

夜间光污染对全健康影响综述及关键阈值

Review of the Impact of Artificial Light Pollution at Night on One Health and Key Thresholds

熊睿雨
陈 箴*

XIONG Ruiyu
CHEN Zheng

摘 要：夜间光污染已广泛影响全健康，对人、动物、环境都产生负面健康风险。以2000—2022年WOS数据库中夜间光污染对全健康影响的42篇核心文献为研究对象，总结了具体影响和可能的阈值，并结合夜光遥感数据，初步呈现了基于风险阈值的上海夜间光污染健康情况。结果表明：1)夜间光污染干扰人与动植物的昼夜节律等，造成人体癌症、代谢、失眠、心境障碍等疾病，对动物造成进食、定向、肿瘤、繁殖、心理和睡眠障碍等问题，且影响植物的物候与传粉；2)夜间光污染的负面健康影响呈跨物种的共同特征；3)基于风险阈值应用表明，上海已有四成面积受到夜间光污染影响，生态保护区如崇明东滩等受光污染较轻。最后，提出对夜间光污染的研究和优化建议，为中国健康光环境建设提供指导。

关 键 词：风景园林；夜间人工光照；夜间光污染；全健康

文章编号：1000-6664(2023)02-0032-06
DOI: 10.19775/j.cla.2023.02.0032
中图分类号：TU 986
文献标志码：A
收稿日期：2022-11-09
修回日期：2022-12-06
基金项目：上海市科学技术委员会项目“面向人居健康的城市光污染控制关键技术装备研究与示范”(编号22dz1202400)和国家自然科学基金项目(编号51878461)共同资助

Abstract: Artificial light pollution at night (ALAN) has begun to widely affect One Health, causing negative impacts on human and ecosystem health. Using 42 core literatures on the health field of ALAN in the Web of Science from 2000 to 2022, the authors summarize and sort out the specific impacts and possible impact thresholds of ALAN on human and ecosystems, and combine with the data from the Luojia01-1 to show the light pollution levels in Shanghai. The results show that: 1) ALAN causes health problems such as cancer, metabolic diseases, sleep disorders and mental disorders in humans, and feeding, orientation, tumors, reproduction, psychological and sleep disorders in animals, as well as affecting plant phenology and pollination, by interfering with the circadian rhythms; 2) The negative health effects of ALAN are common across species; 3) About 40.8% of Shanghai's area is already affected by ALAN, and the nature reserve Chongming Dongtan is lightly contaminated. Finally, recommendations on ALAN are proposed to provide guidance for the construction of a healthy light environment in China.

Keywords: landscape architecture; artificial light at night; light pollution; One Health

世界卫生组织等国际组织联合推广“全健康”(One Health)理念，旨在促进人、动物、环境协调发展，可持续地优化人与生态系统的健康^[1]。党的二十大报告也提出“推进健康中国建设，并推动绿色发展”。在保障人民健康的同时，还需维持生态系统的多样性和稳定性^[2]。新时代背景下，风景园林学科需更敏锐地发掘建设中潜在的健康问题，以更科学的手段去落实全健康。

随着城市建设的发展，人们夜间活动范围和时间不断增加，对夜间光照的需求也逐渐增

多。夜间光照在提供安全性的同时，促进了经济发展，激发了城市活力^[3]。然而，过量的人工光照和夜景美化，逐渐造成全健康的负面影响——夜间人工光污染。在环境科学领域，把过量的光辐射侵入，并对人和环境等造成危害的现象称为“光污染”^[4]。夜间发生且由人造光引起的光污染现象，称为“夜间人工光污染”(以下简称“夜间光污染”)。

目前超过80%的世界人口都生活在夜间光污染下^[5]，过量的人工光改变了城市自然光周期，扰乱了人的昼夜节律，造成了慢性病。其也

影响了生态系统平衡^[6]，曼哈顿每年一次的“光之祭”装置，会吸引上万只候鸟，光线干扰导致300多只候鸟迷失方向，撞击建筑死亡。夜间光污染已广泛影响到全健康，为推动我国健康光环境建设，我们需明确夜间光污染引起的健康风险有哪些？是否可以根据实证证据归纳出风险阈值？基于阈值的风险评估对实践有什么指导意义？

为了回应上述问题，本研究开展了2项工作：1)综述近20年夜间光污染对全健康影响的实证研究，统计其影响方面及亮度阈值；2)根据

*通信作者(Author for correspondence) E-mail: zhengchen@tongji.edu.cn

实证研究亮度值归纳关键阈值区间,并以上海为例,探索健康风险阈值评估的可行性和适用性。

1 研究方法

1.1 夜间光污染对全健康影响文献检索

选择国际研究统计常用的WOS所有数据库^[7],进行夜间光污染对全健康影响研究的检索。经过多次的关键词检索发现,夜间光污染对全健康影响中,对人体健康和对生态系统健康的讨论相对独立,重叠性较少,对人体健康影响以TS=(artificial night lighting OR ALAN) AND TS=(human) AND TS=(health)开展检索;对生态系统健康影响以TS=(artificial night lighting OR ALAN) AND TS=(light pollution) AND TS=(ecosystem OR vegetation OR plant OR flora OR animal OR fauna) NOT TS=(human)开展检索。

时间上,在光污染对健康影响TS=(light at night) AND TS=(health)的粗略检索基础上,发现相关研究在2000年后开始以倍速增长,检索时间设置为2000-01-01至2022-10-25,检索类型不设限制。检索下载完成后,剔除重复的文献,最终人体和生态系统健康层面分别得到

695和368篇文献,检索下载日期为2022年10月25日。

1.2 夜间光污染对全健康影响文献筛选

通过以下步骤筛选核心文献(图1)。首先,对标题和摘要进行关键词筛选。人体健康的影响聚焦流行疾病,如癌症(cancer)、肥胖(obesity)、睡眠(sleep)、疾病(disorder)等,获得相关文献377篇。生态系统健康聚焦夜间光污染对不同种类物种的影响,注重影响(impact)、引起(cause)、迫使(force)等作用程度词,获得相关文献177篇。

其次,根据文献内容排除与夜间光污染暴露、健康行为相关性较弱的文献,如:1)测量极昼极夜、紫外线辐射等其他光源影响;2)生物健康问题的分子作用机制;3)医疗用光、仪器;4)轮班守夜特殊工作者相关的研究等。考究其被引数、时效性等综合因素,对初筛文献全文分析后,最终确定代表人体健康影响的文献23篇,生态系统健康影响的文献19篇。

1.3 基于文献验证的亮度阈值应用

系统分析42篇核心文献全文,对研究内容、风险阈值等进行解读。其中,风险阈值为根据文献的实证研究,提炼能显著提升健康风险的夜间

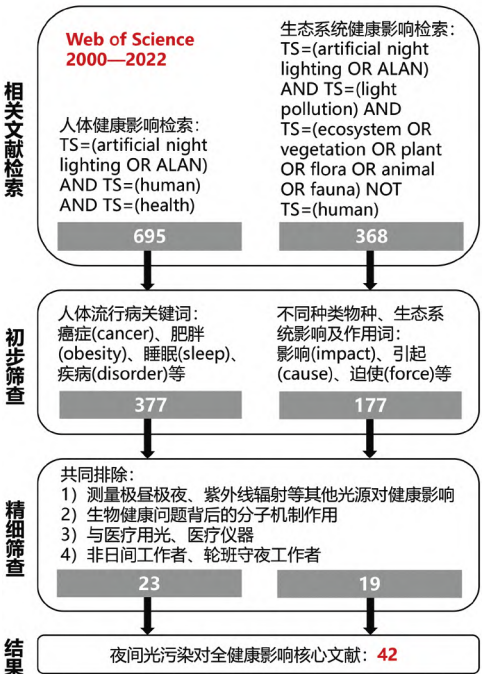


图1 文献检索与筛选过程

光照辐亮度阈值,统计显著按照OR值^①(Odds Ratio)在95%置信区间下大于1计算^[8],即统计上存在更高患病概率的辐亮度值。

将文献中有明确健康风险的辐亮度按照log标度排列,根据风险类型和具体证据进一步综合划定光污染健康风险等级,为具体地区提供初步

表1 夜间光污染对人体健康影响

疾病		国家	夜光数据	主要结论	风险阈值	文献
癌症	乳腺癌	捷克	DMSP/OLS ^②	夜间光照(夜光)亮度与乳腺癌患病率呈正相关	22.00nW/(cm ² ·sr)	Lamphar等 ^[14]
		以色列		夜光亮度高的社区比低的乳腺癌率高73%	20.64nW/(cm ² ·sr)	Kloog等 ^[15]
		西班牙	空间站影像	夜间蓝光暴露与乳腺和前列腺癌患病率呈正相关	—	Garcia等 ^[13]
	前列腺癌	全球	DMSP/OLS	夜光最亮的国家前列腺癌风险比最暗的高110%	28.95nW/(cm ² ·sr)	Kloog等 ^[16]
	结直肠癌	西班牙		结直肠癌与夜间蓝光暴露度呈正相关	—	Garcia等 ^[16]
	甲状腺癌	美国		夜光亮度与甲状腺癌患病率呈正相关	64.80nW/(cm ² ·sr)	Zhang等 ^[19]
代谢疾病	肥胖症	美国	DMSP/OLS	夜光亮度可预测中老年人肥胖症风险	57.10nW/(cm ² ·sr)	Zhang等 ^[22]
		韩国		肥胖症率与性别和夜光亮度都有明显联系	52.40nW/(cm ² ·sr)	Koo等 ^[21]
		美国	实验测定	就寝时暴露在夜光下可能提升肥胖风险	—	Park等 ^[23]
	冠心病	中国	DMSP/OLS	室外夜光与冠心病患病风险有关	85.60nW/(cm ² ·sr)	Sun等 ^[24]
	心血管病	印度		夜光亮度与心血管疾病风险有关	—	Sorensen等 ^[25]
	糖尿病	日本	实验测定	夜光强度会增加老年人群的糖尿病发病率	5lux	Obayashi等 ^[26]
	颈动脉硬化			卧室夜光亮度与颈动脉粥样硬化存在显著联系	3.5lux	Obayashi等 ^[27]
睡眠障碍	失眠	中国	NPP/VIIRS	室外夜光高的地区睡觉时间比低的少17.04min	22.16nW/(cm ² ·sr)	Hu等 ^[28]
		韩国	DMSP/OLS	夜光亮度与催眠药处方数和剂量摄入增加有关	45.38nW/(cm ² ·sr)	Min等 ^[29]
		日本	实验测定	高夜光亮度与较差的睡眠质量有明显关联	3.5lux	Obayashi等 ^[30]
心境障碍	抑郁症	韩国	NPP/VIIRS ^③	室外夜光与抑郁症状和自杀行为显著相关	38.90nW/(cm ² ·sr)	Min等 ^[31]
		日本	实验测定	超过5lux的夜光与高抑郁症风险呈正相关	5lux	Obayashi等 ^[32]
	焦虑症	美国	DMSP/OLS	光污染与青年失眠、情绪及焦虑障碍有关	41.70nW/(cm ² ·sr)	Paksarian等 ^[33]
	自闭症	中国		接触较亮夜光与高自闭症风险显著相关	61.20nW/(cm ² ·sr)	Xie等 ^[34]
	躁郁症	日本	实验测定	卧室夜光暴露与躁郁症患者症状明显相关	3lux	Esaki等 ^[35]

注:风险阈值为95%CI标准统计下,显著的OR大于1的辐亮度[nW/(cm²·sr)]或照度(lux),无明确阈值计“—”;下同。

表2 夜间光污染对生态系统健康影响

种类影响		物种	研究类型	主要结论	风险阈值	文献
鸟禽类	进食	知更鸟	田野	日落后巢内喂养雏鸟时间与光照亮度有关	3.0lux	Stracey等 ^[37]
	睡眠	黄雀		人工光推迟鸟的入睡时刻，提升了惊醒率	118.28nW/(cm ² ·sr)	Hao等 ^[38]
	生殖	大山雀		低光照影响大山雀生殖系统，使产卵日提前	7.6lux	Dominoni等 ^[39]
	迁移	林柳莺、滨鸟	遥感	朝上和低层朝下灯光都会影响候鸟的飞行	—	Cabrera等 ^[36]
节肢动物	进食	飞蛾	田野	夜光暴露的飞蛾进食时间更少	15lux	Langevelde等 ^[40]
	交配	萤火虫		萤火虫在光污染田间的交配率下降	—	Firebaugh等 ^[41]
	定向	蜚蠊		自然天体线索被光污染掩盖，迫使蜚蠊依靠明亮地标定向	—	Foster等 ^[43]
	睡眠	苍蝇	实验	苍蝇在夜光下睡眠模式改变，引发运动障碍	—	Rodrigues等 ^[42]
水生两栖类	进食	海螺	田野	夜光增加了海螺的进食需求，迫使其夜间觅食	22.3lux	Underwood等 ^[44]
	孵化	鲈鱼、鲱鱼等	实验	夜光影响了鱼的孵化，加速或延迟孵化期	—	Bruning等 ^[45]
	定向	海龟	田野	沿海地区的夜光干扰了海龟新生儿定向，降低了其生存率	—	Simões等 ^[47]
	基因	鲈鱼		夜间长期被照射后，鲈鱼的促性腺激素mRNA基因表达降低	15.0lux	Bruning等 ^[46]
脊椎动物	肿瘤	小鼠	实验	夜光下小鼠的肺癌和肝癌的发病率增加	—	Anisimov等 ^[48]
	抑郁			连续暴露光照下的小鼠抑郁和刻板行为增加	5.0lux	Walker等 ^[49]
	体重			夜间暴露强光下，小鼠活动性减少，厌食行为增加	5.0lux	Fonken等 ^[50]
	运动	大鼠		暴露夜光下，大鼠的葡萄糖代谢受阻	50.0lux	Opperhuizen等 ^[51]
植物	物候	梧桐、白蜡等	遥感	光污染强的地区芽苞最多提前7.5d出现	—	Ffrenc等 ^[52]
	传粉	马齿苋	田野	夜光影响虫类传粉，植物结实率减少了13%	52.0lux	Knop等 ^[54]

参考。这种根据文献证据划定的风险等级是风景园林和建成环境循证设计(如SITES和LEED等评估)常用的方法^[9]。为验证风险阈值评估的可行性和适用性，我们将其用于上海夜间光污染健康影响的初步评价，并尝试回答：上海是否存在夜间光污染健康风险？包括崇明东滩等保护区是否也受到威胁？上海的生物健康风险集中在脆弱的栖息地，还是建成区？

2 夜间光污染对全健康影响综述

2.1 夜间光污染对全健康的具体影响

2.1.1 人体健康视角

当人暴露于光照环境下时，本质视网膜神经节细胞(ipRGCs)在接收到光信号后会向视交叉上核(SCN)发出信号，进而调节人体的行为节律^[10]，且ipRGCs可以投射到不同的脑区^[11]，包括昼夜节律(SCN)、情绪和睡眠中枢(下丘脑、外侧视前区)等。长期暴露于夜间光污染下，可能会导致节律紊乱，影响人体的新陈代谢、褪黑激素分泌^[12]、精神状态等。ipRGCs最易受蓝光影响，而蓝光(400~490nm)正是城市广泛使用的LED灯中的常见波段。

文献证据显示，夜间光污染可能提升乳腺和前列腺等癌症，以及肥胖症、抑郁症、睡眠障碍等风险，且这些疾病的光亮风险阈值集中在20.64~85.60nW/(cm²·sr)。

1)癌症：流行病学统计表明，夜间光污染可

能会提升乳腺癌和前列腺癌的风险^[13-17]，尤其是蓝光暴露中^[13]。灯光更亮的地区乳腺癌患病率比暗的高出73%^[17]，且较亮的夜间光照和结直肠癌^[18]、甲状腺癌^[19]、胰腺癌^[20]等风险存在正相关，但未发现夜间光照与肝癌^[16]的直接联系。

2)代谢疾病：夜光暴露和肥胖显著相关^[21-23]，肥胖风险在入睡时仍然存在^[23]，且存在性别差异^[21]。在相同夜光影响下，女性肥胖占47%，而男性占39%。也有研究表明，夜间光照与心血管疾病^[24-25]的患病率有关，较强的室内夜光也可能会增加老年人的糖尿病^[26]、动脉硬化^[27]的风险。

3)睡眠障碍：夜光暴露会明显降低睡眠时间^[28-29]，夜光高亮的地区相较暗的地区平均睡眠时间减少17.04min^[28]，且高亮地区的催眠药处方和摄入量存在正相关性^[29]。实验证明，室内灯光强度还会影响人体睡眠效率、睡眠潜伏期、觉醒时间等指标^[30]。

4)心境障碍：夜光暴露与抑郁症患病率有显著关联。有抑郁症状和自杀行为的患者更易接触夜间光线^[31]，且夜间长时就寝在大于5lux的光照下，将显著增加抑郁风险^[32]。还有研究表明，焦虑症^[33]、自闭症^[34]、狂躁症^[35]等心境障碍的患病率与夜光亮度也存在正相关性(表1)。

2.1.2 生态系统健康视角

夜间光污染对生态系统健康有广泛影响，会改变动植物的昼夜节律和周期性行为^[6]。将文献

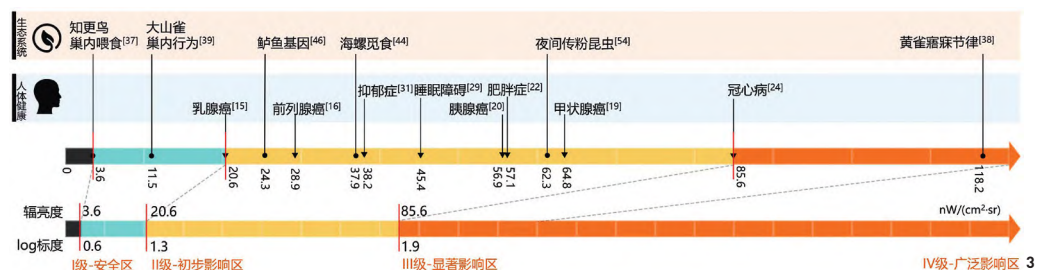
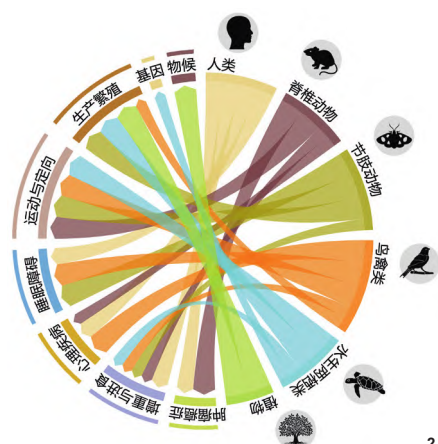
中受光污染影响的生物分为5类：鸟禽类、节肢动物、水生两栖类、脊椎动物、植物。不同物种光源敏感性不同，所受到健康影响也存在差异，影响阈值也较为分散。

1)鸟禽类：追踪调查显示，夜间光污染对鸟禽类飞行定向、进食、睡眠、繁殖都产生影响。高层朝上和低层朝下的灯光都会导致候鸟飞行时迷失方向^[36]。生理行为也受影响，知更鸟落日后持续给雏鸟喂食^[37]，雀类睡眠时间减少^[38]，并出现强摘羽毛的抑郁行为，产卵期也明显提前^[39]。

2)节肢动物：夜间光污染会改变昆虫进食、生产、睡眠和定向等行为。夜间光照下，飞蛾会减少进食时间^[40]，萤火虫交配率会大幅下降^[41]，苍蝇的睡眠模式会改变^[42]。光污染还会掩盖月亮、星星等昆虫用于定向的天体线索，迫使蜚蠊靠明亮地标定向^[43]。

3)水生两栖类：鱼类的孵化、基因表达，螺类的进食，海龟的筑巢和定向都受夜间光污染影响。其会迫使螺类在夜间继续觅食^[44]，还会改变不同鱼类的孵化期^[45]，或降低鲈鱼的促性腺激素mRNA基因的表达^[46]。且光污染越高的海边，海龟巢穴密度越低，海龟新生儿的生存率也越低^[47]。

4)鼠类：为更好验证夜间光照对人类的影响，以鼠类为脊椎动物的代表进行实验研究，集中在肿瘤、抑郁行为、运动和进食方面。持续的夜间强光暴露会引发恶性肿瘤^[48]、抑郁厌食^[49-50]、葡萄糖代谢障碍等风险^[51]。



5)植物: 夜间光污染显著影响了乔木、草本植物的物候和传粉。统计显示, 落叶树种在高亮地区的芽苞最多提前7.5d出现^[52]。街道灯光模拟实验中, 不同草种的花期有提前或延迟情况, 且植物覆盖率和生物量产生了显著差异^[53]。有关马齿苋的实验中, 夜间灯光照射后, 传粉昆虫夜间访问数减少了62%, 尽管日间传粉正常, 最后结实率仍减少了13%^[54](表2)。

2.2 夜间光污染对全健康的影响共性

综述整理后发现, 夜间光污染的负面健康影响呈现跨物种的共同特征(图2)。1) 增重与进食: 人、鸟禽、水生两栖类、脊椎、节肢动物。2) 运动与定向: 鸟禽、水生两栖类、节肢动物。3) 心理疾病: 人、鸟禽、脊椎动物。4) 睡眠障碍: 人、鸟禽、节肢动物。5) 生产繁殖: 鸟禽、水生两栖类、节肢动物、植物。6) 肿瘤癌症: 人和鼠类。

3 基于风险阈值的上海夜间光污染初步评价

将表1、2涉及有健康风险的亮度阈值进行汇总，归纳得出阈值区间，发现不同阈值也存在区间趋同性，这为全健康的统一管理提供了基础，并以上海为例，探索此风险阈值评估的可行性和适用性。上海作为长三角城市群的核心，拥有崇明东滩鸟类自然保护区等生态资源。但是，高度的城镇化也带来了较高的夜间光污染，故此尝试对上海夜间光污染的健康风险进行初步评价以识别防治工作重点。

3.1 文献实证的夜间光污染健康风险阈值划分

根据综述部分对全健康风险阈值的总结，统一辐亮度单位为 $\text{nW}/(\text{cm}^2 \cdot \text{sr})$ 。对灯光照度(lux)进行估算转化后^[55]，对夜间光污染风险阈

表3

健康风险等级占比统计

亮度等级	风险阈值nW/(cm ² ·sr)	总占比/%	总面积/km ²
I	0~3.6	59.2	3 752.2
II	3.6~20.6	16.1	1 023.9
III	20.6~85.6	20.1	1 272.7
IV	≥85.6	4.6	291.5

值进行4级区间划分(图3)。I级亮度[0, 3.6), 安全区。在这个区间内, 就综述42篇文献而言, 并未发现健康风险的直接证据。

II级亮度[3.6, 20.6)，初步影响区。其中，第一阈值 $3.6\text{ nW}/(\text{cm}^2 \cdot \text{sr})$ 是文献中发现的最低辐亮度，描述的是夜间光照对鸟类巢内行为的初步影响^[37]。可用于评价对光照最敏感的睡眠、休息等活动的栖息地，如居住区、动物巢穴等是否受光污染影响。

III级亮度[20.6, 85.6)，显著影响区。这个区间是文献证据最集中的区域，达到这个区间的夜光暴露就可以认为存在健康风险。第二阈值 $20.6\text{ nW}/(\text{cm}^2 \cdot \text{sr})$ 是人体初步受影响的辐亮度^[15]，我们选择 $85.6\text{ nW}/(\text{cm}^2 \cdot \text{sr})$ 作第三阈值^[24]，而非最高的 $118.2\text{ nW}/(\text{cm}^2 \cdot \text{sr})$ ^[38]，是因为最高阈值为鸟类雀形目极限条件下的反应，在更低的亮度下就已有健康风险。达到此区间后会有更高的乳腺癌^[15]、前列腺癌^[16]等疾病风险，且对植物、虫类^[54]、鱼类^[46]等的行为节律也产生影响。

IV级亮度[85.6, $+\infty$), 广泛影响区, 可以认为对人和生态系统存在广泛、严重的影响。各级阈值在log标度下, 距离分布较为平均(0.6, 1.3, 1.9), 符合一般辐亮度划分的标度, 如LPM对NPP/VIIRS数据的处理^[56]。

3.2 上海夜间光污染初步评价

数据来源：结合珞珈一号^④夜光遥感，对上海夜间灯光进行初步分析。珞珈一号凭借130m的精细分辨率，能更好地反映城市内光环境的细节特征，适合市级尺度的光污染监测^[55]。筛选夜间无云、成像完整的影像，最终以2018年7月14日22:30的影像作为数据源。

数据处理：使用ArcGIS 10.6进行地理校正，后根据官方提供的转换公式进行辐射定标^[5]。并通过带宽处理，将绝对辐射亮度的量纲统一为 $nW/(cm^2 \cdot sr)$ ^[57]。最后依据影响阈值划分进行光污染健康风险等级分区(图4)。

夜间光污染健康风险：统计各亮度等级的占比(表3)，结果表明，上海已有40.8%的区域处于夜间光污染中。且Ⅲ级显著影响区占比已有20.1%，生活在该范围内的居民和生物更易暴露于夜间光污染下，存在更高的潜在健康威胁。上海需加强建成区光污染控制，在保障安全的前提下，合理管控夜间灯光亮度、数量等。在进行城市光污染危害研究时，应更聚焦Ⅲ、Ⅳ级区，其可能存在更明显的负面健康反应。

自然生态保护健康风险分级表明,所有保护区都处于I级安全区内,受光污染程度较轻。崇明东滩湿地为亚太地区迁徙鸟类的重要越冬生境

和中途停歇点^[58]，虽处于I级安全区，但其紧邻周边如陈家镇等，已处于III~IV级内，可能会影响周边鸟类的巢内、飞行等行为。为更好地保护崇明东滩等湿地夜空，需加强对周边城镇夜空价值和光污染危害的普及，设置更细致的标准，防止光污染蔓延^[59]。除生态保护区外，还需重视建成区内生物健康的研究，这些生物也是城市生物多样性的重要组成部分，但其夜光暴露度、健康风险都更高。

4 结论与讨论

4.1 夜间光污染对全健康的影响及阈值

本研究整理了近20年夜间光污染对全健康影响的研究，发现夜间光污染已产生广泛的影响。一方面，夜间光污染通过干扰人体昼夜节律提升乳腺癌、前列腺癌、抑郁症、肥胖症、睡眠障碍等风险；另一方面，夜间光污染对昆虫、鸟类、鱼类、龟等动物，以及乔木、草本植物都有明显影响，通过扰乱动植物的行为节律，影响动物的发育、运动定向、代谢和免疫等，影响植物的物候及传粉。尽管已有大量物种研究，但在检索中未能发现大型食肉动物受光污染影响的研究，可能限于成本、伦理等问题，较难开展。

本研究还基于文献实证的3个关键阈值，划分了4级光污染健康风险，为夜间光污染的评估提供了初步依据。但是，该阈值局限于根据灯光亮度反映健康风险情况，忽略了光照波长、光照时间等参数的影响，还限制于研究对象种类和数量的多少、研究地区的差异等，未来仍需要更多研究来补充夜间光污染对健康的影响内容，提高阈值的准确性。

4.2 夜间光污染风险阈值评估在上海的应用

基于综述阈值的光污染评估提供了一个针对具体地区健康风险的粗略评价，有助于聚焦可能的防治关键区域，以指导实证研究。本文以上海为例，发现上海已有40.8%(II级或更高)面积受光污染影响，这意味着这些区域的夜光亮度已会对人或生态系统有健康威胁。同时，还发现上海生态保护区内夜光亮度处于安全区，可能暂不需干预。相对地，部分建成区亮度很高，需进一步研究其对全健康的影响。需要说明的是，由于各地区地物存在如林冠遮挡等的实际差别，该评价只能作为初步判断，并不能代替实证研究。

上海在光污染防治上已做出反应，2022年8

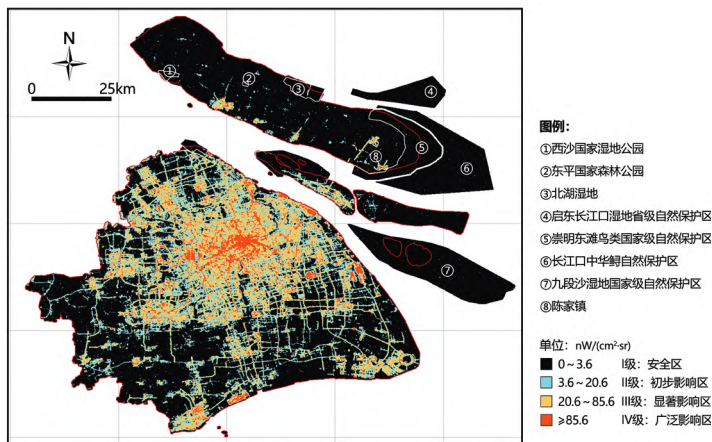


图4 上海光污染健康风险等级(数据来源: 珞珈一号)

月1日，新修改的《上海市环境保护条例》正式实施，新增了防治“光污染”的内容，对灯光输出比率进行了分级管理等。但不足的是，其中与健康相关的措施和指标只涉及眼睛疲劳。

最后，对光环境建设提出优化建议。1)结合国际标准和实证研究，制定夜间光污染健康风险评估标准，并对城市不同功能区进行分级管理，生活区需考虑对人体健康风险的最低阈值，生态保护区需要维持在安全值范围内，这些阈值仍需上海的实证研究补充。2)法规制定需考虑夜间光污染对全健康的多方面影响，光照不仅限于灯光亮度，健康不仅限于眼睛疲劳。

注：文中图片均由作者绘制。

注释：

- ① OR值：优势比，指病例暴露数与非暴露数的比值除以对照组中暴露数与非暴露数的比值。
- ② DMSP/OLS：美国军事气象卫星搭载的线性扫描系统。
- ③ NPP/VIIRS：美国NPP卫星搭载的可见光红外成像辐射仪。
- ④ 珞珈一号：全球首颗专业夜光遥感卫星。
- ⑤ 辐射定标：将图像的灰度值转换为绝对的辐射亮度。

参考文献：

[1] 费思博, 许靖嫻, 吕山, 等. 全健康: 人兽共患病防控的新思考[J]. 中国血吸虫病防治杂志, 2022, 34(1): 1-6.

[2] 中华人民共和国中央人民政府. 在中国共产党第二十次全国代表大会上的报告[EB/OL]. (2022-10-25)[2022-11-01]. http://www.gov.cn/xinwen/2022-10/25/content_5721685.htm.

[3] 张继力, 杜雁, 高翊. 夜空公园: 演变、实践与启示[J]. 中国园林, 2020, 36(1): 60-64.

[4] 左玉辉. 环境学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2010: 175-177.

[5] Falchi F, Cinzano P, Duriscoe D, et al. The new world atlas of artificial night sky brightness[J]. *Science Advances*, 2016, 2(6): e1600377.

[6] Falcón J, Torriglia A, Attia D, et al. Exposure to Artificial Light at Night and the Consequences for Flora, Fauna, and Ecosystems[J]. *Frontiers in Neuroscience*, 2020, 14: 1183-1222.

[7] 朱蕊蕊, 赵辉, 张安, 等. 风景园林学健康研究领域文献系统综述和研究前沿分析[J]. 中国园林, 2021, 37(3): 26-31.

[8] 章建成, 金亚虹, 雷震, 等. 中国青少年课外体育锻炼现状及影响因素研究报告[J]. 体育科学, 2012, 32(11): 3-18.

[9] 曹玮, 胡立辉, 王晓春. 可持续场地评估体系在美国大学校园景观中的应用与启示[J]. 中国园林, 2017, 33(11): 64-69.

[10] Bedrosian T A, Nelson R J. Timing of light exposure affects mood and brain circuits[J]. *Translational Psychiatry*, 2017, 7(1): e1017.

[11] Schmidt T M, Chen S K, Hattar S. Intrinsically photosensitive retinal ganglion cells: many subtypes, diverse functions[J]. *Trends in Neurosciences*, 2011, 34(11): 572-580.

[12] Grubisic M, Haim A, Bhusal P, et al. Light Pollution, Circadian Photoreception, and Melatonin in Vertebrates[J]. *Sustainability*, 2019, 11(22): 6400.

[13] Garcia-saenz A, De Miguel A S, Espinosa A, et al. Evaluating the Association between Artificial Light-at-Night Exposure and Breast and Prostate Cancer Risk in Spain (MCC-Spain Study)[J]. *Environmental Health Perspectives*, 2018, 126(4): 047011.

[14] Lamphar H, Kocifaj M, Limon-romero J, et al. Light pollution as a factor in breast and prostate cancer[J]. *Science of the Total Environment*, 2022, 806: 150918.

[15] 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*, 2008, 25(1): 65-81.

[16] 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.
- [17] Kloog I, Stevens R G, Haim A, et al. Nighttime light level co-distributes with breast cancer incidence worldwide[J]. *Cancer Causes & Control*, 2010, 21(12): 2059-2068.
- [18] Garcia-saenz A, De Miguel A S, Espinosa A, et al. Association Between Outdoor Light-at-night Exposure and Colorectal Cancer in Spain[J]. *Epidemiology*, 2020, 31(5): 718-727.
- [19] Zhang D, Jones R R, James P, et al. Associations between artificial light at night and risk for thyroid cancer: A large US cohort study[J]. *Cancer*, 2021, 127(9): 1448-1458.
- [20] Xiao Q, Jones R R, James P, et al. Light at Night and Risk of Pancreatic Cancer in the NIH-AARP Diet and Health Study[J]. *Cancer Research*, 2021, 81(6): 1616-1622.
- [21] Koo Y S, Song J Y, Joo E Y, et al. Outdoor artificial light at night, obesity, and sleep health: Cross-sectional analysis in the KoGES study[J]. *Chronobiology International*, 2016, 33(3): 301-314.
- [22] Zhang D, Jones R R, Powell-wiley T M, et al. A large prospective investigation of outdoor light at night and obesity in the NIH-AARP Diet and Health Study[J]. *Environmental Health*, 2020, 19(1): 1-8.
- [23] Park Y M M, White A J, Jackson C L, et al. Association of Exposure to Artificial Light at Night While Sleeping With Risk of Obesity in Women[J]. *Jama Internal Medicine*, 2019, 179(8): 1061-1071.
- [24] Sun S Z, Cao W N, Ge Y, et al. Outdoor light at night and risk of coronary heart disease among older adults: a prospective cohort study[J]. *European Heart Journal*, 2021, 42(8): 822-830.
- [25] Sorensen T B, Wilson R, Gregson J, et al. Is night-time light intensity associated with cardiovascular disease risk factors among adults in early-stage urbanisation in South India? A cross-sectional study of the Andhra Pradesh Children and Parents Study[J]. *Bmj Open*, 2020, 10(11): e036213.
- [26] Obayashi K, Yamagami Y, Kurumatani N, et al. Bedroom lighting environment and incident diabetes mellitus: a longitudinal study of the HEIJO-KYO cohort[J]. *Sleep Medicine*, 2020, 65: 1-3.
- [27] Obayashi K, Yamagami Y, Tatsumi S, et al. Indoor light pollution and progression of carotid atherosclerosis: A longitudinal study of the HEIJO-KYO cohort[J]. *Environment International*, 2019, 133: 105184.
- [28] Hu K J, Li W L, Zhang Y Q, et al. Association between outdoor artificial light at night and sleep duration among older adults in China: A cross-sectional study[J]. *Environmental Research*, 2022, 212: 113343.
- [29] Min J Y, Min K B. Outdoor Artificial Nighttime Light and Use of Hypnotic Medications in Older Adults: A Population-Based Cohort Study[J]. *Journal of Clinical Sleep Medicine*, 2018, 14(11): 1903-1910.
- [30] Obayashi K, Saeki K, Kurumatani N. Association between light exposure at night and insomnia in the general elderly population: The HEIJO-KYO cohort[J]. *Chronobiology International*, 2014, 31(9): 976-982.
- [31] Min J Y, Min K B. Outdoor light at night and the prevalence of depressive symptoms and suicidal behaviors: A cross-sectional study in a nationally representative sample of Korean adults[J]. *Journal of Affective Disorders*, 2018, 227: 199-205.
- [32] Obayashi K, Saeki K, Kurumatani N. Bedroom Light Exposure at Night and the Incidence of Depressive Symptoms: A Longitudinal Study of the HEIJO-KYO Cohort[J]. *American Journal of Epidemiology*, 2018, 187(3): 427-434.
- [33] Paksarian D, Rudolph K E, Stapp E K, et al. Association of Outdoor Artificial Light at Night With Mental Disorders and Sleep Patterns Among US Adolescents[J]. *Jama Psychiatry*, 2020, 77(12): 1266-1275.
- [34] Xie Y Y, Jin Z J, Huang H, et al. Outdoor light at night and autism spectrum disorder in Shanghai, China: A matched case-control study[J]. *Science of the Total Environment*, 2022, 811: 152340.
- [35] Esaki Y, Obayashi K, Saeki K, et al. Association between light exposure at night and manic symptoms in bipolar disorder: cross-sectional analysis of the APPLE cohort[J]. *Chronobiology International*, 2020, 37(6): 887-896.
- [36] Cabrera-cruz S A, Larkin R P, Gimpel M E, et al. Potential Effect of Low-Rise, Downcast Artificial Lights on Nocturnally Migrating Land Birds[J]. *Integrative and Comparative Biology*, 2021, 61(3): 1216-1236.
- [37] Stracey C M, Wynn B, Robinson S K. Light Pollution Allows the Northern Mockingbird (*Mimus polyglottos*) to Feed Nestlings After Dark [J]. *Wilson Journal of Ornithology*, 2014, 126(2): 366-369.
- [38] 郝庆丽, 任卓菲, 刘刚.光和噪声污染胁迫下城市生态斑块鸟类风险评估[J].生态学报, 2022, 42(6): 2186-2201.
- [39] Dominoni D M, Jensen J K, De Jong M, et al. Artificial light at night, in interaction with spring temperature, modulates timing of reproduction in a passerine bird[J]. *Ecological Applications*, 2020, 30(3): e02062.
- [40] Van Langevelde F, Van Grunsven R H A, Veenendaal E M, et al. Artificial night lighting inhibits feeding in moths[J]. *Biology Letters*, 2017, 13(3): 20160874.
- [41] Firebaugh A, Haynes K J. Light pollution may create demographic traps for nocturnal insects[J]. *Basic and Applied Ecology*, 2019, 34: 118-125.
- [42] Rodrigues N R, Macedo G E, Martins I K, et al. Short-term sleep deprivation with exposure to nocturnal light alters mitochondrial bioenergetics in *Drosophila*[J]. *Free Radical Biology and Medicine*, 2018, 120: 395-406.
- [43] Foster J J, Tocco C, Smolka J, et al. Light pollution forces a change in dung beetle orientation behavior[J]. *Current Biology*, 2021, 31(17): 3935.
- [44] Underwood C N, Davies T W, Queiros A M. Artificial light at night alters trophic interactions of intertidal invertebrates[J]. *Journal of Animal Ecology*, 2017, 86(4): 781-789.
- [45] Bruning A, Holker F, Wolter C. Artificial light at night: implications for early life stages development in four temperate freshwater fish species[J]. *Aquatic Sciences*, 2011, 73(1): 143-152.
- [46] Bruning A, Holker F, Franke S, et al. Impact of different colours of artificial light at night on melatonin rhythm and gene expression of gonadotropins in European perch[J]. *Science of the Total Environment*, 2016, 543: 214-222.
- [47] Simões T N, Da Silva A C, Moura C C D. Influence of artificial lights on the orientation of hatchlings of *Eretmochelys imbricata* in Pernambuco, Brazil[J]. *Zoologia*, 2017, 34: 1-6.
- [48] Anisimov V N, Baturin D A, Popovich I G, et al. Effect of exposure to light-at-night on life span and spontaneous carcinogenesis in female CBA mice[J]. *International Journal of Cancer*, 2004, 111(4): 475-479.
- [49] Walker W H, Borniger J C, Gaudier-diaz M M, et al. Acute exposure to low-level light at night is sufficient to induce neurological changes and depressive-like behavior[J]. *Molecular Psychiatry*, 2020, 25(5): 1080-1093.
- [50] Fonken L K, Weil Z M, Nelson R J. Mice exposed to dim light at night exaggerate inflammatory responses to lipopolysaccharide[J]. *Brain Behavior and Immunity*, 2013, 34: 159-163.
- [51] Opperhuizen A L, Stenvers D J, Jansen R D, et al. Light at night acutely impairs glucose tolerance in a time-, intensity- and wavelength-dependent manner in rats[J]. *Diabetologia*, 2017, 60(7): 1333-1343.
- [52] French-constant R H, Somers-yeates R, Bennie J, et al. Light pollution is associated with earlier tree budburst across the United Kingdom[J]. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 2016, 283(1833): 20160813.
- [53] Bennie J, Davies T W, Cruse D, et al. Artificial light at night alters grassland vegetation species composition and phenology [J]. *Journal of Applied Ecology*, 2018, 55(1): 442-450.
- [54] Knop E, Zoller L, Ryser R, et al. Artificial light at night as a new threat to pollination[J]. *Nature*, 2017, 548(7666): 206.
- [55] 李家艺, 徐永明, 崔炜萍.基于珞珈一号夜光遥感数据的南京市夜间光污染监测[J].自然资源遥感, 2022, 34(2): 289-295.
- [56] Stare J. Light pollution map[EB/OL]. <https://www.lightpollutionmap.info>.
- [57] 王美玲, 张和生.一种适用于珞珈一号夜间灯光影像的去噪方法[J].遥感信息, 2021, 36(2): 114-119.
- [58] 范学忠, 张利权, 袁琳.基于空间分带的崇明东滩水鸟适宜生境的时空动态分析[J].生态学报, 2011, 31(13): 3820-3829.
- [59] 张天骋, 杜雁, 高翅.国际夜空公园管理和实践[J].中国园林, 2016, 32(5): 124-128.

(编辑/马琳)

作者简介:

熊睿雨

2000年生/男/四川成都人/同济大学建筑与城市规划学院在读硕士研究生/研究方向为风景园林规划与设计、健康设计(上海200092)

陈 箴

1983年生/女/重庆人/同济大学建筑与城市规划学院副教授, 硕士生导师/研究方向为环境感受和健康设计(上海200092)