

基于熵权法与 TOPSIS 方法的光污染风险水平评价

江萌萌

北京工商大学 数学与统计学院, 北京 100000

摘要: 文章在现有光污染研究的基础上, 综合考虑社会发展水平等因素, 设计了适用于光污染风险水平评价的指标体系。通过分别选取城市、郊区、自然保护区、乡村四个代表地区的相关数据, 从社会经济、生态环境、物种多样性三个层面选取指标, 利用熵权法与 TOPSIS 方法对地区的光污染风险水平进行评价。结果表明, 决定某区域光污染风险水平的权重前三的指标分别为社会消费品零售总额、地区生产总值、出口总额; 城市的光污染风险水平最高, 接下来依次为郊区、乡村、自然保护区, 需要从光环境管理、污染源管理的角度出发, 采取降低光污染风险水平的干预策略。

关键词: 光污染; 风险评价; 熵权法; TOPSIS 方法

分类号: X122

0 引言

绚丽的城市夜景为人们的夜生活提供了便利, 但也为人们带来了刺眼的灯光、逐渐黯淡的星空和越来越差的睡眠, 让人们逐渐意识到光污染的潜在风险。光污染是一种新型的环境污染, 它包括白亮污染、人工白昼和彩光污染。这种新型污染会使人感到头晕目眩、恶心呕吐、失眠; 在生态上, 光污染会影响动植物的生存, 产生生态破坏; 妨碍天文观测、增加交通事故等^[1]。

在对光污染评价的研究中, 刘鸣^[2]采用实地测量、实验模拟、数理统计等方法对各种形式的光污染进行了理论研究和调查分析, 并初步提出了光污染评价程序, 总结出 6 个总体评价指标: 亮度分区、宵禁时间、光色控制、区域间的距离关系、上射光比例、亮度平衡, 冯凯等^[3]通过卫星影像, 使用 R 语言量化分析我国 4 座城市的光污染地图变化趋势, 得出城市照明光污染演变的共性特征。

我国对光污染的研究处于初步阶段, 由于许多数

据难以量化, 导致光污染的评价比较困难。现有的关于光污染评价的研究中, 缺乏对全局光污染水平的测度, 在指标选取上未充分结合对社会经济的考虑。文章在已有研究的基础上, 设计了一套光污染风险水平的评价指标体系, 采用熵权法与 TOPSIS 方法对所选地区的光污染风险水平进行评价对比, 并根据结果给出干预策略。

1 光污染风险水平评价模型的构建

1.1 研究地区与数据来源

文章选择我国的 4 个区域作为研究样本, 如表 1 所示, 所用数据来自中经网统计数据库 (2021 年), 或通过基础数据计算得到。

表 1 研究样本所属区域

所属区域	区域代表
城市中心	北京市朝阳区
城郊	北京市延庆区
乡村	河北省无极县
自然保护区	河北省井陉县 (漫山自然保护区)

1.2 评价标准与指标选取

随着经济社会的发展, 人类的照明需求也逐渐加强, 针对日益增长的光污染问题, 实施科学化监测和评价尤为重要。光污染风险水平评价不仅要考虑地区的经济发展综合水平, 还要体现地区的生态环境水平和物种多样性水平, 具体评价标准如下。

(1) 经济社会发展水平。大量的统计研究表明, 夜间灯光与国内生产总值 (GDP) 和区域生产总值 (GRP) 存在较高的相关性。一个国家或地区的社会经济发展综合水平越高, 所产生的光污染的风险水平越高。

社会经济发展水平的量化评价指标主要是该地区的人口密度。人口密度通常被视为研究区域经济发展的重要基础数据, 通过建立 DMSP-OLS 数据与人口密度间的定量关系, 可以直接反映人口密度对光环境的影响。内涵丰富的 DMSP/OLS 夜间灯光指数综合可以表征城市地区人类的活动广度与强度, 其与经济因子

作者简介: 江萌萌, 女, 北京工商大学本科在读, 研究方向为应用统计学。

(生产总值、能源消耗、城市扩张等)、社会因子(人口规模、人口密度、城市化等)存在显著相关关系。

(2) 生态环境水平。许多城市的高楼外立面常采用玻璃幕墙,大面积的玻璃幕墙会导致各种光源相互反射、折射而产生眩光,且玻璃幕墙往往会出现“冬寒夏热”的现象,导致供暖、制冷系统被动地提高能耗,不利于节能减排。研究人员根据夜间灯光数据,构建模型来估算碳排放,光污染和碳排放有着必然的联系。可以从资源亚类出发,选取大气质量指数、林草覆盖率指数、水土流失率等指标来反映生态环境恶化状况。

(3) 物种多样性水平。随着越来越长的人工白昼的出现,植物的生物节律被破坏,生长繁殖受到了威胁。光污染也会影响动物的昼夜分辨能力、竞争能力、交流能力和心理承受能力,使得它们的活动受到限制,发育出现问题。因此,一个地区的物种多样性水平越高,表明当地所受到的光污染威胁越小。

基于上述评价标准,在数据可得和保证指标体系的完整性、全面性的前提下,可以将评价体系分为三个层次:第一层为目标层,即光污染风险水平的综合指标;第二层为准则层,用三个一级指标反映光污染风险水平;第三层为指标层,通过 13 个二级指标来计算准则层一级指标的风险水平,如表 2 所示。

表 2 光污染风险水平评价指标体系

一级指标	二级指标	指标性质
经济社会发展水平 (A1)	地区生产总值 (B1)	+
	全社会固定资产投资 (B2)	+
	社会消费品零售总额 (B3)	+
	出口总额 (B4)	+
	常住人口数 (B5)	+
	全社会用电量 (B6)	+
生态环境水平 (A2)	废气中氮氧化物排放量 (B7)	+
	林草覆盖率 (B8)	-
	水土流失率 (B9)	+
	能源消耗总量 (B10)	+
物种多样性水平 (A3)	野生鸟类物种数量 (B11)	-
	昆虫种类数量 (B12)	-
	原生野生脊椎动物物种数量 (B13)	-

注:“+”代表正向指标,越大风险分越高;“-”代表负向指标,越大风险分越低。

1.3 模型构建

文章首先采用熵权法求得权重,客观赋予权重,避免因主观带来的偏差。基于熵权法的各指标权重,最终计算出 4 个区域的光污染风险水平得分,得分越

高风险越大。具体步骤如下。

(1) 构造原始矩阵。 m 个样本中的 n 个评价指标组成原始矩阵 $X=(x_{ij})_{m \times n}$,其中, x_{ij} 为第 i 个样本中的第 j 个指标, $1 \leq i \leq m, 1 \leq j \leq n$ 。

(2) 无量纲化处理。

正向指标中:

$$x'_{ij} = \frac{x_{ij} - \min\{x_{ij}\}}{\max\{x_{ij}\} - \min\{x_{ij}\}}, \quad i=1,2,\dots,m; j=1,2,\dots,n \quad (1)$$

负向指标中:

$$x'_{ij} = \frac{\max\{x_{ij}\} - x_{ij}}{\max\{x_{ij}\} - \min\{x_{ij}\}}, \quad i=1,2,\dots,m; j=1,2,\dots,n \quad (2)$$

式中: $\min\{x_{ij}\}$ 为原始矩阵 X 中最小值; $\max\{x_{ij}\}$ 为原始矩阵 X 中最大值。

(3) 计算比重矩阵。

$$(p_{ij})_{m \times n} = \frac{x'_{ij}}{\sum_{i=1}^m x'_{ij}}, \quad i=1,2,\dots,m; j=1,2,\dots,n \quad (3)$$

式中: $(p_{ij})_{m \times n}$ 为比重矩阵,其中, p_{ij} 为第 i 个样本中的第 j 个指标比重, $0 \leq p_{ij} \leq 1$ 。

(4) 计算熵值。

$$e_j = -k \sum_{i=1}^m (p_{ij} \ln p_{ij}), \quad i=1,2,\dots,m; j=1,2,\dots,n; k = \frac{1}{\ln m} \quad (4)$$

式中: e_j 为第 j 个指标的熵值, $0 \leq e_j \leq 1$ 。

(5) 计算差异项系数。

$$g_j = 1 - e_j, \quad j=1,2,\dots,n \quad (5)$$

式中: g_j 为第 j 个指标的差异项系数。

(6) 计算各指标权重。

$$w_j = \frac{g_j}{\sum_{j=1}^n g_j}, \quad j=1,2,\dots,n \quad (6)$$

式中: w_j 为第 j 个指标的权重。

(7) 基于 TOPSIS 方法计算得分。

$$R = (r_{ij})_{m \times n}, \quad i=1,2,\dots,m; j=1,2,\dots,n; r_{ij} = w_j x'_{ij} \quad (7)$$

$$S_j^+ = \max(r_{ij}), \quad S_j^- = \min(r_{ij}) \quad (8)$$

$$sep_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (S_j^+ - r_{ij})(S_j^+ - r_{ij})}, \quad (9)$$

$$sep_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (S_j^- - r_{ij})(S_j^- - r_{ij})}$$

$$C_i = \frac{sep_i^-}{sep_i^- + sep_i^+} \quad (10)$$

式中: R 为指标加权后的矩阵; $(r_{ij})_{m \times n}$ 为第 i 个样本中的第 j 个指标加权值; S_j^+ 为加权矩阵中最大值; S_j^-

为加权矩阵中最小值; sep_i^+ 为各加权指标与最大值的欧氏距离; sep_i^- 为各加权指标与最小值的欧氏距离; C_i 为各样本综合评价指数。

2 光污染风险水平评价结果分析

光污染风险水平指标熵权法计算结果如表 3 所示, 影响光污染风险水平权重最高的前四个指标分别是: 社会消费品零售总额 (B3)、地区生产总值 (B1)、出口总额 (B4) 和常住人口数 (B5), 表明社会经济发展水平 (A1) 越来越成为能够衡量某地区光污染风险水平的指标, 这与当前学者利用夜间灯光遥感数据进行城市社会经济指标估算的目标基本一致。

表 3 光污染风险水平指标熵权法计算结果

一级指标	二级指标	权重	权重排名
A1	B1	0.156 4	2
	B2	0.069 1	7
	B3	0.159 0	1
	B4	0.146 8	3
	B5	0.117 6	4
	B6	0.098 1	5
A2	B7	0.018 9	13
	B8	0.049 1	8
	B9	0.020 2	12
	B10	0.073 9	6
A3	B11	0.021 1	11
	B12	0.036 3	9
	B13	0.033 5	10

熵权法计算所得朝阳区、延庆区、无极县、井陘县 (漫山自然保护区) 风险水平得分分别为 0.948 8、0.130 4、0.074 1、0.003 3。结果表明朝阳区作为城市中心, 需要高密度的灯光设备来满足需求, 因此夜间的照度保持在很高的水平, 且朝阳区商业区多, 绿化度不高, 大气污染比较严重, 物种多样性水平较低, 整体的光污染风险水平极高。延庆区人口密度较大, 但远离市中心, 交通布局相对发散, 大型商业区较少, 夜间照度也较低, 生物多样性等仍受到影响, 光污染风险水平较低。无极县的人口密度低, 夜间活动少, 光污染风险水平低。井陘县 (漫山自然保护区) 通常无人夜间活动, 生物多样性、植被覆盖率等远高于其他地区, 拥有最低的光污染风险水平。

3 干预策略

要想控制光污染, 就必须从污染源和环境两个方

面出发, 制定相关的安全标准和规范。在污染源的管理上, 要根据光照目的进行分类管理, 合理设计灯光照明; 在环境的管理上, 要进行光环境的功能区划, 然后制定环境标准, 优化城市建设。具体防治光污染的干预策略如下。

3.1 污染源管理

(1) 提高居民意识, 主动关灯。政府和环保部门要通过各种宣传方式让大众对光污染的危害有基本认知, 从而提高人们对光污染的防治意识, 减少不必要的照明。

(2) 加强城市照明设计的管理。有关部门需要进一步约束导致光污染的隐患, 如城市中过于密集的玻璃幕墙、商业区的灯光等。规划管理部门需要对玻璃幕墙的安装实施管理和控制, 并不断优化构造技术, 开发新的玻璃材料。

(3) 加强城市绿化。植被可以在光的传播途径中起到干扰和控制的作用。一方面, 一些高大的植被可以阻挡光的传递过程, 另一方面, 植被能在光的传播中反射一些光, 从而达到减弱光强的目的。良好的绿化不仅对光污染起到抑制作用, 还能为生活在附近的物种提供合适的生存环境。

3.2 光环境管理

环境功能区划是根据社会经济发展的需求, 对不同的地区根据环境结构、环境状态和使用功能进行合理划分。通过合理划分功能区域, 制定管理目标, 减少过度照明, 达到降低光污染的目的。

4 结束语

光污染不仅会对人们的心理和生理产生影响, 还会对生物和环境造成不可逆的伤害。选取指标来评定某地的光污染风险水平, 可以引起居民和相关部门的重视, 更好地控制和监测光污染, 使城市夜间光环境监管更加严格和规范。建立科学化的光污染评价体系, 对夜间城市可持续低碳发展具有重大意义。

参考文献

- [1] 黄瑞雪, 郭异礁, 张玎铃, 等. 重庆市主城居住区夜间光污染现状及建议[J]. 光源与照明, 2022 (11): 5-7.
- [2] 刘鸣. 城市照明中主要光污染的测量、实验与评价研究[D]. 天津: 天津大学, 2007.
- [3] 冯凯, 代书剑, 郝洛西. 基于 VIIRS 影像的光污染演变特征初探: 以我国 4 座城市为研究对象[J]. 照明工程学报, 2022, 33 (4): 172-185.