况及夜间灯光图像

Fig. 1 Introduction and nighttime light of the study area

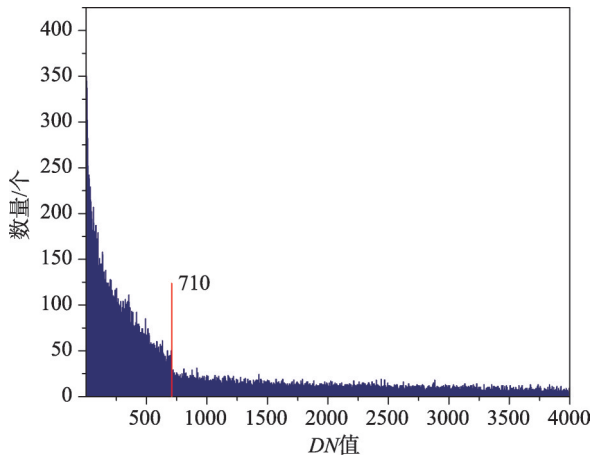


图2 衡阳市范围内珞珈一号夜间灯光不同亮度值之间数量的关系

Fig. 2 Distribution of DN values of LuoJial-01 nighttime light data of Hengyang

为火点或油气田等,如果不进行去除,会对研究结果造成影响。因此,本文将衡阳市GDP总值最高的耒阳市城区范围内DN最大值220 903作为极大值阈值,影像中被过滤的像元DN值被替换为临近像元DN值的平均值。

前人研究表明<sup>[21-22]</sup>,夜间灯光总值( $SUM_{LAT}$ )与夜间灯光均值( $MEAN_{LAT}$ )是反映区域社会发展情况的2个重要指标,其计算公式分别如式(1)、式(2)所示。研究区各乡镇夜间灯光总值和均值的提取使用ArcGIS软件的Spatial Analyst模块实现。

$$SUM_{LAT} = \sum_{i=1}^n DN_i \quad (1)$$

$$MEAN_{LAT} = \frac{SUM_{LAT}}{n} \quad (2)$$

式中: $DN_i$ 为区域内第*i*个有效像元的DN值; $n$ 为区域内有效像元的个数。考虑到背景值(即DN值小于710的像元)所代表的区域人口密度极低,故将其视为无人居住区域,不参与上述计算。

### 2.3 分析方法

皮尔逊相关性分析用于分析夜间灯光强度与2种老年慢性病患者率之间的相关性,并确定与2种慢性病患者率进行拟合的最佳夜间灯光强度指标。皮尔逊相关系数*r*的取值为-1至1,其绝对值越接近1表明2种变量之间的线性关系越明显。筛选出最佳夜间灯光强度指标后,对该指标与2种慢性病患者率进行拟合分析,得到夜间灯光强度与2种慢性病患者率的线性模型,如式(3)所示。

$$R_i = a \times LAT + b \quad (3)$$

式中: $R_i$ 为常宁市疾病预防控制中心提供的慢性病*i*的患病率; $a$ 为回归系数; $b$ 为常数项; $LAT$ 为夜间灯光强度参数,由相关性分析结果确定。

为了获得像元尺度下的2种慢性病患者率分布图,需要将回归模型从区域尺度转换到像元尺度。参考前人的<sup>[23-24]</sup>研究,像元尺度的回归模型如式(4)所示。

$$R_{ij} = a \times LAT_j + b/n_j \quad (4)$$

式中: $R_{ij}$ 为慢性病*i*在*j*像元的患病率; $a$ 为式(3)所得的回归系数; $b$ 为式(3)所得常数项; $LAT_j$ 为*j*像元的夜间灯光强度参数; $n_j$ 为*j*像元所在区域有效像元的数量。

考虑到模型拟合的误差影响,参考武娜等<sup>[25]</sup>的研究,构建像元尺度下的患病率比例系数 $m_{ij}$ 修正基于线性拟合模型计算得出的2种慢性病初始患病率,使模拟出的像元尺度患病率更接近实际情况。具体计算方法如式(5)所示。

$$m_{ij} = R'_i / R_i \quad (5)$$

$$R'_{ij} = m_{ij} \times R_{ij} \quad (6)$$

式中: $m_{ij}$ 为像元*j*所在的区域慢性病*i*患病率的比例系数; $R_i$ 为该区域经式(3)计算得出的慢性病*i*的患病率模拟值; $R'_i$ 为该区域慢性病*i*的患病率统计值; $R_{ij}$ 为像元*j*经式(4)计算得出的慢性病*i*的患病率模拟值; $R'_{ij}$ 为修正后的慢性病*i*在像元*j*的患病率。

地理探测器一种探测空间分异性,以及揭示其背后驱动力的一组统计学方法,其中,的因子探测器主要用来探测因子(*X*)多大程度上解释了变量(*Y*)的空间分异,用*q*值度量。*q*的值为0-1。*q*值越大,表示因子*X*对属性*Y*的解释力越强,反之则越弱<sup>[26-27]</sup>。本文应用因子探测器的主要目的是分析用夜间灯光强度表征的区域经济发展水平对2种慢性病患者率空间分布特征的影响。

OR值(Odd Ratio)又称暴露比,指病例组中暴露人数与非暴露人数的比值除以对照组中暴露人数与非暴露人数的比值,是流行病学研究中病例对照研究中的一个常用指标。本文以OR值与95%置信区间(95% CI)分析揭示用夜间灯光强度表征的区域经济发展水平与2种慢性病患者率之间的流行病学联系。

### 3 结果及分析

#### 3.1 常宁市各乡镇夜间灯光强度及老年慢性病发病率分布概况

按照自然断裂点法将研究区各乡镇的夜间灯光强度指标和2种疾病发病率分为3个等级,如表1所示。整体上常宁市夜间灯光强度分布不均匀,呈现城区3个街道明显大于非城区的特征。位于城区的培元、泉峰2个街道办事处2种夜间灯光强度指标均高于其他非城区乡镇单位,宜阳街道虽然夜间灯光总量略逊于水口山镇,但是夜间灯光均值却位列所有乡镇单位第一位。在非城区乡镇中,水口山镇和三角塘镇夜间灯光强度虽然不及城区3个街道,但要略高于其他乡镇。2种老年慢性病患者分布情况与夜间灯光强度分布情况基本一致,除了原兰江乡,原盐湖镇和塔山瑶族自治乡2种慢性病的患病率相比较其夜间灯光强度来说明显偏高之外,其余乡镇单位2种慢性病患者率等级均与其夜间灯光强度等级一致;城区3个街道办事处2种慢性病发病率均远远高于其他乡镇;而在非城区乡镇中,水口山镇和三角塘镇的2种慢性病患者率稍高于其他乡镇。

#### 3.2 夜间灯光强度指标与慢性病患者率分布差异的联系

皮尔逊相关性分析结果如表2所示。相关性分

析结果表明,夜间灯光均值和夜间灯光总量与2种慢性病的患病率的相关性均为显著( $p<0.01$ )。其中,夜间灯光均值与老年高血压患病率的相关系数为0.880,与老年Ⅱ型糖尿病患病率的相关系数为0.948,均大于夜间灯光均值与老年高血压患病率( $r=0.777$ )和老年Ⅱ型糖尿病患病率的相关系数( $r=0.826$ ),说明夜间灯光均值与2种老年慢性病患者率之间的相关性更强。此外,2种夜间灯光强度指标与Ⅱ型糖尿病患病率的相关系数均大于与高血压患病率的相关系数,说明相比于高血压,夜间灯光强度与Ⅱ型糖尿病的患病率的关系更为密切。

地理探测分析结果(表3)表明,虽然研究区各乡镇的夜间灯光总量与均值均对2种老年慢性病患者率的分布有较大的影响,但是夜间灯光总量和均值对糖尿病患病率分布的影响(分别为 $q=0.845$ , $p<0.01$ 和 $q=0.963$ , $p<0.01$ )均大于对老年高血压患病率分布的影响(分别为 $q=0.663$ , $p<0.05$ 和 $q=0.759$ , $p<0.01$ ),且对于同种慢性病患者率分布的影响,夜间灯光均值要强于夜间灯光总量,与相关性分析结果相一致。

OR值计算是流行病学研究的一种传统的方法,被广泛应用于高血压和Ⅱ型糖尿病的流行病学研究中。大多数研究常常参照统计数据或问卷调查所得的社会经济数据对样本进行划分,但使用夜间灯光强度区分暴露组与非暴露组的研究并不多

表1 常宁市各乡镇夜间灯光强度指标及2种慢性病发病率统计

Tab. 1 Nighttime light and the prevalence rate of elderly hypertension and type 2 diabetes of Changning

| 指标         |                                                                    | 乡、镇、街道办事处                                                                                     |
|------------|--------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
| 夜间灯光总值     | 高( $\text{SUM}_{\text{LAT}} \geq 10 \times 10^6$ )                 | 培元街道,泉峰街道                                                                                     |
|            | 较高( $3 \times 10^6 \leq \text{SUM}_{\text{LAT}} < 7 \times 10^6$ ) | 水口山镇,宜阳街道,三角塘镇                                                                                |
|            | 低( $\text{SUM}_{\text{LAT}} \leq 1.2 \times 10^6$ )                | 原宜潭乡,板桥镇,洋泉镇,罗桥镇,原兰江乡,官岭镇,西岭镇,塔山瑶族乡,柏坊镇,新河镇,原江河乡,胜桥镇,蓬塘乡,大堡乡,庙前镇,原盐湖镇,荫田镇,白沙镇,烟洲镇,原弥泉乡,天堂山办事处 |
| 夜间灯光均值     | 高( $\text{MEAN}_{\text{LAT}} \geq 7000$ )                          | 培元街道,宜阳街道,泉峰街道                                                                                |
|            | 较高( $8000 \leq \text{MEAN}_{\text{LAT}} < 10000$ )                 | 水口山镇,三角塘镇                                                                                     |
|            | 低( $\text{MEAN}_{\text{LAT}} \leq 6000$ )                          | 板桥镇,宜潭乡,江河乡,官岭镇,原盐湖镇,原兰江乡,柏坊镇,罗桥镇,洋泉镇,塔山瑶族乡,弥泉乡,胜桥镇,西岭镇,白沙镇,天堂山办事处,庙前镇,蓬塘乡,烟洲镇,荫田镇,新河镇,大堡乡    |
| 老年高血压患病率   | 高(患病率 $\geq 60\%$ )                                                | 培元街道,泉峰街道,宜阳街道,塔山瑶族乡                                                                          |
|            | 较高( $30\% \leq \text{患病率} < 50\%$ )                                | 原兰江乡,原盐湖镇,三角塘镇,水口山镇                                                                           |
|            | 低(患病率 $\leq 30\%$ )                                                | 烟洲镇,天堂山办事处,庙前镇,官岭镇,新河镇,罗桥镇,白沙镇,柏坊镇,洋泉镇,大堡乡,江河乡,蓬塘乡,西岭镇,荫田镇,宜潭乡,胜桥镇,板桥镇,弥泉乡                    |
| 老年Ⅱ型糖尿病患病率 | 高(患病率 $\geq 20\%$ )                                                | 培元街道,泉峰街道,宜阳街道                                                                                |
|            | 较高( $7\% \leq \text{患病率} < 10\%$ )                                 | 三角塘镇,水口山镇,塔山瑶族乡,原盐湖镇,原兰江乡                                                                     |
|            | 低(患病率 $\leq 6\%$ )                                                 | 西岭镇,白沙镇,大堡乡,烟洲镇,新河镇,庙前镇,罗桥镇,柏坊镇,天堂山办事处,官岭镇,胜桥镇,荫田镇,宜潭乡,蓬塘乡,洋泉镇,板桥镇,江河乡,弥泉乡                    |

表2 常宁市各乡镇夜间灯光总量及夜间灯光均值与老年高血压及Ⅱ型糖尿病患病率的皮尔逊相关系数(*r*)

Tab. 2 Correlation between the total and mean nighttime light and the prevalence rate of elderly hypertension and type 2 diabetes

|        | 皮尔逊相关系数( <i>r</i> ) |          |
|--------|---------------------|----------|
|        | 高血压患病率              | Ⅱ型糖尿病患病率 |
| 夜间灯光总量 | 0.777**             | 0.826**  |
| 夜间灯光均值 | 0.880**             | 0.948**  |

注: \*\*表示  $p < 0.01$ 。

表3 常宁市各乡镇夜间灯光总量及夜间灯光均值对老年高血压及Ⅱ型糖尿病患病率的影响作用探测结果

Tab. 3 The detected result of the impacts of the total and mean nighttime light on the prevalence rate of elderly hypertension and type 2 diabetes

|          | 夜间灯光总量   |          | 夜间灯光均值   |          |
|----------|----------|----------|----------|----------|
|          | <i>q</i> | <i>P</i> | <i>q</i> | <i>P</i> |
| 高血压患病率   | 0.663    | 0.037    | 0.759    | 0.000    |
| Ⅱ型糖尿病患病率 | 0.845    | 0.000    | 0.963    | 0.000    |

见。由于相关性分析结果表明夜间灯光均值与2种老年慢性病相关性更强,因此选用的指标为各区域夜间灯光均值。如表1所示,研究区各乡镇夜间灯光均值存在明显的间断点,因此,本文以表1为依据,在计算OR值时将23个统计单位划分为高夜间灯光均值,较高夜间灯光均值和低夜间灯光均值3组(不含原盐湖镇、原兰江乡和塔山瑶族乡),以低夜间灯光均值为非暴露组,分别计算较高均值区与高均值区相对于低均值区的2种慢性病患者OR值。由表4可知,不同夜间灯光均值分组之间老年Ⅱ型糖尿病患病率和高血压患病率的差异具有统计学意义。随着夜间灯光均值的增加,2种慢性病患病率呈上升趋势,高夜间灯光均值组的患病率最

表4 OR值计算结果

Tab. 4 Results of the calculation of OR value

| 老年高血压    |       |       |             |
|----------|-------|-------|-------------|
| 分组       | 患病率/% | OR值   | 95%CI       |
| 高夜间灯光均值  | 68.50 | 6.493 | 6.150~6.855 |
| 较高夜间灯光均值 | 30.58 | 1.315 | 1.263~1.370 |
| 低夜间灯光均值  | 25.08 | 1.000 |             |
| 老年Ⅱ型糖尿病  |       |       |             |
| 分组       | 患病率/% | OR值   | 95%CI       |
| 高夜间灯光均值  | 27.95 | 8.556 | 8.031~9.155 |
| 较高夜间灯光均值 | 8.41  | 2.025 | 1.887~2.173 |
| 低夜间灯光均值  | 4.34  | 1.000 |             |

高。高均值地区的老年人患高血压的风险是低均值地区的6.493倍(95%CI=6.150~6.855),患Ⅱ型糖尿病的风险是低均值地区的8.556倍(95%CI=8.031~9.155)。较高均值地区的老人患高血压与Ⅱ型糖尿病的风险也比低均值地区高31.5%(OR=1.315,95%CI=1.263~1.370)和100.25%(OR=2.025,95%CI=1.887~2.173)。

以上结果表明,使用2种夜间灯光强度指标表征各乡镇经济发展水平研究其对2种老年慢性病患病率分布的影响均取得比较好的效果且使用区域夜间灯光均值大小来表征研究区各乡镇经济发展水平,其与老年人高血压及Ⅱ型糖尿病患病率分布特征联系更为紧密。因此基于夜间灯光均值计算的像元尺度的研究区老年高血压和糖尿病患病率分布图是可靠的。

3.3 研究区老年高血压与Ⅱ型糖尿病患病率数据空间化

根据3.2部分的结果,本文建立的回归模型为夜间灯光均值与2种慢性病患病率的线性模型,回归结果如表5所示。

表5 常宁市各乡镇夜间灯光均值与老年高血压和Ⅱ型糖尿病患病率的一元线性拟合方程

Tab. 5 Linear regression between the mean nighttime light value and the prevalence rate of elderly hypertension and type 2 diabetes

| 名称         | 拟合方程                   | $R^2$  |
|------------|------------------------|--------|
| 老年高血压患病率   | $y = 0.0262x + 0.1624$ | 0.6822 |
| 老年Ⅱ型糖尿病患病率 | $y = 0.0148x - 0.0087$ | 0.8996 |

由表5可知,常宁市各乡镇老年Ⅱ型糖尿病患病率与夜间灯光均值的 $R^2$ 为0.8996,拟合效果较好,但老年高血压患病率与夜间灯光总值的 $R^2$ 仅为0.6822。考虑到由于原兰江乡,原盐湖镇与塔山瑶族乡2种老年慢性病的发病率均远远高于与其夜间灯光均值相近的行政单位,将这三组异常数据纳入线性拟合方程会影响拟合精度。考虑到将患病率由区域尺度降为像元尺度时会进行实际值修正,因此,本文在进行第二次线性拟合时剔除了这3组数据,修正后的拟合方程如表6所示。

剔除3个异常值后的2个一元线性回归模型 $R^2$ 均有提高,尤其是夜间灯光均值与老年高血压患病率的拟合方程 $R^2$ 从0.6822提高到了0.8623。由2个修正后的拟合方程计算得出的模拟值与各乡镇2种

表6 修正后的常宁市各乡镇夜间灯光均值与老年高血压和Ⅱ型糖尿病患病率的一元线性拟合方程

Tab. 6 Linear regression between the mean nighttime light value and the prevalence rate of elderly hypertension and type 2 diabetes after correction

| 慢性病        | 拟合方程               | $R^2$  |
|------------|--------------------|--------|
| 老年高血压患病率   | $y=0.0282x+0.1280$ | 0.8623 |
| 老年Ⅱ型糖尿病患病率 | $y=0.0150x-0.0133$ | 0.9129 |

老年慢性病患病的统计值的均方根误差(RMSE)分别为0.0589和0.0243;平均相对误差分别为17.68%与41.30%。可以看出,夜光均值与老年糖尿病患病率的拟合优度要高于与老年高血压患病率的拟合结果,这与3.1的分析结果相吻合,修正后的模型拟合精度也与武娜等<sup>[25]</sup>的研究(0.865)拟合精度相似。由图3所示,所建立的一元线性拟合方程均出现在低夜间灯光均值点处高估2种慢性病发病

率,而在高均值点处低估2种慢性病发病率的趋势。此外,考虑到非城区乡镇的老年Ⅱ型糖尿病患病率大多在6%以下,夜间灯光均值与老年Ⅱ型糖尿病患病率的拟合方程虽然平均相对误差较低,但是均方根误差较小。考虑到降成像元尺度时还会引入比例系数 $m_{ij}$ 进一步提高模拟精度,因此本文建立的2个线性拟合方程可以用来模拟研究区老年高血压和Ⅱ型糖尿病的患病率(表7)。

研究区像元尺度老年高血压和老年Ⅱ型糖尿病患病率空间分布图由式(3)—(6)求得。在降为像元尺度的过程中,虽然绝大多数像元求得的2种慢性病患病率均在正常范围内,但由于研究区珞珈一号夜间灯光图像部分像元DN值较其所在区域夜间灯光均值的数值差距过大,出现降尺度后求得的患病率超过1的情况。考虑到现实情况下这2种老年慢性病的患病率不可能小于0,也不可能大于1。

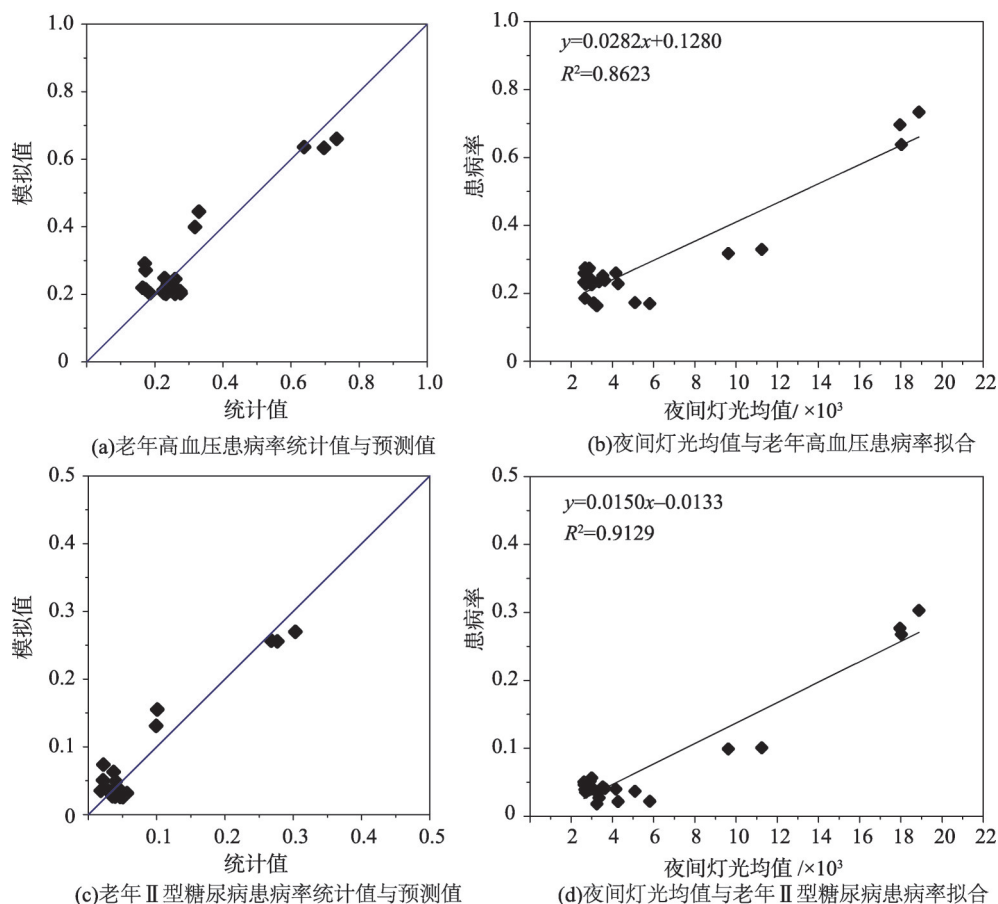


图3 常宁市各乡镇夜间灯光均值及2种老年慢性病患病的统计值和预测值关系图

Fig. 3 The the mean nighttime value and the statistical and predicted prevalence of elderly hypertension and type 2 diabetes of the study area

表 7 老年高血压与老年Ⅱ型糖尿病患病率模拟精度检验

Tab. 7 Accuracy of the estimated prevalence rate of elderly hypertension and type 2 diabetes

| 拟合方程       | MRE/% | RMSE   |
|------------|-------|--------|
| 老年高血压患病率   | 17.68 | 0.0589 |
| 老年Ⅱ型糖尿病患病率 | 41.30 | 0.0243 |

通过对 2 种像元尺度患病率图像进行分析后发现,求得的老年Ⅱ型糖尿病患病率分布图各像元的像元值大多在 0~1 之间,只有极个别像元的值大于 1;相比较而言,求得老年高血压患病率分布图中像元值超过 1 的像元数量较多,超过了总像元值的 5%。考虑到研究区珞珈一号夜间灯光图像上可能仍然存在少量未被掩膜的异常值,故对降为像元尺度后的 2 种图像均取 95% 的置信区间以排除异常值的干

扰。但经上一步处理后的研究区老年高血压患病率分布图仍然存在部分异常像元,为了使降尺度后的图像更符合现实,本文设定求得的患病率图像的最大值为 0.9999,最小值为 0.0001,像元值大于或小于设定的阈值的像元分别被赋值为极大值或极小值。经处理后的研究区老年高血压和老年Ⅱ型糖尿病像元尺度的患病率分布图如图 4 所示。

与每个区域仅有一个患病率值的基于统计数据的研究区老年高血压和Ⅱ型糖尿病患病率分布图相比,研究区像元尺度的 2 种慢性病患病率分布图数值的范围有所增大,使各区域患病率更具有区分性。因此,在研究区像元尺度的 2 种慢性病患病率分布图中,城区范围高患病率区域片状分布;非城区范围的部分人口大量聚居的乡镇、村庄则在图

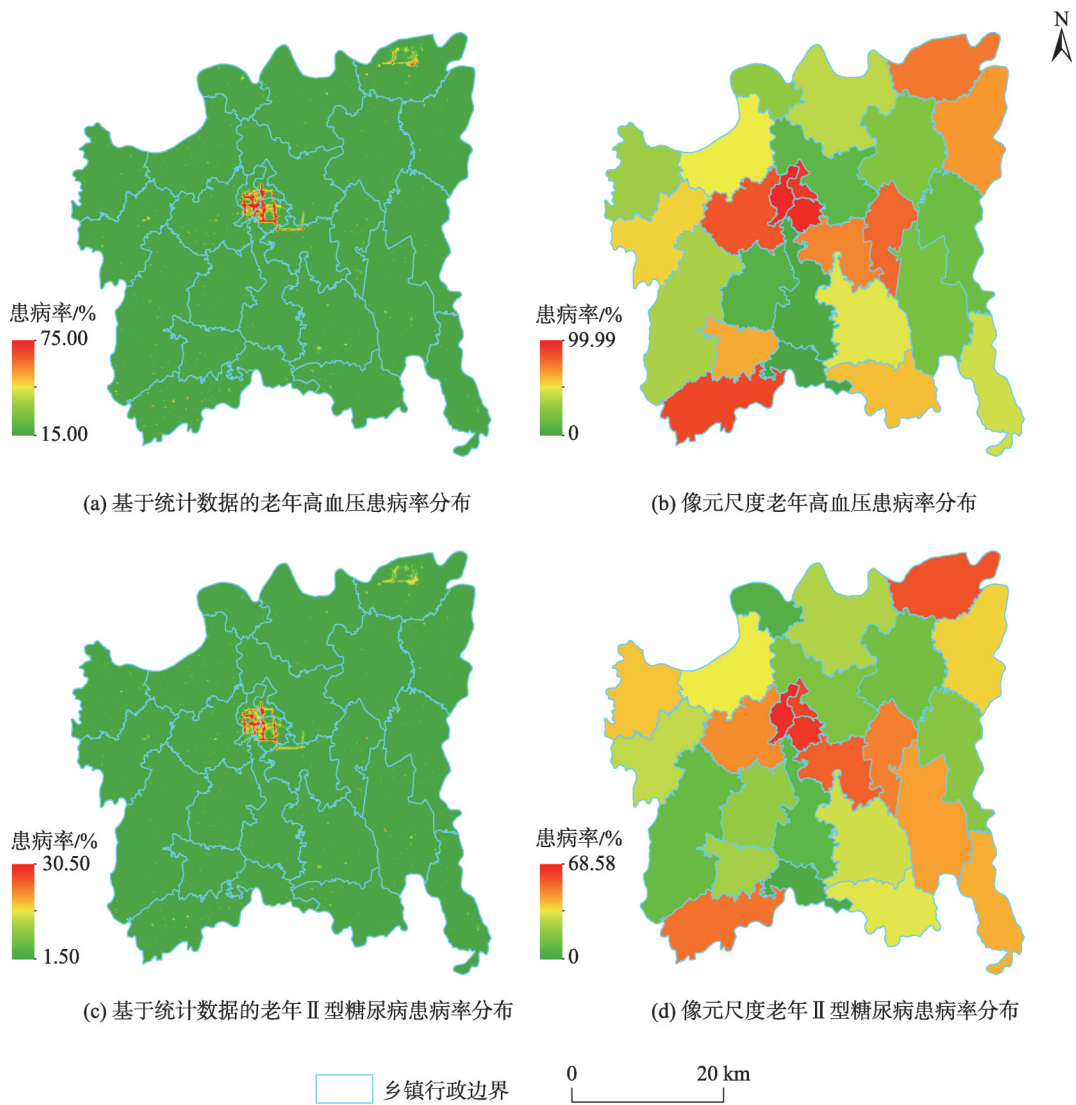


图 4 研究区老年高血压与糖尿病患病率分布

Fig. 4 Distribution of the prevalence rate of elderly hypertension and type 2 diabetes of the study area

像中表现为非常明显的高值点,这种分布特征有利于相关部门有针对性地开展这2种慢性病的预防、监管和治疗工作,节约大量的人力和财力。但是,可能存在一些人口密度较低的高患病率的居民点由于夜间灯光亮度较低而在图中难以分辨,仍然需要通过人工筛查和识别进行监控。

## 4 结论与讨论

### 4.1 结论

本文基于常宁市范围的珞珈一号夜间灯光数据和各乡镇老年高血压及Ⅱ型糖尿病患病率数据,运用相关性分析,地理探测分析,计算OR值等方法,对用夜间灯光强度表征的研究区各乡镇经济发展水平和老年高血压和Ⅱ型糖尿病患病率分布特征的关系进行了分析。研究结果表明,采用夜间灯光数据代替区域经济发展水平,在慢性病分析与预测研究中可以得到较好的应用效果。具体结论如下:

(1)研究区各乡镇夜间灯光均值与老年高血压( $r=0.726, p<0.01$ )及Ⅱ型糖尿病患病率的相关性( $r=0.898, p<0.01$ )都较强,而且2者都强于夜间灯光总量与老年高血压( $r=0.707, p<0.01$ )及Ⅱ型糖尿病患病率的相关性( $r=0.726, p<0.01$ );且老年Ⅱ型糖尿病患病率与夜间灯光总量或均值之间的相关性均强于老年高血压患病率与这2者的相关性。

(2)地理探测分析表明,虽然研究区各乡镇的夜间灯光总量与均值均对2种老年慢性病患者率的分布有较大的影响,但是夜间灯光总量和均值对糖尿病患病率的影响(分别为 $q=0.845, p<0.01$ 和 $q=0.963, p<0.01$ )均大于对老年高血压患病率分布的影响(分别为 $q=0.663, p<0.05$ 和 $q=0.759, p<0.01$ ),且对于同种慢性病患者率的分布,夜间灯光均值的影响要大于夜间灯光总量。

(3)OR值计算的结果表明,居住在高夜间灯光均值地区的老年人患高血压的风险是低均值地区的6.493倍(95%  $CI=6.150-6.855$ ),患Ⅱ型糖尿病的风险是低夜间灯光均值地区的8.556倍(95%  $CI=8.031-9.155$ ),居住在较高夜间灯光均值地区的老年人患高血压( $OR=1.315, 95\% CI=1.263-1.370$ )和Ⅱ型糖尿病( $OR=2.025, 95\% CI=1.887-2.173$ )的风险也要高于低夜间灯光均值地区。综上所述,3种不同的分析结果均较为一致,证明研究区夜间灯光强度作为反映区域社会经济发展的综合指标,与区域老

年慢性病患者率存在较强的联系,且使用夜间灯光均值反映区域社会经济发展程度应用效果更好。

(4)本文建立了研究区夜间灯光均值与2种老年慢性病患者率的一元线性拟合方程。其中,夜间灯光均值与老年高血压患病率的拟合方程 $R^2$ 为0.8623,与老年Ⅱ型糖尿病患病率的拟合方程 $R^2$ 为0.9129;2个拟合方程计算得出的模拟值与各乡镇2种老年慢性病患者率的统计值的均方根误差(RMSE)分别为0.0589和0.0243。2个拟合方程拟合精度均比较理想,说明建立的拟合方程可以较为精确地模拟研究区老年高血压和Ⅱ型糖尿病的患病率的空间分布。

### 4.2 讨论

研究表明,在不同尺度上,众多社会经济因素,例如人均收入,城市化水平,区域发达程度等社会经济因素均对本文所研究的2种慢性病有着较大影响,其中,人均收入更是决定性的因素之一<sup>[7-9,28]</sup>。通过分析衡阳市各县区人均可支配收入与夜间灯光均值关系后发现,各县区人均可支配收入与其夜间灯光均值存在较为明显的线性关系( $R^2=0.727$ ),与钟亮等<sup>[19]</sup>和李翔等<sup>[22]</sup>的研究结果相似。其他学者的研究也表明,区域发达程度、城市化水平与夜间灯光均值有着较强的正相关关系<sup>[10-11,22-23]</sup>。因此,本文的研究结果,即2种慢性病患者率与研究区夜间灯光均值有很强的联系,极可能是2种慢性病患者率对夜间灯光代表的区域社会经济发展水平(如人均可支配收入、人均GDP、城市化水平等)的响应。当然,性别、遗传因素、饮食和生活习惯、吸烟酗酒史等也是重要的致病因子,且不在夜光数据的表征之列。但是,在大尺度或者大容量样本研究中,这些因素通常很少纳入考虑范围。本文中也出现了3个患病率较高但无法用夜间灯光强度解释的子区域。例如盐湖镇由于存在大量未安置的原裕民煤矿工人及家属,虽然夜间灯光强度不高(该煤矿已经停业),但2种慢性病患者率却均明显偏高。塔山瑶族自治乡和原兰江乡的居民2种慢性病患者率偏高的原因可能是饮食和生活习惯与其它乡镇有较大不同,也可能是遗传因素,需要更进一步的研究进行确认。但从2次建模的结果来看(表3—表4),其对本文结论的影响是有限的。

本文的研究结果与Laohasiriwong等<sup>[18]</sup>的研究结果相比,高血压患病率与夜间灯光强度的相关性

更高(其3个时间段的相关系数分别为0.490, 0.510和0.533,  $p < 0.01$ )。造成这个差别原因有很多。首先,除了各子研究区夜间灯光强度差距较大外,2个研究区存在很大不同。第一个差别为Laohasiriwong等<sup>[18]</sup>的研究区面积远大于本研究(其研究区面积约为513 120 km<sup>2</sup>,本文研究区面积仅约2046.6 km<sup>2</sup>);除此之外,由于国情不同,本文研究区被视为背景值的区域人口密度极低,可以被视为无人区;但是,在Laohasiriwong等<sup>[18]</sup>的研究中,由于泰国有大量电力不发达区域,这些居住在背景值区域人口患病情况纳入了患病率统计,而夜间灯光强度计算并未纳入计算或者并未与无人区进行区分,对实验结果会造成较大影响。在患病率样本方面,本文收集的慢性病患病率数据样本仅包含65周岁以上的老人,而Laohasiriwong等<sup>[18]</sup>的研究并没有特殊目标人群。因此,由于存在研究区面积及2种慢性病患病率数据的目标人群的双重限制,本文得到的结果为区域性结果,仍需要在更多地区或更大尺度上进行相关研究来补充和佐证。此外,由于本文研究区经济发展水平有限,城乡夜间灯光强度差距巨大,2种老年慢性病空间化效果较好的城区的占地面积相对较少,难以发挥夜间灯光的优势。如果在城市化水平较高的地区应用夜间灯光数据研究疾病患病率,得到的空间化数据分布会更连续,应用的效果会更好。同时,一些大型工矿企业或者仓储区域夜间灯光强度也非常高,但是考虑到这些区域大多属于非居民区,在进行小尺度研究时,如不事先进行掩膜,可能会对研究结果造成非常大的影响。

#### 参考文献(References):

- [1] 胡秀静, 吴小亚, 王家骥, 等. 慢性病防治视角下的我国医养结合与健康管理发展回顾[J]. 中国慢性病预防与控制, 2019, 27(8): 561-564. [Hu X J, Wu X Y, Wang J J, et al. Review on the development of medical integration and health management in China from the perspective of prevention and treatment of chronic diseases[J]. Chinese Journal of Prevention and Control of Chronic Diseases, 2019, 27(8): 561-564.]
- [2] 吴文军, 徐蕾, 黄丽梅, 等. 2016-2017年上海市社区糖尿病高危人群筛查结果分析[J]. 中华疾病控制杂志, 2019, 23(7): 802-806, 817. [Wu W J, Xu L, Huang L M, et al. Analysis of diabetes screening in high-risk population in different communities in Shanghai from 2016 to 2017[J]. Chinese Journal of Disease Control & Prevention, 2019, 23(7): 802-806, 817.]
- [3] 李枝萍, 刘军, 徐婷婷, 等. 我国2型糖尿病的流行病学及危险因素研究现状[J]. 西南军医, 2010, 12(4): 754-756. [Li Z P, Liu J, Xu T T, et al. Current status of epidemiology and risk factors for type 2 diabetes in China[J]. Journal of Military Surgeon in Southwest China, 2010, 12(4): 754-756.]
- [4] 孙丽娜. 西安市养老机构老年人慢性病与生活方式的流行病学调查[D]. 西安: 第四军医大学, 2012. [Sun L N. Study on the prevalence of chronic diseases and health-promoting lifestyle in aged people living in nursing homes of Xi'an[D]. Xi'an: Fourth Military Medical University, 2012.]
- [5] Bird Y, Lemstra M, Rogers M, et al. The relationship between socioeconomic status/income and prevalence of diabetes and associated conditions: A cross-sectional population-based study in Saskatchewan, Canada[J]. International Journal for Equity in Health, 2015, 14(1): 93.
- [6] Lee T C, Glynn R J, Peña J M, et al. Socioeconomic status and incident type 2 diabetes mellitus: Data from the Women's Health Study[J]. Plos One, 2011, 6(12): e27670.
- [7] 何静, 洪忻, 王志勇, 等. 南京市城区居民家庭人均收入与自我报告2型糖尿病关系[J]. 中国公共卫生, 2018, 34(3): 354-357. [He J, Hong X, Wang Z Y, et al. Relationship between family average income and self-reported type 2 diabetes in residents of urban Nanjing[J]. Chinese Journal of Public Health, 2018, 34(3): 354-357.]
- [8] 栗洋, 詹中群. 深圳市光明新区SES与高血压关系调查与研究[J]. 中国实用医药, 2019, 14(22): 3-6. [Li Y, Zhang Z Q. Investigation and study on the relationship between SES and hypertension in Guangming New District of Shenzhen City[J]. China Practical Medicine, 2019, 14(22): 3-6.]
- [9] 何静. 南京城区居民家庭人均收入与自我报告2型糖尿病之间关系的研究[D]. 南京: 南京医科大学, 2018. [He J. The association between family average income and self-reported type 2 diabetes among urban adults in Nanjing[D]. Nanjing: Nanjing Medical University, 2018.]
- [10] 李德仁, 余涵若, 李熙. 基于夜光遥感影像的“一带一路”沿线国家城市发展时空格局分析[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2017, 42(6): 711-720. [Li D R, Yu H R, Li X. The spatial-temporal pattern analysis of city development in countries along the belt and road initiative base on nighttime light data[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2017, 42(6): 711-720.]
- [11] 李德仁, 李熙. 论夜光遥感数据挖掘[J]. 测绘学报, 2015, 44(6): 591-601. [Li D R, Li X. An overview on data mining of nighttime light remote sensing[J]. Acta Geodetica et Cartographica, 2015, 44(6): 591-601.]

- [12] 王利伟,冯长春.转型期京津冀城市群空间扩展格局及其动力机制—基于夜间灯光数据方法[J].地理学报,2016,71(12):2155-2169. [Wang L W, Feng C C. Spatial expansion pattern and its driving dynamics of Beijing-Tianjin-Hebei metropolitan region: Based on nighttime light data [J]. Acta Geographica Sinica, 2016,71(12):2155-2169. ]
- [13] 柏中强,王卷乐,杨雅萍,等.基于乡镇尺度的中国25省区人口分布特征及影响因素[J].地理学报,2015,70(8):1229-1242. [ Bai Z Q, Wang J L, Yang Y P, et al. Characterizing spatial patterns of population distribution at township level across the 25 provinces in China[J]. Acta Geographica Sinica, 2015,70(8):1229-1242. ]
- [14] 李伟,郑新奇.结合 VIIRS 和监测数据插值的北京雾霾监测方法[J].测绘学报,2015,44(S1):123-128. [ Li W, Zheng X Q. A haze monitoring method combined viirs images with real-time observation data interpolation in Beijing[J]. Acta Geodaetica et Cartographica, 2015,44(S1):123-128. ]
- [15] Kloog I, Haim A, Stevens R G, et al. Global Co-distribution of Light at Night (LAN) and Cancers of Prostate, Colon, and Lung in Men[J]. Chronobiology International, 2009,26(1):108-125.
- [16] Bauer S E, Wagner S E, Burch J, et al. A case-referent study: light at night and breast cancer risk in Georgia[J]. International Journal of Health Geographics, 2013,12:23.
- [17] Kloog I, Haim A, Stevens R G, et al. Light at night co-distributes with incident breast but not lung cancer in the female population of Israel[J]. Chronobiology International, 2009,25(1):65-81.
- [18] Laohasiriwong W, Nattapong P, Atthawit S. Prevalence of hypertension in Thailand: Hotspot clustering detected by spatial analysis[J]. Geospatial Health, 2018,13:608.
- [19] 钟亮,刘小生.珞珈一号新型夜间灯光数据应用潜力分析[J].测绘通报,2019(7):132-137. [ Zhong L, Liu X S. Application potential analysis of LJ1-01 new nighttime light data [J]. Bulletin of Surveying and Mapping, 2019(7):132-137. ]
- [20] Zhao M, Cheng W, Zhou C, et al. GDP spatialization and economic differences in south China Based on NPP-VIIRS nighttime light imagery[J]. Remote Sensing, 2017,9(7):673.
- [21] 秦永,刘凯敏.中国地级市 GDP 数据的真实性:基于 NPP-VIIRS 夜间灯光数据的检验[J].统计与决策,2019,35(13):19-23. [ Qin Y, Liu K M. Authenticity of China's prefecture-level city GDP data: Test based on NPP-VIIRS night light data[J]. Statistics & Decision, 2019,35(13):19-23. ]
- [22] 李翔.基于夜光遥感数据的中国2005-2015年居民收入时空变化与驱动力研究[D].南京:南京大学,2018. [ Li X. Study on spatiotemporal changes and driving force of resident income of China from 2005 to 2015 based on night light remote sensing data[D]. Nanjing: Nanjing University, 2018. ]
- [23] 黄益修.基于夜间灯光遥感影像和社会感知数据的人口空间化研究[D].上海:华东师范大学,2016. [ Huang X Y. Spatialization of population using nighttime light remote sensing images and social sensing data[D]. Shanghai: East China Normal University, 2016. ]
- [24] 张秋媛,彭明春,王崇云,等.基于 DMSP/OLS 夜间灯光数据的贵州省人口分布及影响因子分析[J].云南大学学报(自然科学版),2019,41(5):992-1000. [ Zhang Q Y, Peng M C, Wang C Y, et al. Population distribution of Guizhou province based on DMSP/OLS night lighting data[J]. Journal of Yunnan University: Natural Sciences Edition, 2019,41(5):992-1000. ]
- [25] 武娜,沈镭,钟帅.基于夜间灯光数据的晋陕蒙能源消费碳排放时空格局[J].地球信息科学学报,2019,21(7):1040-1050. [ Wu N, Shen L, Zhong S. Spatiotemporal pattern of carbon emissions based on nightlight data of Shanxi-Shaanxi-Inner Mongolia region of China [J]. Journal of Geo-information Science, 2019,21(7):1040-1050. ]
- [26] 王劲峰,徐成东.地理探测器:原理与展望[J].地理学报,2017,72(1):116-134. [ Wang J F, Xu C D. Geodetector: Principle and prospective[J]. Acta Geographica Sinica, 2017,72(1):116-134. ]
- [27] 石国宁,张涛,王无为.中国非洲猪瘟疫情的时空演化特征及影响因素[J].干旱区资源与环境,2020,34(3):137-142. [ Shi G N, Zhang T, Wang W W. Spatio-temporal evolution characteristics and causes of African swine fever in China[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2020,34(3):137-142. ]
- [28] 张晴晴,徐子淇,孙俞莉,等.长春市18~79岁居民高血压患病状况及影响因素城乡对比分析[J].中华疾病控制杂志,2014,18(1):5-9. [ Zhang Q Q, Xu Z Q, Sun Y L, et al. Comparison of the prevalence of hypertension and its influencing factors among residents aged from 18 to 79 between urban and rural areas of Changchun City[J]. Chinese Journal of Disease Control & Prevention, 2014,18(1):5-9. ]