

光污染对生态有何影响？

作者：

勒塔莱克·托马斯（LE TALLEC Thomas），巴黎国家自然历史博物馆副教授。



光污染是一种与人类使用人工照明有关的现象。它改变了环境的自然光周期变化和光照强度。本文探讨了光污染的起源和程度，它对生物和生态系统的影响及其相关生物学机制。

1. 全球光污染现状

1.1. 什么是光污染？

光污染源于人工光源的使用，与城市化及人类活动的拓展密切相关。在天文学中，对光污染的定性定义是指降低了夜空质量，掩盖了恒星和其他天体，限制了天文学研究的人为来源的光，这就是天文学家谈论的“天文光污染”。对光污染的定量性定义则是国际天文学联合会给出的：对于一个明确界定的地理区域内，当夜空中传播的人造光强度大于夜间自然光强的 10% 时，就认为发生了光污染。

在生态学中，光污染是指破坏自然光周期（昼夜循环和季节循环）、改变夜间环境，从而影响生物体和生态系统的行为、生物节律和生理功能的人为来源的

光，这就是生态学家谈论的“生态光污染”。

1.2. 来源

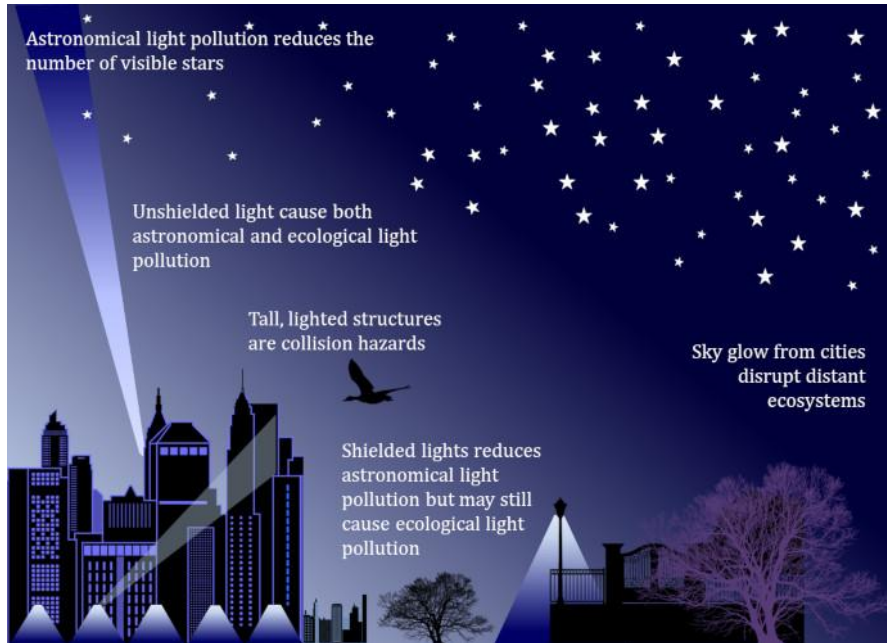


图 1. 光污染源：光污染源包括建筑物和构筑物照明、公共场所和道路照明、应急照明和车辆照明。这些来源的光污染改变了自然的光周期，降低了夜空质量，也改变了夜间环境。[图片来源：根据里奇和朗科（Rich & Longcore）修改，2006。请参阅参考[1]]（Astronomical light pollution reduces the number of visible stars：天文光污染会减少可见恒星的数量；Unshielded light cause both astronomical and ecological light pollution：无屏蔽的光会造成天文光污染和生态光污染；Tall, lighted structures are collision hazards：高大的照明建筑是鸟类碰撞的危险源；Shielded lights reduces astronomical light pollution but may still cause ecological light pollution：有屏蔽的灯减少了天文光污染，但仍然可能造成生态光污染；Sky glow from cities disrupt distant ecosystems：来自城市的天空辉光会干扰远处的生态系统）

理论上人造光源专门用于特定的目标，但是不幸的是，实际上它们产生的光照总有一部分会泄露射向天空，并被大气中的颗粒和水蒸气散射。在光源的周围会因为散射而形成“光晕”，有多个光源时，这些光晕会汇聚形成一个“聚集光晕”。因此，任何配备人工照明的建筑都可能产生光污染^[1]。下列情况尤其如此：

- 公共场所和道路照明：为了阻止和打击犯罪，这些地方的亮度通常超过照明的最低需求。
- 工商业建筑中的照明：经常过度照明以吸引顾客，营造有吸引力、消费者友

好的环境。

- 停车场和体育中心的照明。
- 尚未纳入任何法规管制的房屋外部和内部照明。
- 车辆照明。

除此以外，低劣的技术、夜间非必要时段使用照明设备、维护不良或缺乏维修都会增大光污染的强度。

最后，天气条件可以改变光在大气中的散射，进而影响光污染的强度。例如，在城市地区，浓云覆盖时的光污染强度可以比晴空无云时大 10 倍。气象条件不同，被照明表面的反射系数也会变化，从而改变向天空反射的光通量。在干燥的天气条件下，城市人工表面的反射系数在 0.1~0.2 之间，即入射光线的 10%~20% 被反射；当有积雪覆盖时，反射系数会提升至 0.8。

1.3. 全球现状

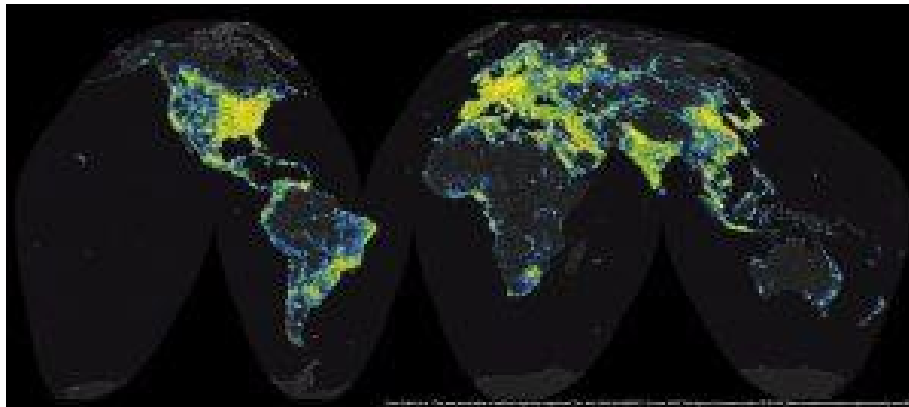


图 2. 全球光污染地图：根据 2013/2014 年的卫星影像数据绘制。光污染水平用夜晚有人为光源影响的天空亮度与其自然亮度之比来表征，不同颜色表示光污染的不同强度。比率：0.1~0.3 为蓝色；1~2 为绿色；2~5 为黄色；5~10 为红色；大于 10 为白色。[来源：法尔奇(Falchi)等人，2016。参见参考文献[2] (CC By-NA 4.0)；光污染图集。]

第一本世界光污染地图集在 2001 年出版，于 2016 年更新^[2]。新版本基于 2013/2014 年的卫星调查数据，采用了国际天文学联合会对光污染的定义：对于一个边界明确的地理区域，当人为光源使夜空的亮度高于其自然亮度的 10% 时，

就认为发生了光污染（图 2）。

在 2013/2014 年期间，光污染影响了世界陆地面积的 22.5%、美国面积的 46.9%、欧盟面积的 88.4% 和法国面积的 100%。相应地，世界人口的 83.2%，包括 99.7% 的美国人口、99.8% 的欧盟人口和 100% 的法国人口都受到光污染的影响，世界上 35.9% 的人口在夜间看不到银河，13.9% 的人口因光污染的影响而出现视觉系统无法适应夜视的情形，他们的视觉系统实际上始终处于日视状态^[2]。

目前，科学家认为光污染是世界上增长最快的污染形式之一，平均每年增长 6%，欧洲国家增长率高达 10%。

因此，光污染不是局部现象，其影响范围是全球性的，并且还在不断增加。光污染已经影响了世界上的一些保护区，尤其是各级天然公园。因此，世界上大部分生态系统，包括其中的动植物都会受到影响。

2. 光污染对生物个体的影响

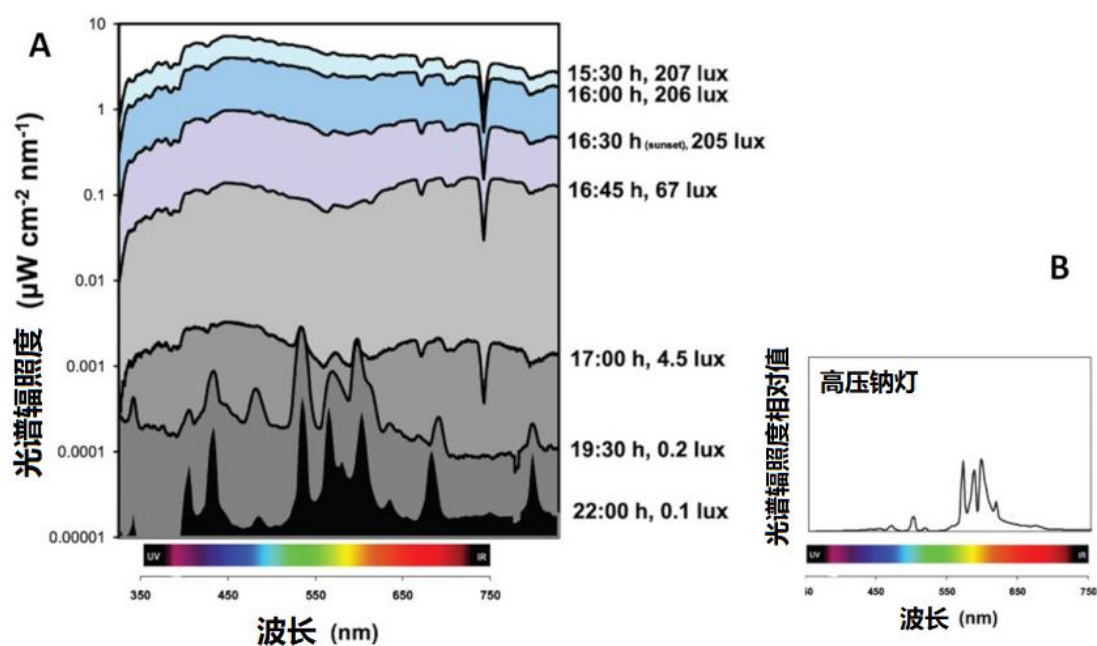


图 3. 一天光谱的变化。在康沃尔（英国）的一个小镇附近冬季某一天不同时间测量的电磁辐射光谱（A）：直到 17:00，测量到的光谱与太阳光光谱一致，光照强度随着时间推移逐渐降低；从 19.30 到 22:00，测量到的光谱反映了主要使用的人工照明光源高压钠灯的光谱（B）。[图片来源：修改自加斯頓等（Gaston et al）2013。见参考文献[4]]

自然光及其周期性变化对生物至关重要（见[焦点：光周期与生物](#)）。光污染则会改变光照环境，包括光照强度、光谱组成的变化以及光的周期性不再明显（图 3，^[4]）。这些变化很可能会改变生物个体的行为、生理功能和生物节律，长此以往还可能威胁到生态系统的平衡。

2.1. 行为变化

光污染会导致动物出现受人为光源吸引/排斥、向人为光源定向/迷失方向的行为。例如，小型夜行性哺乳动物会对人为光源产生排斥反应，它们会远离这些光源。这是由于人为光源增加了环境的亮度，可能增加它们被天敌捕食的风险。与此相反，夜行性昆虫和迁徙中的候鸟利用星光在夜间活动，它们会受人为光源吸引而接近光源，而这种吸引反应会使个体迷失方向。更严重的是，当这些动物飞向人为光源时，可能会与有照明的大型建筑发生碰撞，或被灯具炙烤脱水甚至点燃^[1]。

光污染还会影响动物的活动和饮食行为。研究观察到，当环境受到光污染时，小型夜行性哺乳动物会减少活动和觅食行为，增加了身体状况恶化的风险。例如，将生活在灌丛中的达尔文耳鼠（*Phyllotis darwini*）夜间置于高亮度的环境中时，它们的食物摄入量减少了 15%，带回洞穴的食物仅为自然光环境下的 40%，一晚上体重减轻了 4.4 克^[1]。

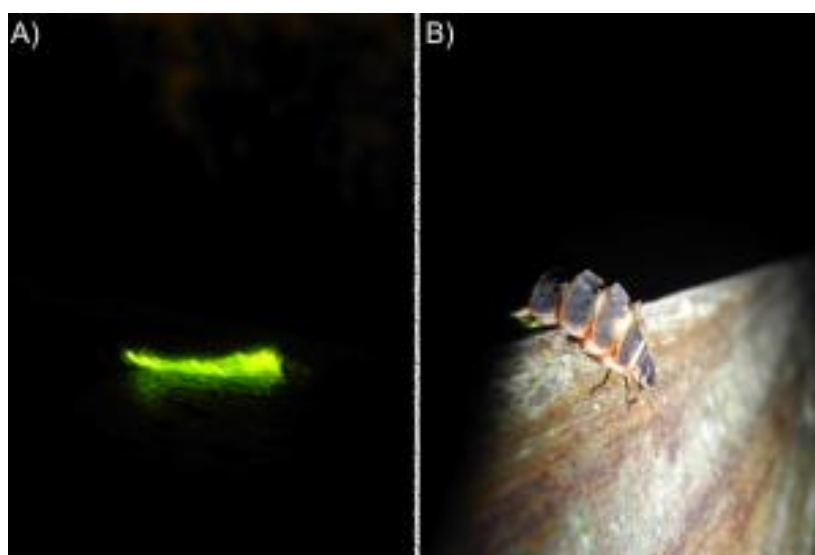


图 4. 光污染与视觉通信。为了在同类之间通信，发光蠕虫和萤火虫会发出光信号。在没有光污染的情况下，雌性萤火虫的闪光可以吸引 45 米外的雄性（A）。环境受到强光照时，这些闪光的可见度会降低，因而会影响交流（B）。图中显示了未施加和施加了人工光照的

萤火虫 (*Lampyrus noctiluca*)。 [来源: 由 NN (FR-64129) [FAL], 维基共享资源]

最后, 光污染会影响视觉通信和繁殖行为的有效性。萤火虫和发光蠕虫等生物发光物种能够自己产生并发出生物光, 作为信号吸引同伴, 它们尤其容易受光污染影响。事实上, 过高的环境亮度会削弱生物光信号的可视性, 干扰个体之间的交流和繁殖。非生物发光物种也会受到影响, 例如, 两栖动物在强光环境中会减少求偶鸣叫。为加快交配速度并降低被捕食风险, 它们对伴侣的选择性会减弱。然而, 它们繁殖能否成功实际上取决于选择的伴侣是否合适^[1]。

2.2. 生理功能和生物节律: 假说

我们对光污染如何影响野生动物的生物节律和生理功能尚不清楚, 目前大部分数据都来自于鸟类。研究发现: 暴露于光污染下的昼行性鸟类的昼夜节律受到影响, 它们每天会提早活动和鸣叫; 季节节律也受到干扰, 表现为提前进入繁殖周期和换羽。2013年的一项研究表明, 受光污染影响的鸟类, 其体内的一种感光激素褪黑素的合成受到一定程度的抑制。无论是鸟类还是哺乳动物, 褪黑素都担负确保身体内各种生物节律同步的功能。因此, 该激素合成被抑制可能与研究观察到的生物节律变化有关^[5]。

对实验动物的研究也发现, 啮齿动物的生物节律因光污染而改变, 进一步研究发现, 在光污染环境中这些动物会出现代谢紊乱 (葡萄糖不耐受、体重增加), 产生冷漠和抑郁行为, 改变体温调节能力, 降低免疫反应。2016年, 对一种小型夜行性灵长类实验动物小嘴狐猴 (*Microcebus murinus*) 的研究显示, 它们受到光污染后褪黑素的合成也被抑制^[6]。

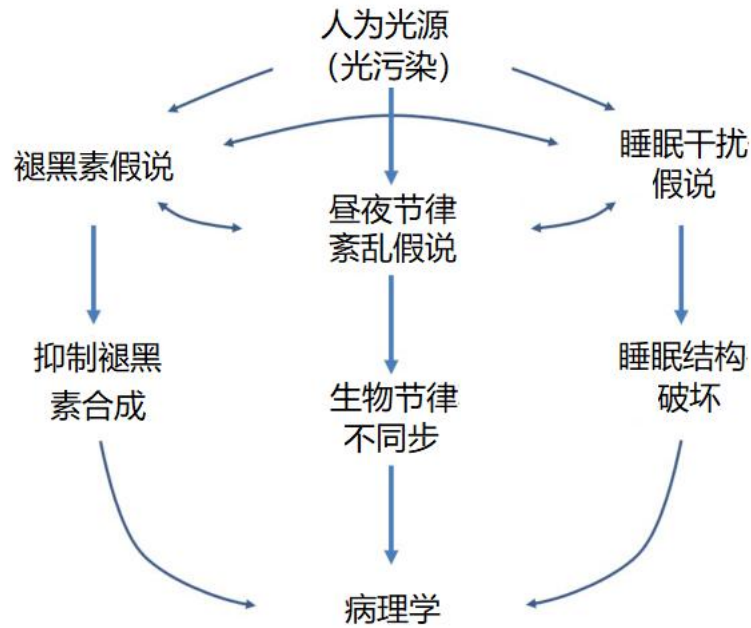


图 5. 解释光污染如何影响人类健康的三个非排他性假说：(1) “昼夜节律紊乱假说”：光污染使人体内部主要生物钟与昼夜的轮转不同步；(2) “褪黑素假说”：光污染减少了褪黑素的合成和分泌；(3) “睡眠干扰假说”：光污染改变了睡眠结构。上述过程的长期调整和改变会导致病理学变化。

对城市地区和夜间工作的人群开展的临床和流行病学研究表明，光污染通过改变昼夜轮转的节奏，威胁人体健康[7]。其影响机制可能包括如下三方面(图 5)：

“昼夜节律紊乱假说”：光污染刺激人体内主要生物钟，使其与实际的昼夜循环不同步。

“褪黑素假说”：光污染减少褪黑素的产生和分泌，而褪黑素缺乏往往伴随着生物节律紊乱和抗炎、抗氧化、免疫刺激、神经保护、心血管保护和抗肿瘤能力丧失。

“睡眠干扰假说”：光污染通过使体内主要生物钟不同步，改变睡眠结构，甚至减少睡眠时长，而保障睡眠的质量和数量都是维持身体内稳态平衡所必需的，是身体健康的前提。

上述三种机制并非相互排斥，相反，它们可能是密切关联的。人体经历长期光污染后，内稳态的变化可能引发身体的病理性改变。野生动物也很可能通过相同的机制造成身体损伤。

3. 光污染对生态系统的影响

3.1. 不平衡的生态系统？

在生态系统层面，光污染会引发大量的不平衡，其中特别重要的有种间/种内竞争、猎物/捕食者平衡、群落物种组成等的变化。事实上，光污染通过改变光环境创造出了新的生态位，以高光照为特征的这个新生态位会吸引一些夜行性物种，也会排斥其他一些物种。例如，路灯附近会聚集大量夜行昆虫，而能快速飞行的蝙蝠可从中获益。在城郊和路灯附近捕食的北棕蝠 (*Eptesicus nilssonii*) 可获得 0.5 kJ/min 的热量摄入率，而在林木繁茂地区捕食的仅为 0.2 kJ/min。另一方面，路灯附近的高光照不适合躲避夜行猛禽，虽然有大量昆虫聚集，但是飞行速度慢的蝙蝠无法从中获益。两类蝙蝠种间食物竞争的结果是慢飞蝙蝠失利，这就解释了近年来欧洲飞行快速的蝙蝠物种数量增加而飞行速度慢的蝙蝠物种数量减少的现象^[1]。

除此以外，在这个新的生态位中昼行性物种可利用其视觉感知在夜间定位、活动和觅食。这些物种占据了夜间暴露于人为光源下的栖息地，会与夜行性捕食者竞争，并改变猎物/捕食者间的平衡。在蜘蛛、昼行性爬行动物和昼行性鸟类中都观察到了这类行为，它们在路灯周围捕食聚集的夜行性昆虫，并占据夜行性物种放弃的受光污染的环境。一些作者认为，被放弃的光污染环境可能会有利于外来物种入侵。

最后，在城郊的一项研究表明，人工照明改变了陆地无脊椎动物群落的组成。陆生无脊椎动物在受人工光源直接照射的环境中的数量明显高于远离人工照明的环境中的数量，并且两种环境之间无脊椎动物群落的组成也存在很大的差异。在接受人工光照的环境中，群落主要由掠食类和腐食类无脊椎动物，包括蜘蛛、步甲、木虱、蚂蚁和片脚类动物。如果大规模实施人工照明，上述变化可能会改变生态系统的平衡和功能^[8]。

3.2. 对生境和物种选择的影响

光污染也可能导致生境破碎化，夜行性昆虫就是一个很好的例证。事实上，一盏灯可以吸引半径 400~700 米内的夜行性昆虫。然而，在城市地区，相邻路灯之间的距离只有 30~50 米。夜行性昆虫被这些人为光源吸引，活动范围缩小。因此，道路照明灯是沿交通路线建立的真正人造障碍，切割了夜行性昆虫的生境^[1]。

光污染还可能威胁到光照耐受力低的光敏物种或个体。因此，光污染可以表现为一种选择因子，并改变自然种群的多样性。值得注意的是，28%的脊椎动物和64.4%的无脊椎动物只在夜间活动或部分活动时间在夜间，这也就是说，有同样多的物种对强光照不适应或只有很弱的适应能力。

最后，水生生物和植物跟动物一样对光环境敏感，它们也会受到光污染的威胁^[9]。

总而言之，光污染是一种鲜为人知但十分真实的现象，并且程度还在不断增加。这种污染通过改变光的自然周期性和光环境，很可能会改变生物的行为、生理功能和生物节律。在个体水平，光污染会影响生物的定向性，改变其运动、饮食、生殖和个体间的交流行为。在群体和生态系统水平，光污染作为一种选择因子，会改变物种间的竞争、猎物/捕食者平衡，并导致栖息地破碎化。因此，光污染对生态群落的影响是真实的，为了保护夜空和生物多样性，极有必要限制和减少光污染。

参考文献和说明

封面照片[来源: @Alain Herrault – Diverticimes]

[1] Rich C. & Longcore T. (2006) *Ecological consequences of artificial night lighting*. Island Press.

[2] Falchi F., Cinzano P., Duriscoe D., Kyba C.C.M., Elvidge C.D., Baugh K., Portnov B.A., Rybnikova N.A. & Furgoni R. (2016) The new world atlas of artificial night sky brightness. *Science Advances* 2, e1600377.

[3] Hölker F., Moss T., Griefahn B., Kloas W. & Voigt C.C. (2010) The darkside of light: a transdisciplinary research agenda for light pollution policy. *Ecology and Society* 15, 13.

[4] Gaston K. J., Bennie J., Davies T. W. Hopkins J. (2013) The ecological impacts of night time light pollution: a mechanistic appraisal. *Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society* 88, 912-927.

[5] Dominoni D.M., Goymann W., Helm B. & Partecke J. (2013) Urban-like night illumination reduces melatonin release in European blackbirds (*Turdus merula*): implications of city life for biological time-keeping of songbirds. *Frontiers in Zoology* 10, 1-10.

[6] Le Tallec T., Théry M. & Perret M. (2016) Melatonin concentrations and timing of seasonal

reproduction in male mouse lemurs (*Microcebus murinus*) exposed to light pollution. *Journal of Mammalogy*, 1-8.

[7] Haim A. & Portnov B.A. (2013) Light pollution as a new risk factor for human breast and prostate cancers. Springer.

[8] Davies T.W., Bennie J. Gaston K.J. (2012) Street lighting changes the composition of invertebrate communities. *Biology Letters* 8, 764-767.

[9] Hölker F., Wolter C., Perkin E.K. & Tockner K. (2010) Light pollution as a biodiversity threat. *Trends in Ecology & Evolution* 25, 681-682.

译者：王鑫

审校：崔骁勇

责任编辑：胡玉娇