

基于熵权法的光污染评价研究

李天旭^{1*}, 李 婕^{1*}, 王世豪^{2*}, 侯泽业^{3*}, 张文昊¹, 齐 广⁴, 郭秀英^{1#}

¹石家庄铁道大学数理系, 河北 石家庄

²石家庄铁道大学信息科学与技术学院, 河北 石家庄

³燕山大学机械工程学院, 河北 秦皇岛

⁴石家庄铁道大学管理学院, 河北 石家庄

收稿日期: 2023年6月6日; 录用日期: 2023年7月14日; 发布日期: 2023年7月21日

摘 要

随着城市的高速发展, 出现了一种新的污染——光污染。通过建立模型对不同区域类型进行光污染风险水平评估并给出有效的干预策略。首先对数据进行预处理, 保证了应用数据的完整性、可信度, 并结合 TOPIS 熵权法和层次分析法确定度量指标权重, 并通过均方误差(MSE)验证权重精度, 得到光污染风险水平权重度量模型, 我们通过将光污染风险水平权重度量模型应用到四种不同类型的位置上, 进行可视化分析得出, 光污染风险水平由高到低依次为城市社区、郊区社区、农村社区和保护用地, 并对其进行了解释。

关键词

光污染, 光污染风险等级, 区域类型, 干预策略

Evaluation of Light Pollution Based on Entropy Weight Method

Tianxu Li^{1*}, Jie Li^{1*}, Shihao Wang^{2*}, Zeye Hou^{3*}, Wenhao Zhang¹, Guang Qi⁴,
Xiuying Guo^{1#}

¹Department of Mathematics and Physics, Shijiazhuang Tiedao University, Shijiazhuang Hebei

²School of Information Science and Technology, Shijiazhuang Tiedao University, Shijiazhuang Hebei

³School of Mechanical Engineering, Yanshan University, Qinhuangdao Hebei

⁴School of Management, Shijiazhuang Tiedao University, Shijiazhuang Hebei

Received: Jun. 6th, 2023; accepted: Jul. 14th, 2023; published: Jul. 21st, 2023

*这些作者贡献相同。

#通讯作者。

文章引用: 李天旭, 李婕, 王世豪, 侯泽业, 张文昊, 齐广, 郭秀英. 基于熵权法的光污染评价研究[J]. 建模与仿真, 2023, 12(4): 3903-3908. DOI: 10.12677/mos.2023.124356

Abstract

With the rapid development of the city, there is a new pollution—light pollution. The model was established to evaluate the risk level of light pollution in different regional types and to provide effective intervention strategies. First of all, the data was preprocessed to ensure the integrity and credibility of the applied data, and the weight of the metric index was determined by combining TOPIS entropy weight method and analytic hierarchy process, and the weight accuracy was verified by means of MSE, and the light pollution risk level weight measurement model was obtained. By applying the light pollution risk level weight measurement model to four different types of positions, the visual analysis shows that the risk level of light pollution is urban community, suburban community, rural community and protected land in order from high to low, and it is explained.

Keywords

Light Pollution, Light Pollution Risk Level, Regional Type, Intervention Strategy

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

自 20 世纪 70 年代以来, 学者们一直在努力探索城市光污染的机理, 以及它与影响因素之间的关联。他们从最初的夜间光污染模型, 发展到现在的地表光污染、光污染的光能量分布等多方面的模型研究, 以期更好地理解和控制城市光污染。

近年来, Treanor (1973 年)、Robert (1976 年)、Garsating (1986 年) 等人不断深入研究夜间天空亮度与人口分布之间的关系, 并建立出一系列完善的模型; 此外, Chalkias 等人(2006)利用 DMSP 图像与 GIS 系统相结合, 构建出一个可视化的希腊城市夜间光源产生的光污染分布模型, 从而使 GIS 系统成为城市光污染观测的重要工具[1]; Cinzano (2014 年)则在此基础上, 进一步探索了人口分布与夜间亮度之间的关系, 并取得了一系列重要的研究成果; Falchi 等人(2016 年)利用卫星图像构建了一个全球光污染地图, 以探索光能量的分布特征, 并且深入分析了不同国家的光污染状况[2]; 刘鸣(2018 年)则在天津市开展了夜间天空亮度的监测, 并且提出了一种新的模型, 以更好地描述光污染的分布特征[3]; 苏晓明则在 2021 年, 通过对夜间图像的分析, 构建出一张呼和浩特市天空光污染地图, 以更加准确地描述光污染的状况。近年来, 中国通过 DMSP/OLS 夜间灯光数据, 对城市照明的变化以及其相关的环境影响, 例如土地使用和空间布局的改变, 进行深入的研究, 并且开始探讨和实施光污染模型。

2. 模型假设与说明

考虑到实际问题总是包含许多复杂的因素, 首先我们需要做出合理的假设来简化模型, 并且每个假设后面都紧跟着相应的解释:

假设 1: 我们假设度量估计引起的误差对优化效果的影响是可控的。

说明: 由于一些人为因素引起的测量变化没有参考意义。因此, 测量指标中涉及的人为因素可以忽略不计。

假设 2: 我们忽略了不可避免的极端事件的影响。

说明: 不可避免的极端事件, 如大型灯光秀和夜间照明等, 会对光污染风险措施产生影响, 但其范围相对有限, 因此我们忽略了它们, 以免影响模型的准确性。

3. 符号说明

表 1 列出了本文中使用的的一些重要数学符号。

Table 1. The symbols used in this article
表 1. 本文使用的符号

符号	说明
S	光损伤程度
Ω	光污染的风险程度
BD	光污染对生物多样性的影响
HS	光污染对人类社会的影响

4. 四类地点的光污染评价

4.1. Data Preprocessing

数据预处理

度量标准应用于基于许多因素的数据, 包括准确性、完整性、一致性、及时性、可信度和解释。基于构建的交互线性光污染风险度量模型, 我们对四个不同的城市进行了测量, 如下所示。

$$\Omega = S * G + BD + S * HS \quad (1)$$

根据国家电网提供的灯具产品的投影角度, 对数据进行预处理, 去除异常点的存在, 用三次样条填充缺失值, 得到四种不同类型位置的光溢出指数值。

同样, 根据国家统计局(NBS)、中国动物和植物管理协会(ZPA)获得的相关数据, 对数据进行预处理, 利用正态分布 3σ 原理和三次样条插值对数据真实性进行校正, 并分别求出目标函数的最大值和最小值, 并采用最小值归一化方法消除量纲差异。Min-max 归一化公式为:

$$X_i = \frac{X_i - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}} \quad (2)$$

通过归一化处理, 我们得到四种不同类型位置的测量值, 并绘制如下图 1。

4.2. 建立权重评价模型

指标权重的确定起着至关重要的作用, 直接影响评价结果的准确性, 而熵权法(EWM)是一种客观赋权的方法, 因此我们采用熵权法来确定指标权重。

1) 计算第 j 项下第 i 个样本的比例, 并将其作为计算相对熵时使用的概率:

$$P_{ij} = \frac{z_{ij}}{\sum_{i=1}^n z_{ij}} \quad (3)$$

2) 计算各指标的信息熵, 计算信息效用值, 对各指标的熵权进行归一化:

$$e_j = -\frac{1}{\ln n} \sum_{i=1}^n p_{ij} \ln p_{ij} \tag{4}$$

$$w_j = \frac{1 - e_j}{n - \sum_j e_j} \tag{5}$$

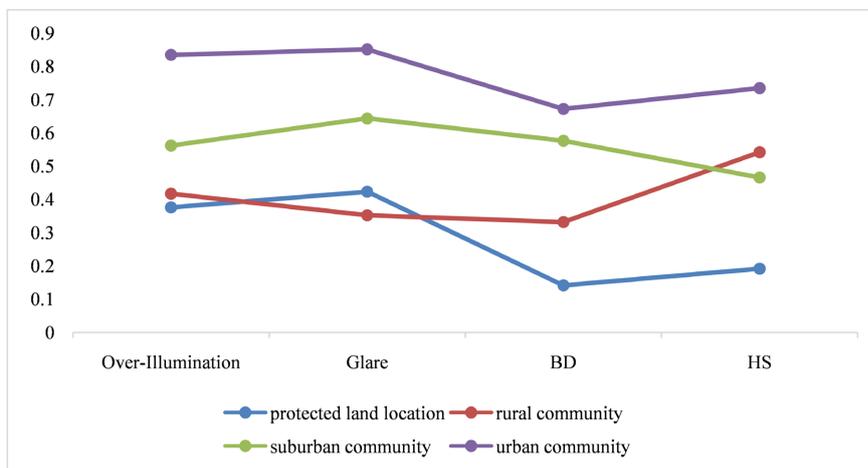


Figure 1. Measure four different location types
图 1. 测量四种不同位置类型地点

3) 同时，结合层次分析法(AHP)，EWM 下各指标的权重随样本而变化，三个指标的权重分别为： $w_1 = 0.446$ ， $w_2 = 0.302$ ， $w_3 = 0.252$ 。

最终的权重模型为：

$$\Omega = w_1 S * G + w_2 BD + w_3 S * HS \tag{6}$$

4.3. 测量四种不同类型的地点并解释

根据上述权重模型，结合四种不同类型地点的测度，得到四种不同类型地点的光污染风险等级，并绘制如下图 2。

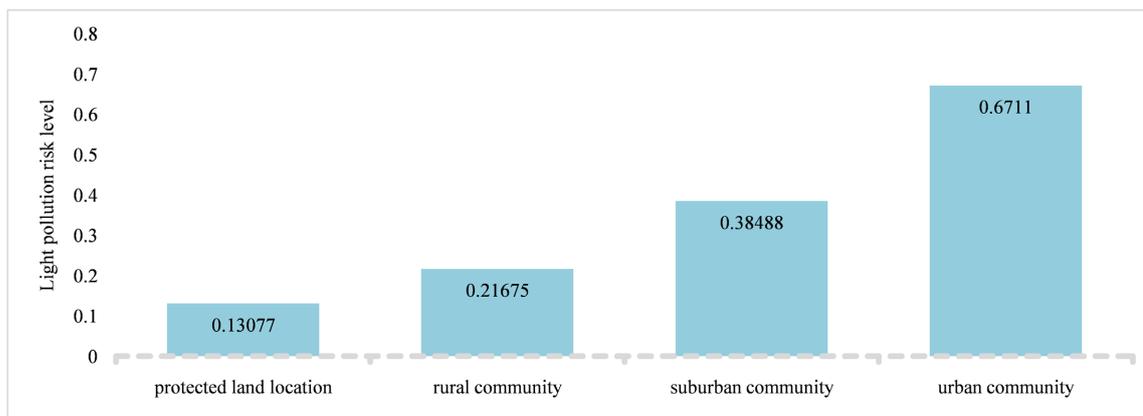


Figure 2. The risk of light pollution in four different site types
图 2. 四种不同地盘类型的光污染风险程度

基于光污染风险等级权重模型,保护地、农村社区、城郊社区和城市社区的风险等级分别为 0.13077、0.21675、0.38488、0.6711,城市光污染程度显著高于其他三类区域,保护地的光污染程度最小,农村和城郊社区的光污染程度差异不大。

其中,城郊社区的人文和社会指标显著高于保护区,这可能与城郊道路建设和城郊事变率等因素有关。由于城市的过照度和眩光指标显著高于其他三个区域,因此风险水平显著高于其他三个区域;其次,生物多样性在区域间差异不大,对整体风险水平影响不大;人文和社会指标由于受总人口等因素的影响,对整体风险水平有不同程度的影响。然而,这四个国家的光污染风险都很高,这表明需要采取某些干预措施来降低风险水平。

5. 干预策略

根据上述四种不同地盘类型的光污染风险程度可知:城市区的光污染风险水平最高,我们可以从过度照明、眩光污染、生物多样性、人类社会四个方面入手,针对城市区制定出如下所示的有效干预策略。

5.1. 干预策略 1

照明与装饰照明的管理以区域为单位进行划分,主要包括城市道路、商业区、居住区、公共活动区、行政办公区等,对不同区域进行差异化管理。每个区域都以因地制宜为主要原则,从水平照度、光源颜色、光源亮度、与周围环境的协调性、灯具的选择范围等方面进行规范,制定了不同的环境标准[4]。

对整体光污染风险水平的影响:该策略控制过度照明程度,降低光通量,同时根据不同灯具类型降低地面照度并确定合适的仰角;减少阈值增量,控制不适宜眩光,减少眩光污染;根据不同区域的划分,采用不同的环境标准,协调周边环境;等能有效降低不同时段的光通量,不会造成突然的暂时性失明和视错觉,以及遮挡驾驶员的视线,降低交通撞击率;并减少对动植物生态的影响,这有利于人类和其他生物运作的自然 24 小时睡眠 - 觉醒周期。

5.2. 干预策略 2

建立以专门法律为支撑的光污染防治法律体系,规范相关零散法律规范,落实光污染防治侵权维权工作;同时,完善国家光环境标准,统一光环境规划、标准、监测、预防措施,完善相关质量标准和技术标准;同时,构建光污染环境评价体系,充分发挥公众作用,鼓励公众积极参与,形成全方位、无死角、立体化的科学治理体系,广泛开展光污染宣传教育。

对光污染整体风险水平的影响:构建完整的光污染防治法律体系,为污染治理提供必要的前提和法律保障,能够很好地解决人为原因造成的过照度和眩光污染的情况;它对人类社会等方面具有重要意义,提高公众的参与意识,提高公众对光污染的认识,减少由此造成的犯罪率,并对保护生物多样性起到基础性的作用。

5.3. 干预策略 3

从源头控制光污染:从玻璃幕墙的设计和材料规格以及灯具产品的研发出发,只有通过光反射的科学论证才能进行施工,并且玻璃幕墙的颜色要与周围环境相协调,对城市照明的亮度和颜色要有规定,尤其是夜间照明要根据需要进行设计,充分考虑生态环境因素;禁止在部分标志、牌匾上安装辐射光源,照明不得影响各种交通公共设施的正常运行。

对整体光污染风险水平的影响:该策略可适当调整灯具的仰角,在控制光通量的同时降低反射率,降低过照度和眩光污染程度;从玻璃幕墙等源头控制,可以很好地节能减排,减少资源浪费;降低反射率,减少候鸟因光污染造成的死亡人数,保证其正常飞行规律;降低交通事故率,保证人们的出行安全,

降低交通风险。

6. 结束语

光污染已经成为城市问题之一，浪费资源同时也影响人们身体健康和天文观测等，光污染风险水平测度模型能够方便人们对光污染进行测量研究。本文通过建立光污染风险水平测度模型，对城市区、保护区、农村地区、城郊地区进行测度比较，针对城市区提出有效的干预策略，为城市整体照明规划、相关照明标准评价等提供数据依据。

基金项目

全国大学生创新创业计划项目(202210107281)。

参考文献

- [1] 李宝宝. 光伏项目环境影响评价及污染防治对策[J]. 资源节约与环保, 2023(1): 127-130.
- [2] 李振, 黄胜华, 许海文, 吴杜雄, 周钢, 吴春海. 城市夜景光污染标准现状研究[J]. 中国照明电器, 2020(5): 7-11.
- [3] 曹猛. 天津市居住区夜间光污染评价体系研究[D]: [硕士学位论文]. 天津: 天津大学, 2008.
- [4] 周春辉, 赵俊男, 王铮, 甘浪雄, 刘宗杨, 徐言民. 城市灯光秀对通航水域光污染的评价方法研究[J]. 武汉理工大学学报(交通科学与工程版), 2021, 45(2): 351-355.