



光污染

—香港版



香港大學光污染研究小組
Light Pollution Research Team
The University of Hong Kong

NAOJ
National Astronomical
Observatory of Japan
日本國立天文台

天文學和光污染

如果沒有黑暗的天空，天文學家便無法接收來自外太空遠處星體的微弱光線。黑暗的天空是瞭解宇宙奧秘的重要科學資源。對於所有文明來說，黑暗的天空也是文化和自然遺產的重要組成部分。

許多天文觀測站都建在渺無人煙的地方，以避開都市和城鎮的光線。即使如此，這些天文觀測站還是會受到光污染的威脅。例如，本頁左下方顯示城市燈光正在侵蝕夏威夷毛納基山山頂。毛納基天文台是世界上其中一個最好的天文觀測地點。照明法例是保護這些觀測地點免受光污染影響的重要工具。

繁星、七姊妹星團、金星以及世界上最大的望遠鏡 — 坐落夏威夷山頂上的凱克天文台和昴星團天文台。（圖片來源：Hideaki Fujiwara 博士 - 日本國立天文台昴星團天文台）





從太空俯瞰美國紐約市。(圖片來源：美國太空總署約翰遜太空中心 ISS045-E-066112)

國際天文聯會與黑暗天空的保護


國際天文聯會 (IAU) 匯集了來自近100個國家的一萬多位專業天文學家，務求通過國際合作，促進和保護天文科學的各方面。

本刊物集合了全球光污染領域專家的一些重要發現。有關資料是在國際天文聯會在2015年國際光年期間組織的「宇宙之光」計劃下收集得到。本刊物出版的目的是，是為了著力介紹我們對光污染理解的近期進展，特別是關於LED燈的使用如何影響光污染，從而支援天文界，並提高公眾對光污染研究的認識。

夜空輝光

光污染是指人造戶外照明的不當使用，對環境造成的不良影響。向上照射（在水平角度以上照射）的人造光源所產生的無謂光線，被氣溶膠、雲霧或大氣中的污染物等微小顆粒散射。這種散射形成了一種漫射光，可以從很遠的地方看到。夜空輝光就是最常見的光污染形式。

由於二次散射之故，獨立光源對鄉郊地區夜空輝光的影響較對城市夜空輝光的影響更大。根據 Martin Aubé 的說法，城市中10%的夜空輝光和鄉郊地區50%的夜空輝光都來自二次反射。



奧地利薩爾茨堡的星空和夜空輝光
(圖片來源：Andreas Max Böckle)

光滋擾


光滋擾是另一個常見問題，這個問題甚至可能影響我們的健康。夜間不必要的光線可以穿透房屋的窗戶，導致人們因過度曝露於光線之下而出現睡眠障礙。



圖片來源：Ducky Tse / 地球之友 (香港)

眩光

夜間過亮的光線既會造成很高的光對比度，也會減低能見度。眩光會令人不適，甚至在極端情況下產生炫目後果。眼睛老化和患有白內障的老人蒙受的影響最大。



圖片來源：E. Hanlon



很差



不佳



較好

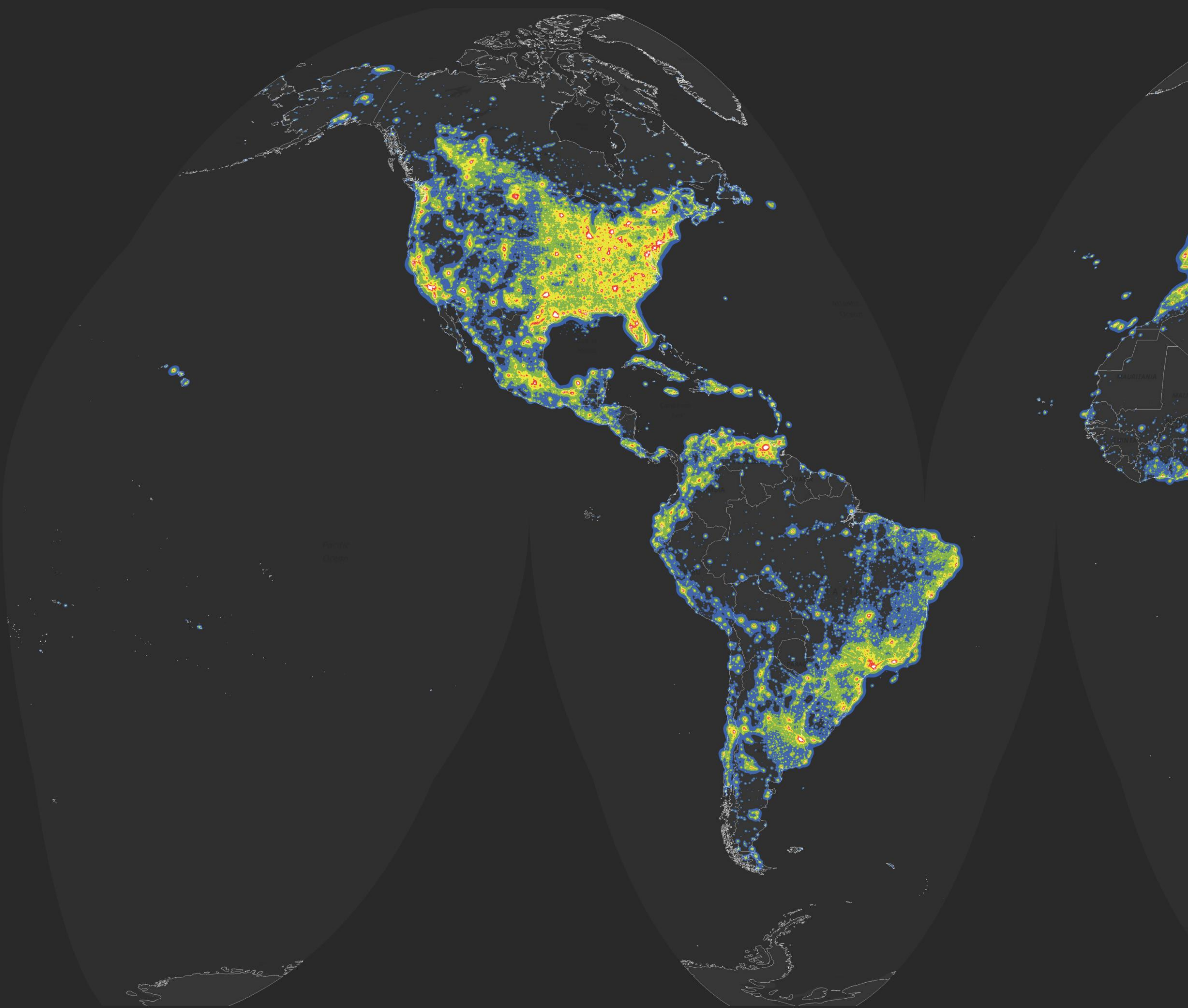


最好

解決方法

一個備受推薦的儘量降低夜空輝光方法，是將燈泡完全覆蓋起來，以便在遠處可見到燈具在地面上的足跡，但卻見不到光源。國際暗天協會 (International Dark-Sky Association) 估計，美國至少有30%的戶外照明是浪費的，主要是由於燈泡並沒設有覆蓋屏蔽。向天空照射並且可以從太空看到的無遮擋的光，大多是被浪費掉的能量。另一個方法是儘量減少設置燈具和減少開燈時數，只在有需要的地方和時間亮燈。這些方法還可以減少產生光滋擾和眩光的問題。種植更多的樹木，也有助阻止二次反射的光照向天空。

2016年光污染



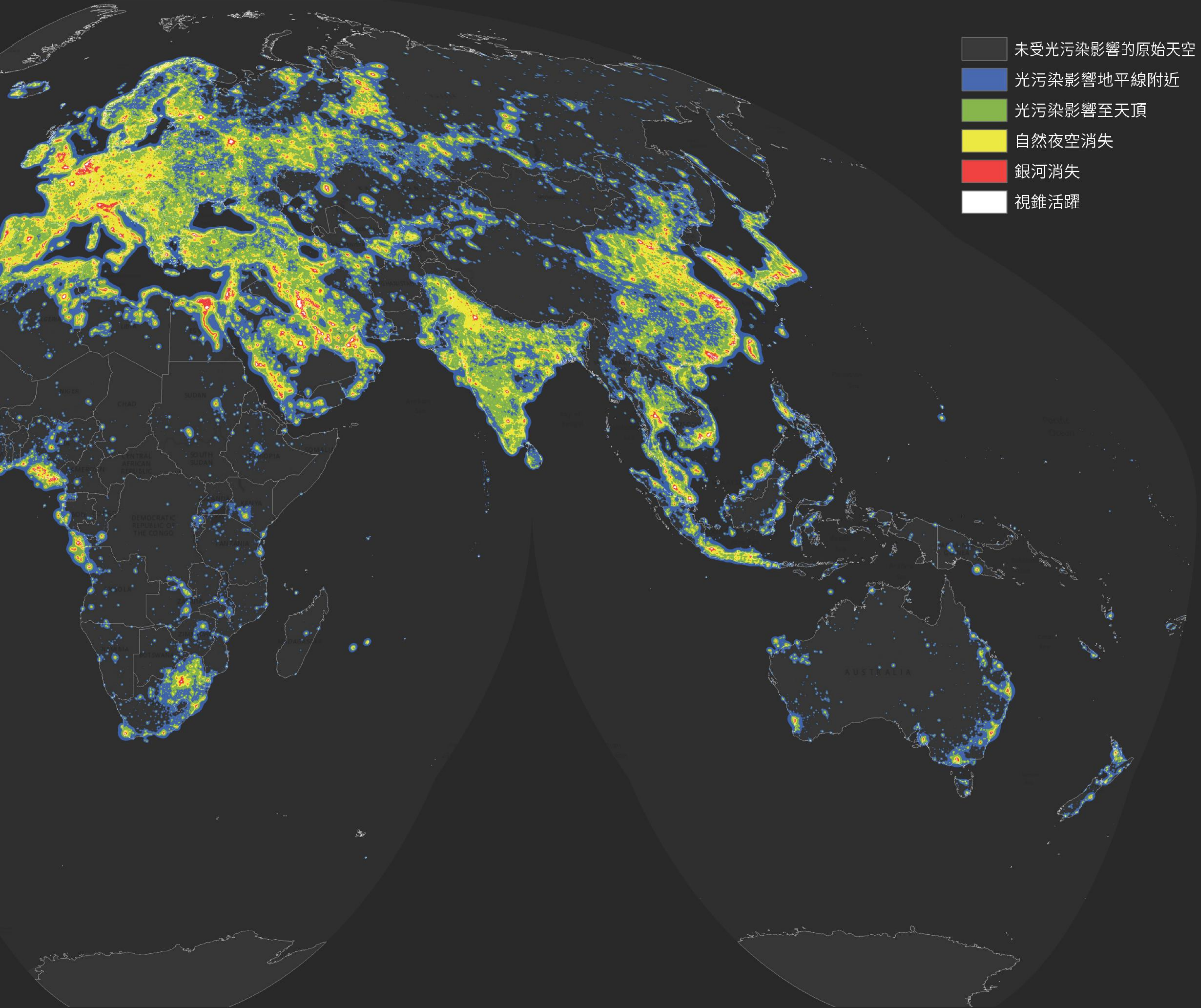
2016年，Fabio Falchi 等人發佈了最新光污染世界地圖。

地圖上的不同顏色表示不同程度的光污染 — 黑色表示未受光污染影響的原始天空，其次是藍色、綠色、黃色和紅色，表示逐步嚴重的光污染水平。地圖上顯示出「視錐活躍」的白點是光污染最嚴重的城市。

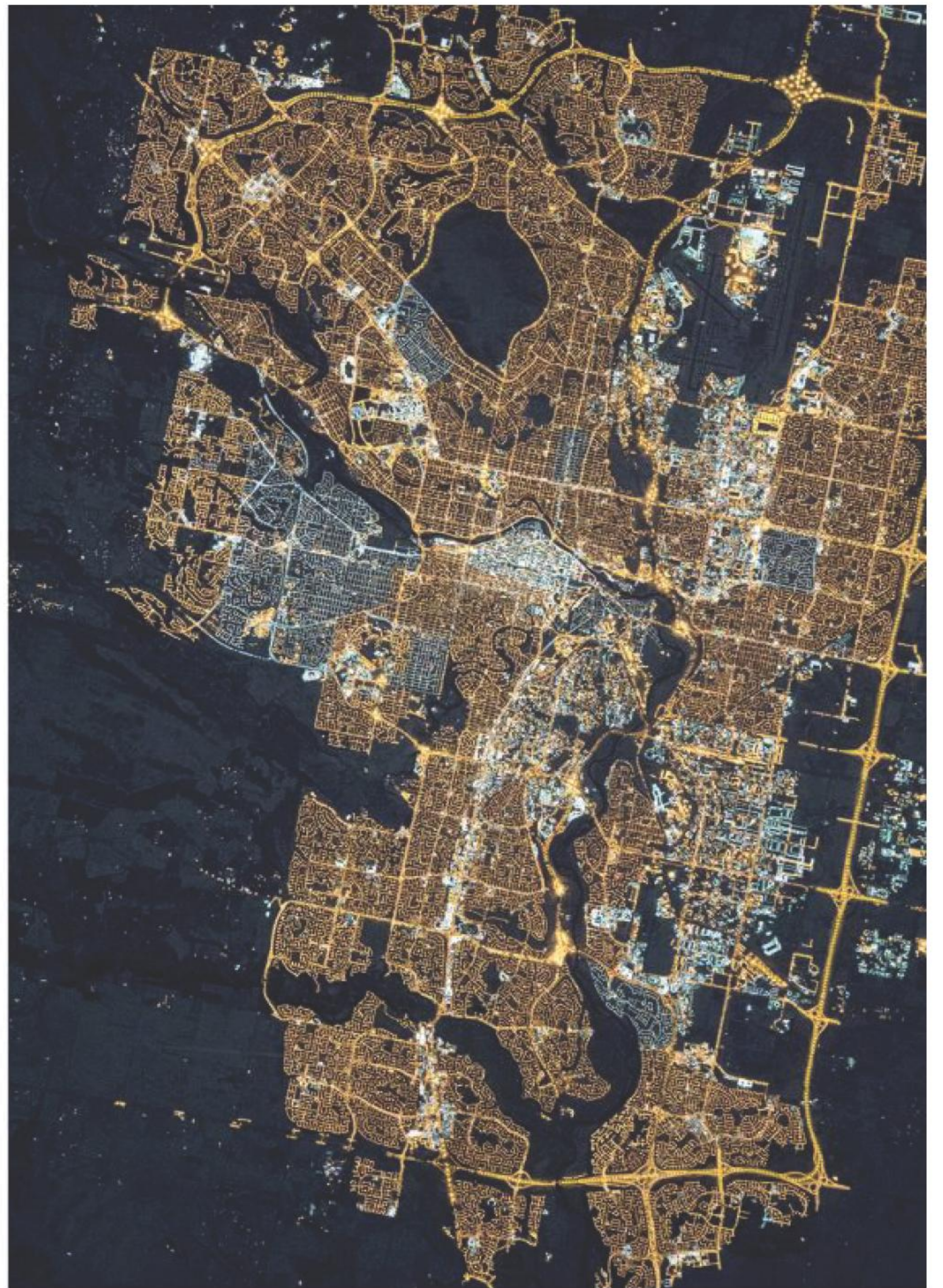
人眼的視網膜是由視錐細胞和視桿細胞組成的。它們是負責將光訊號傳送至我們大腦的光感受器。

世界地圖

光污染對夜空的視覺影響



視錐細胞負責接收顏色訊息，但這些細胞只在光照條件足夠光亮時才會被激活。因此，在黑暗的環境裏，我們只能看到暗淡的顏色甚或根本看不到顏色。當我們用望遠鏡觀察時，由於同樣的原因，視錐細胞沒有被激活，我們看到的深空天體並不像我們在互聯網上看到的圖像一樣美麗多彩。例如，哈勃太空望遠鏡的圖像經過數小時的曝光，與我們肉眼所看到的景象並不相同。有時哈勃太空望遠鏡的圖像採用了假色以增強圖像的視覺效果。



從鈉燈改為使用LED燈後的加拿大卡爾加里市。（圖片來源：美國太空總署）

LED燈革命？

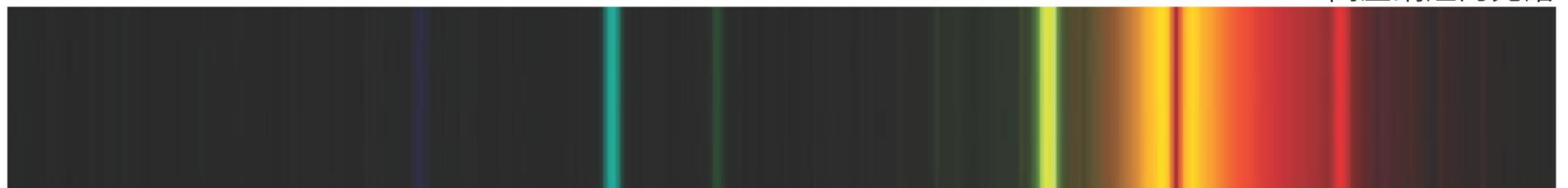
上圖顯示加拿大卡爾加里市改用LED燈照明之後的變化。LED燈的偏藍情況清晰可見。LED是「發光二極管」的簡稱，以低成本、長壽命、低耗能、環保和易於調節而著稱，因此被大量生產和廣泛使用。公共照明系統已經開始使用更為環保的LED燈取代傳統的燈具。

近期研究顯示，節能LED燈無助於減少光污染。人們改用低成本LED燈具之後，卻傾向將由此節省下來的金錢，用來安裝更多燈具，也因此使各地變得更加明亮。偏藍LED燈的光譜還衍生一些重要問題。這些藍光容易散射，並影響我們的生態系統和公共健康。

低壓鈉燈的光譜



高壓鈉燈的光譜

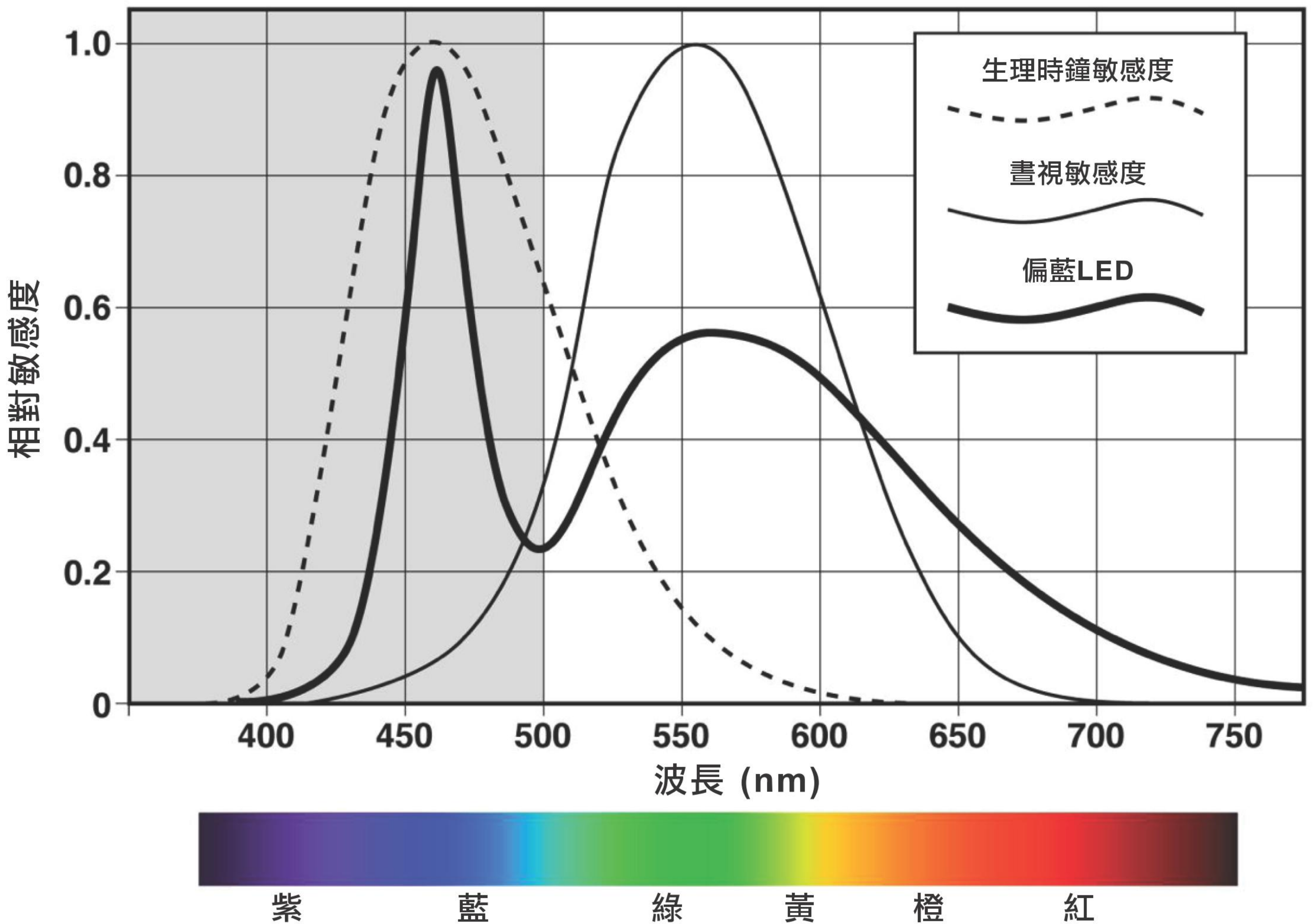


4100K LED燈的光譜



認識LED燈光譜

諸如低壓鈉燈 (LPS) 和高壓鈉燈 (HPS) 等傳統燈具有相對狹窄的光譜，可在進行天文觀測期間加以過濾掉。但是，LED燈通常具有較寬的光譜，不容易被過濾掉。諸如螢光轉換型琥珀色LED燈等窄頻LED燈正逐步推出市場，並且最終可能在可過濾性、能源效率甚至色彩再現方面證明是一種可接受的選擇。



圖片來源：國際暗天協會

2014年，諾貝爾物理學獎表揚「高效藍色發光二極管的發明，這發明讓人們得到明亮而且節能的白色光源。」這一聲明揭示了現代白光LED燈的一個重要特徵 — 低成本、節能的白光LED燈本質上是偏藍的（圖中的粗實線）。

上圖中的實線表示人眼在充足光照條件下的敏感度。虛線則表明我們的身體對晝夜節律亦即是生理時鐘的敏感度。

偏藍的LED燈與我們身體的生理時鐘敏感度重疊，因此嚴重影響我們的睡眠。

藍光影響睡眠

在20世紀90年代，科學家在人體眼裏面發現了與人們原來所知的視錐和視桿細胞不同的第三種光敏細胞。這種光敏細胞含有「黑視素」，是一種識別和跟蹤晝夜循環的光色素。黑視素對藍光最敏感。

黑視素控制「褪黑激素」的產生 — 褪黑激素是一種讓人感到疲倦的激素。當黑視素細胞偵測到光的時分（通常在白天），褪黑激素會暫停產生，讓你感覺更為清醒。在黑暗環境裏，黑視素細胞偵測不到光時，由於產生褪黑激素，你便會感到疲倦。當你在晚間仍然長時間暴露在藍光下時，會讓你仍處於清醒狀態。

眼睛視網膜的神經細胞（圖片來源：Wei Li，美國國家衛生研究院國家眼科研究所）

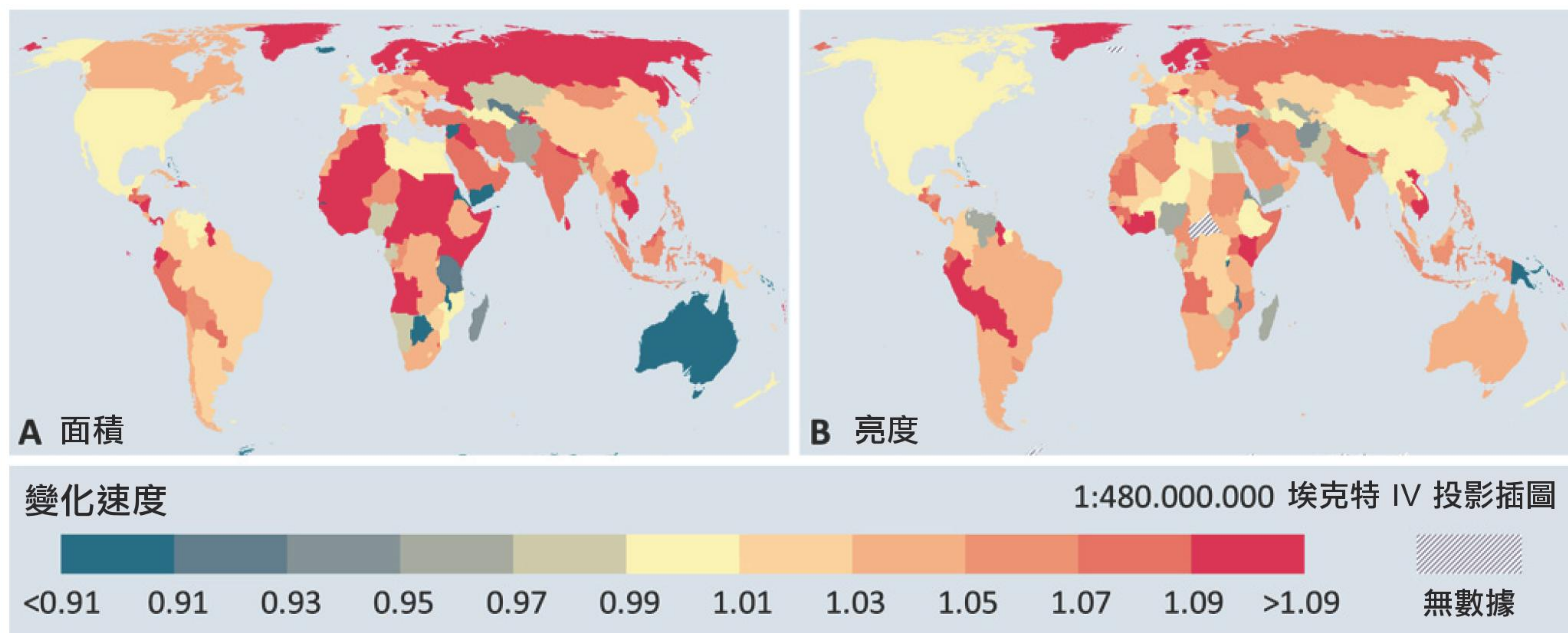
光污染與健康

褪黑激素也是一種抗氧化劑，對我們身體的益處超越睡眠。它有助修復我們的身體，並且能夠調節與癌症糾正過程相關的激素。LED燈光偏藍，因此會強烈地抑制褪黑激素的產生。

美國醫學協會 (AMA) 於2009年通過一項決議，稱「光滋擾與人類和動物的生理時鐘遭到破壞有關，並且強烈懷疑是褪黑激素被抑制產生、免疫系統受到抑壓和乳癌等癌症發病率上升的成因。」2016年，美國醫學協會發佈了關於LED燈的一項官方政策聲明，當中表示「白光LED燈對人們生理時鐘的影響比傳統路燈高五倍之多。」

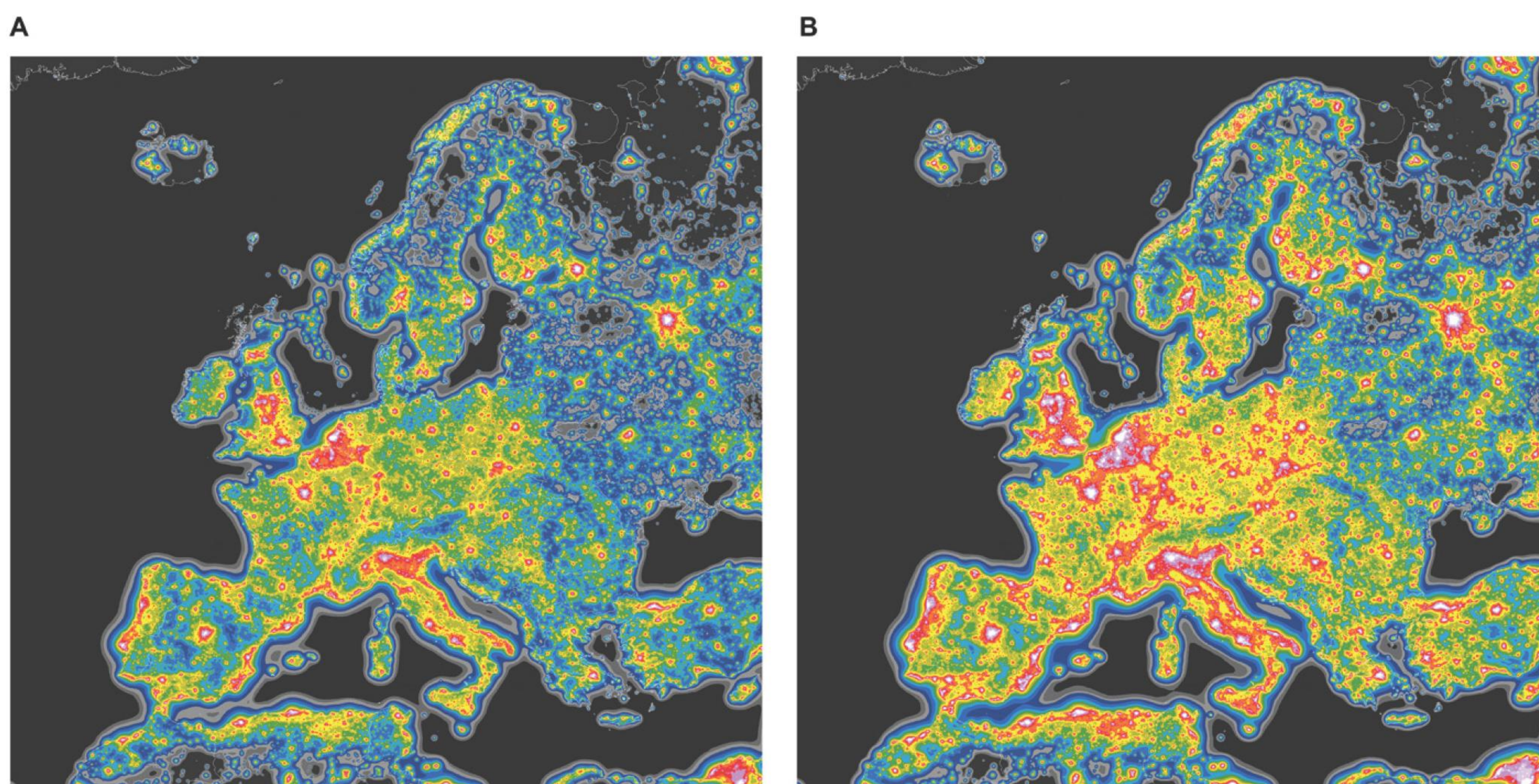
LED燈使光污染更為嚴重

LED燈不僅不能對抗光污染，而且還會使光污染更加嚴重。Christopher C. M. Kyba 等人使用衛星數據進行的一項研究顯示，從2012年到2016年，全世界光亮了9.1%



圖片來源：Christopher C. M. Kyba 研究團隊 Sci Adv 2017

上圖顯示人造照明在 (A) 面積及 (B) 亮度的每年變化速度。世界上大部分地方的亮度都增加了，只有少數例外情況，包括一些處於戰爭狀態的國家 — 例如也門和敘利亞等。



圖片來源：Fabio Falchi 研究團隊 Sci Adv 2016

偏藍LED燈光容易散射，從而產生更大的光污染足跡。上面的地圖比較歐洲的人造夜空亮度與自然夜空亮度。左邊的地圖 (A) 顯示當前的光污染程度。右邊的地圖 (B) 則顯示假如所有照明都變為4000K LED 燈時的預計夜空亮度。

A satellite night view of India and its surrounding regions in 2012. The landmass is outlined by a network of bright yellow and white lights, representing urban areas and infrastructure. The surrounding oceans are dark, with some scattered lights from other landmasses visible.

2012

A satellite night view of India and its surrounding regions in 2016. The landmass is outlined by a network of bright yellow and white lights, representing urban areas and infrastructure. The surrounding oceans are dark, with some scattered lights from other landmasses visible. The overall appearance is similar to the 2012 image but with a noticeable increase in the density and brightness of the lights, particularly in the central and southern parts of the country.

2016

印度及其周圍地區2012年至2016年間的變化。
(圖片來源：美國太空總署地球觀測站來自Joshua Stevens之圖片，使用美國太空總署戈達德太空飛行中心Miguel Román的索米國家極地軌道夥伴衛星的可見光紅外線成像輻射儀數據製作而成)

我們應使用什麼顏色的燈光？

藍光對於天文學有另一種影響 — 藍光能夠立即散射（這就是天空是藍色的原因），而且許多新生恆星和星系的光線都有藍光。此外，考慮到藍光對生態系統和人們健康的影響，不建議採用藍光照明。

紅光傳播距離最遠，在極遠處產生人造夜空輝光。因此，也不建議使用紅光照明。

我們強烈推薦使用琥珀色或黃光。這些顏色的照明有最窄的光譜，和符合演色性的要求。



對生態和天文有利的LED燈

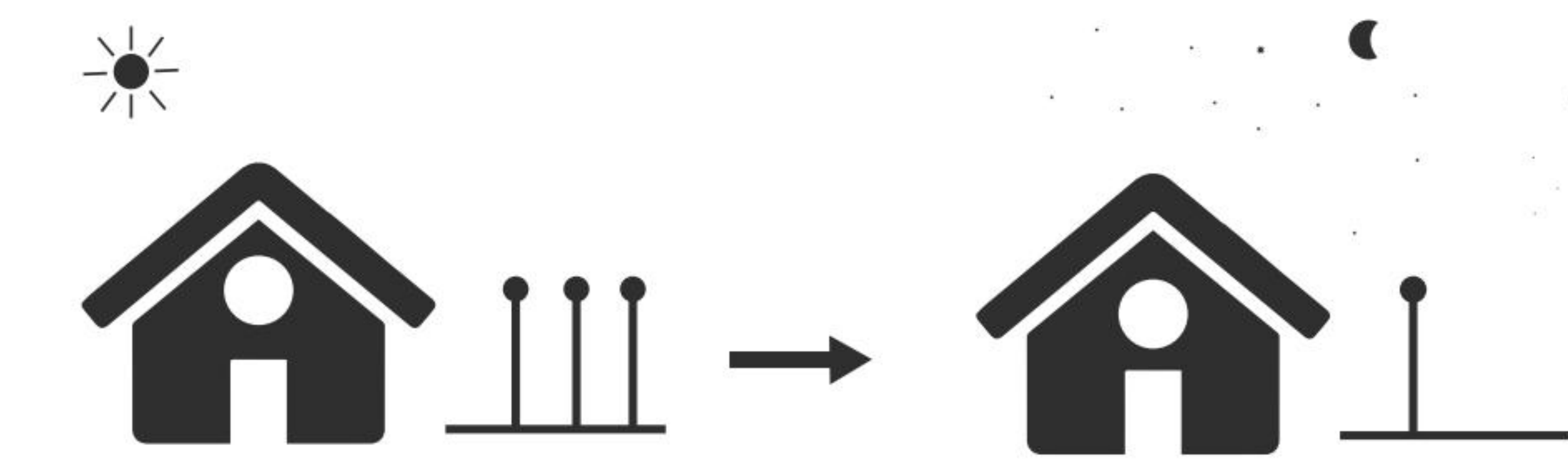
由於偏藍LED燈光嚴重影響人類健康和環境，因此業界正在研究新技術，試圖研發環保的LED燈。真正琥珀色LED燈是幾年前研發的，其光譜非常窄，與最少影響生態和天文的低壓鈉燈類似。但是由於真正琥珀色LED燈效能很低，因此它們不是理想的商業產品。

螢光轉換型琥珀色LED燈是近年研發的新技術之一。雖然這種LED燈比真正琥珀色LED燈具有更寬廣的光譜和較影響生態，但螢光轉換型琥珀色LED燈具有更好的演色性和真正琥珀色LED燈的雙倍效能，因此它們是合理的折衷選擇。

上圖顯示位於加拿大Sherbrooke的Bishop大學校園在棄用4000K白光LED燈，改用螢光轉換型琥珀色LED燈，並使用相同的光學系統將LED燈的功率降低一半之前和之後的變化。Martin Aubé 等人的計算顯示，相比起由4000K白光LED燈引起的夜空輝光，以上變動使人眼感知的夜空輝光只是原來的12%，並且還將褪黑激素抑制程度降低至原來水平的4%，減幅十分大。為實現該減幅，只需降低光效，並將LED燈的顏色從白色轉為琥珀色。

如何有效地減少光污染的影響？

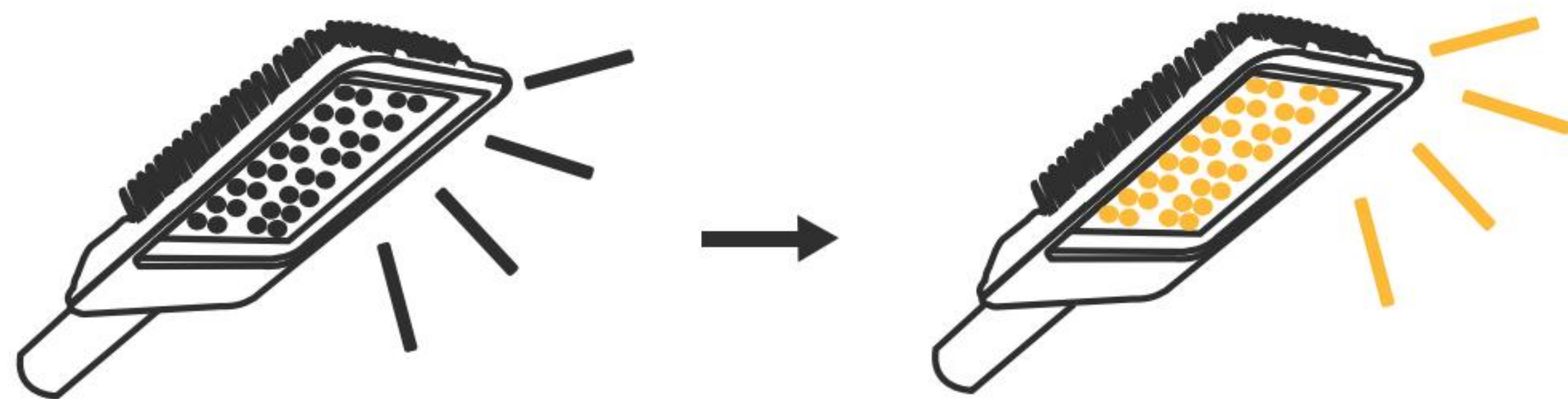
減少光污染的效果



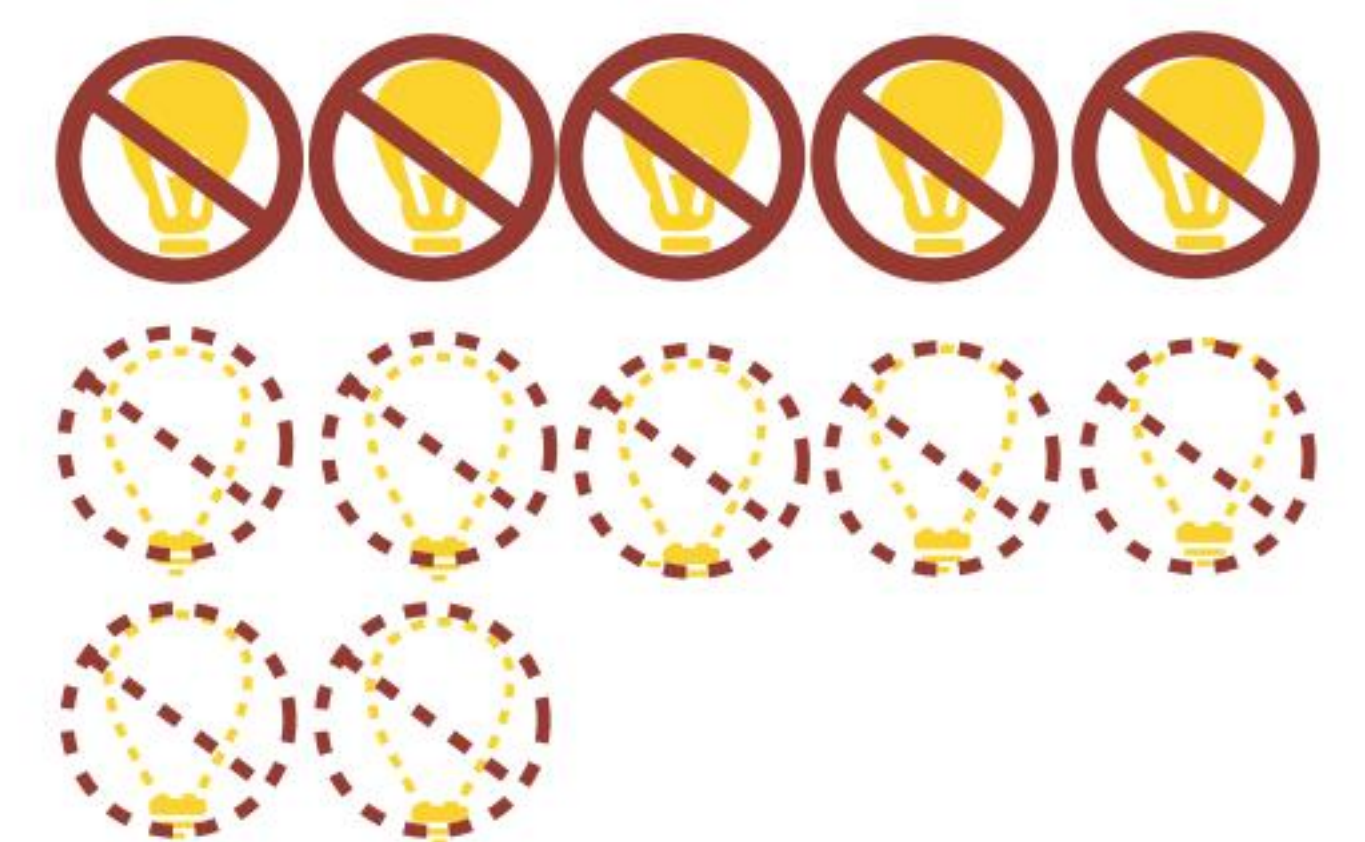
避免濫用



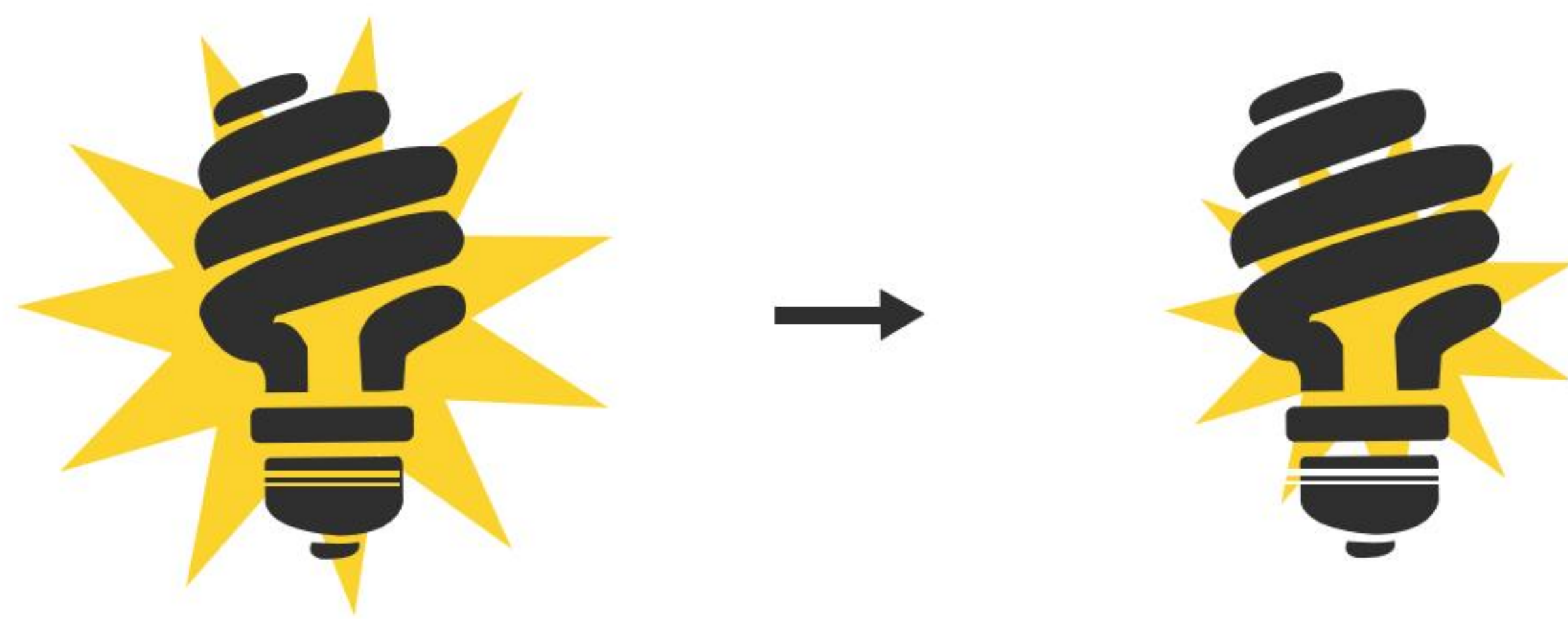
10X



轉用螢光轉換型琥珀色LED



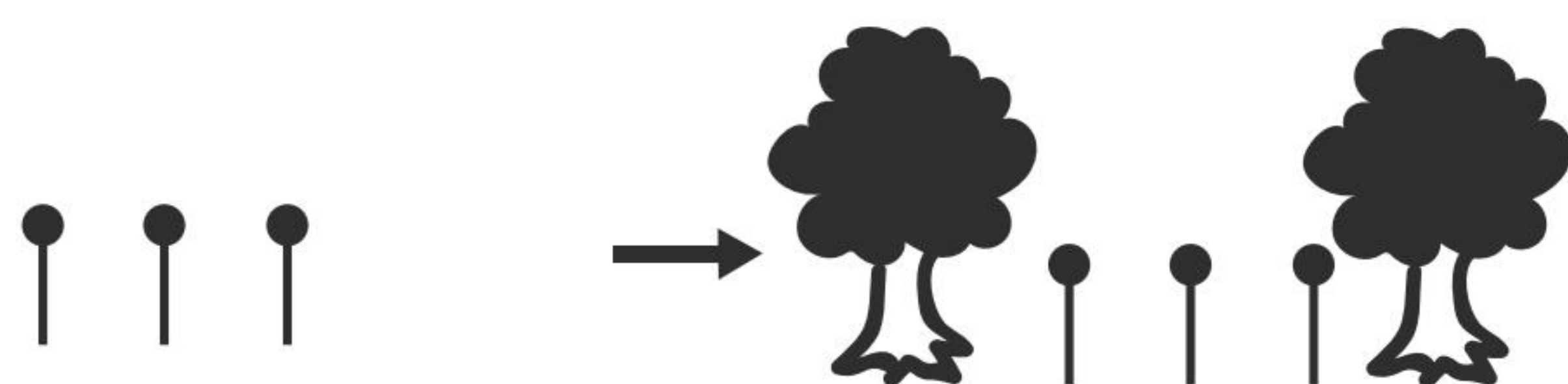
5X-12X



減低燈光亮度



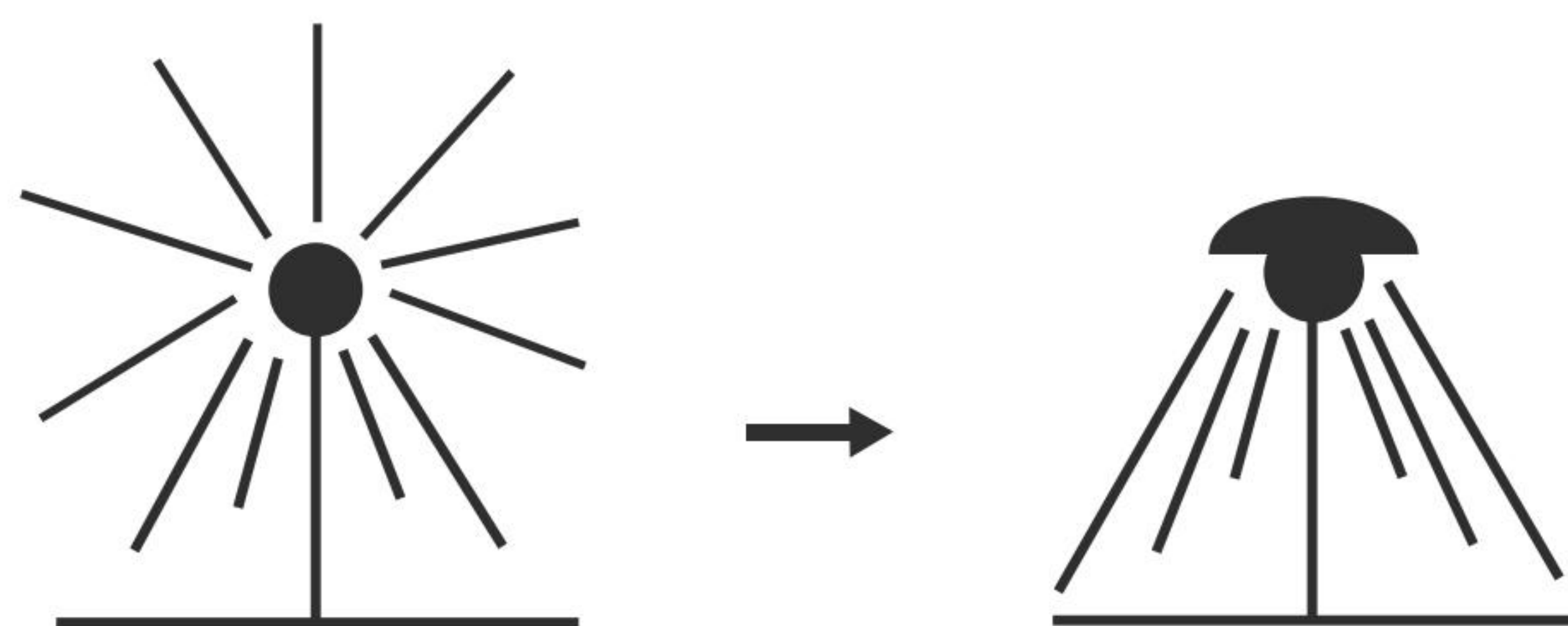
2X-4X



種植樹木阻擋光線



2X



防止光線向上照射



城市
2X

鄉郊
5X

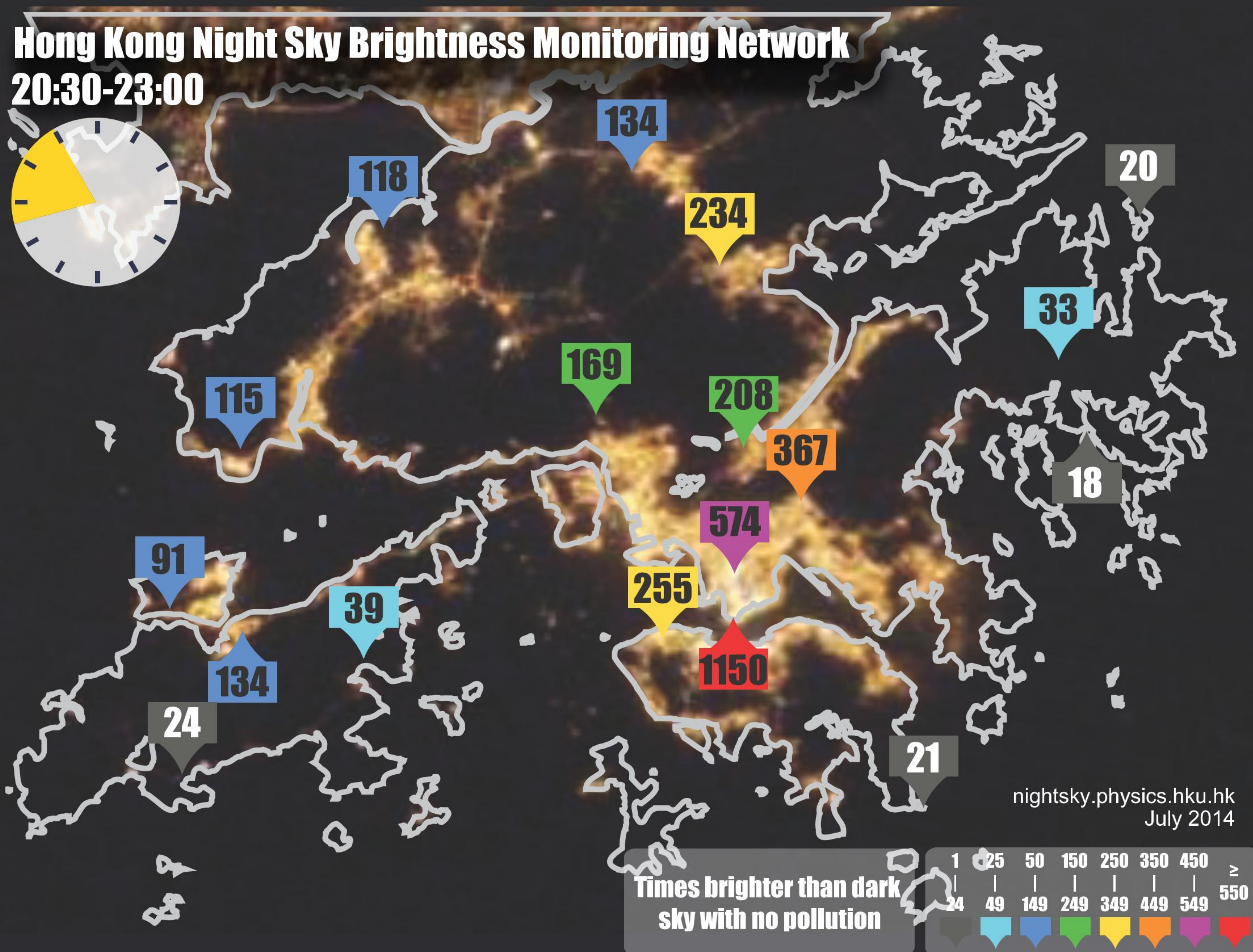
數據來源：Martin Aubé (Cégep de Sherbrooke)

插圖：Elian Abril Diaz Rosas / 國際天文聯會天文推廣辦公室

上圖總結減少光污染的不同方法的有效性。最有效的方法就是關上或減少照明。棄用白光，改用黃光也可產生重大轉變。我們還可以種植更多的樹木來減少二次反射。使用全截光型燈具來防止光線向上照射，也會有所助益。二次反射在鄉郊地區比在城市中會更為顯著。因此，我們在上面描述各種解決方案在鄉郊地區會有更大的影響。

香港的光污染

香港位於中國東南沿海珠江口，是一個人口稠密的大都市，遭受嚴重光污染的影響。根據香港大學（港大）光污染研究小組公佈的結果，在維多利亞港的著名旅遊景點尖沙咀測得的天空，平均比IAU的黑暗天空國際標準*光亮一千多倍。香港是其中一個光污染最嚴重的城市。



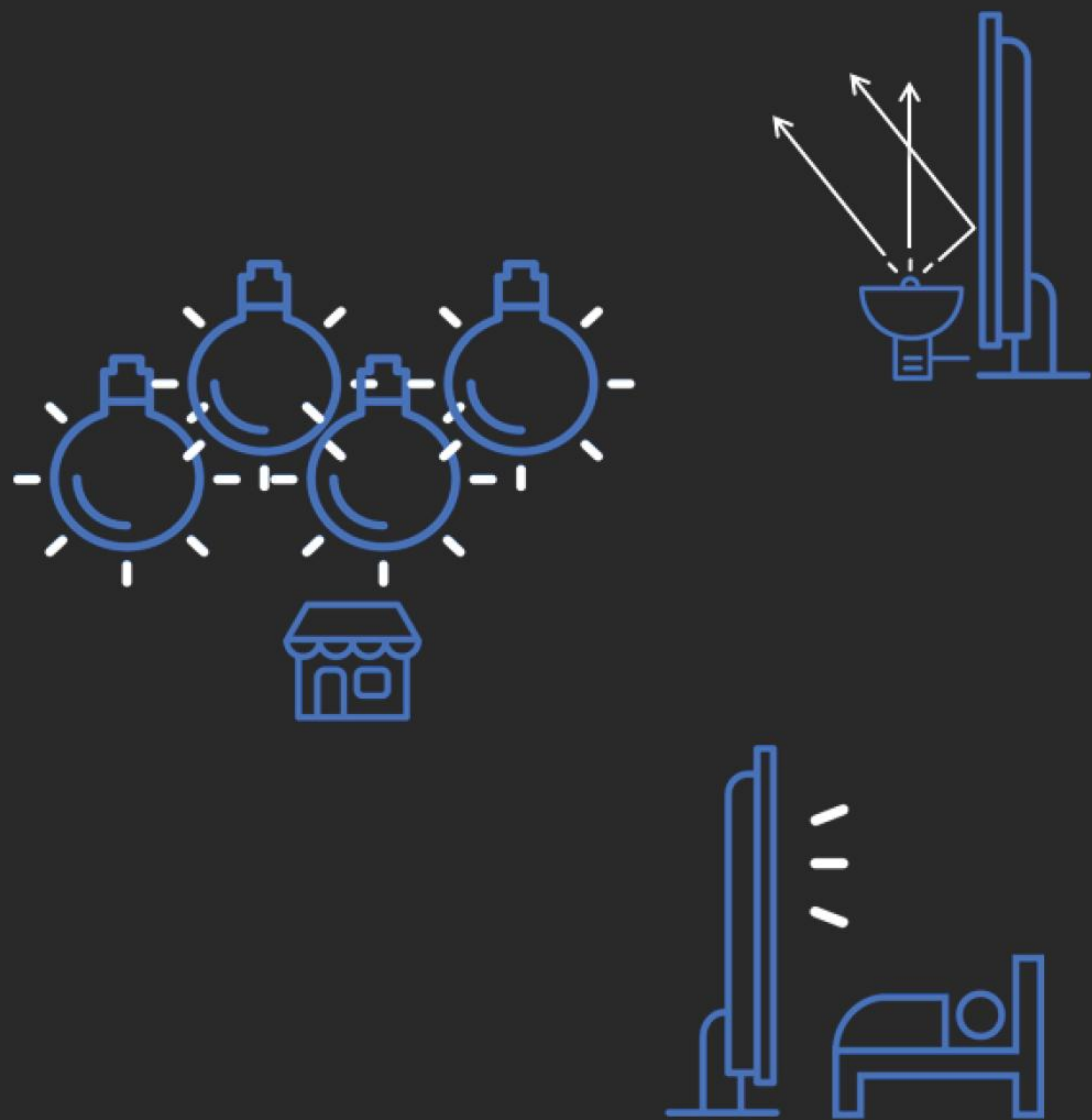
港大光污染研究小組公佈的香港夜空光度分佈圖，數字為當區夜空比黑暗天空國際標準*超標的倍數。

底圖由美國太空總署約翰遜太空中心地球科學及遙感單位提供（相片編號：ISS006-E-36854）

* IAU黑暗天空國際標準是指沒有光污染影響下的夜空光度，為21.6等每平方角秒。

香港光污染的源頭

香港光污染的主要源頭是濫用的人工戶外照明。在居民的生活環境附近，無屏蔽的燈具非常普遍。此外，廣告燈箱和電視幕牆充斥商住區，造成光滋擾。



Icons made by smachicore, Gregor-Cresnar, Freepik, Pixel perfect from www.flaticon.com



「照」不得其所及過量照明在香港非常普遍，例如圖中的「眩光炸彈」。



圖片提供：郭文棟，由港大光污染研究小組舉辦的「光污染攝影比賽 2014」冠軍作品

光污染威脅生態系統

光污染除了蠶食星空、損害健康和浪費能源之外，人造光入侵自然環境特別影響夜行動物。例如，米埔屈翅螢（*Pteroptyx maipo*，是香港特有的螢火蟲品種）因為光污染影響而顯著減少閃光頻率。由於螢火蟲依靠光學訊號來尋找潛在的配偶，因此從長遠來看，棲息地環境光度的輕微增加，長遠來說會導致螢火蟲的數量下跌。為避免威脅生態系統，保護生物多樣性豐富的郊野地區的自然黑暗環境同樣重要。



米埔屈翅螢
圖片提供：饒戈

守護香港的黑暗天空

在香港的郊野可以找到相對黑暗的天空。例如，天文公園是西貢東郊野公園僅存的觀星地點之一。不過急速的城市發展對郊野的黑暗環境構成嚴重威脅。

從天文公園看到的銀河。
圖片提供：Mew Chu



港大光污染研究小組積極與社會上不同人士，舉辦各種活動推廣減少光污染及星空保育，務求促進社會變革。

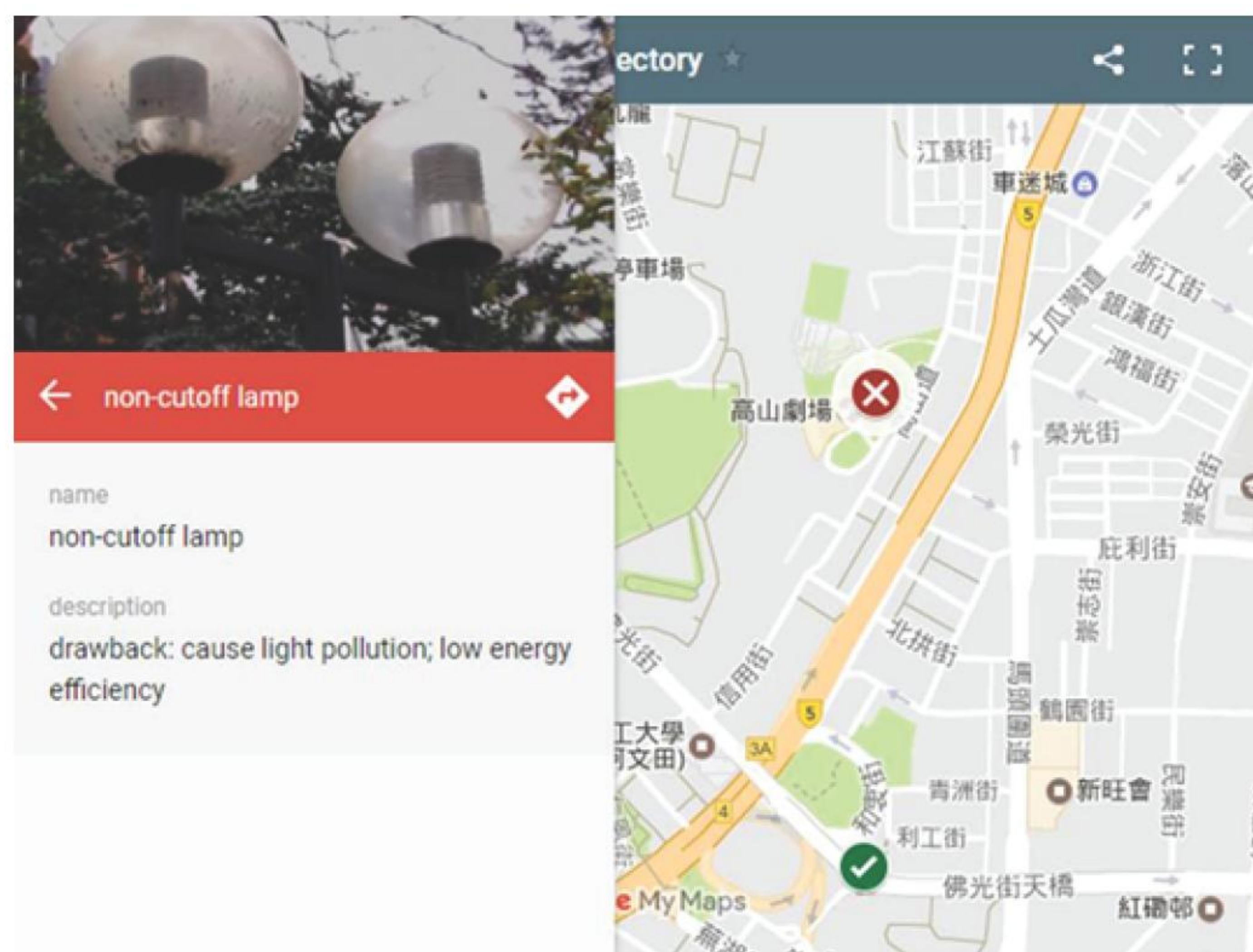
由港大光污染研究小組進行的星空保育路演

戶外燈光資料庫

由港大光污染研究小組管理的「戶外燈光資料庫」，以互動地圖方式展示不良或良好燈光設計的燈光的使用情況。歡迎提供資料：<https://goo.gl/MNMSo7>。



<http://bit.ly/2G3UvfU>



了解更多香港的光污染……

香港大學光污染研究	http://nightsky.physics.hku.hk/
「關注光污染」面書專頁	https://www.facebook.com/AwareLightPollution/
戶外燈光資料庫	http://bit.ly/2G3UvfU

參考資料

Pun, C. S. J., So, C. W., Leung, W. Y., Wong, C. F. (2014) Contributions of artificial lighting sources on light pollution in Hong Kong measured through a night sky brightness monitoring network. *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, 139, 90-108;

Pun, C. S. J. & So, C. W. (2011) Night-sky Brightness Monitoring in Hong Kong: A city wide assessment. *Environmental Monitoring and Assessment*, 184, 2537-57;

Yiu, V. (2012) Effect of Artificial Light on Firefly Flashing Activity. *Hong Kong Entomological Society Newsletter*, 4, 5-9.

你可以如何與國際計劃合作，為防止光污染出一分力？

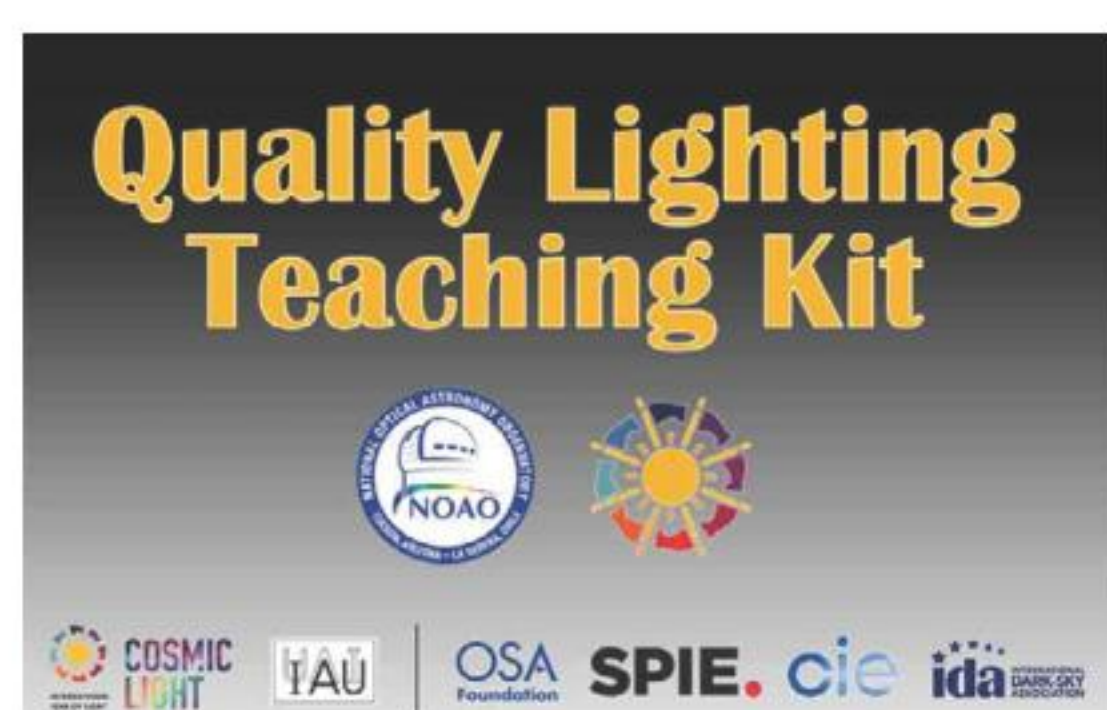
以下由多個國際組織提供的教育計劃和資源，可幫助你在學校和社區推廣防止光污染。



Globe at Night

Globe at Night 是一項國際公民科學運動，旨在通過邀請公民科學家們觀測夜空亮度和提交觀測報告，來提高公眾人士對光污染影響的認識。

www.globeatnight.org



Quality Lighting Teaching Kit

這個學習套包是專門為「國際光年」而製作的。套包裏有六種「問題為本」活動教材，讓用家學習如何使用優質照明方法，來解決光污染對野生動物、夜空、人眼、能源消耗、安全等的影響和光滋擾的問題。

www.noao.edu/education/qltkit.php



Dark Skies Rangers

這個計劃教導學生如何識別低效的照明方法，並介紹一些替代方案和工具，教人怎樣減少消耗、控制能源成本，並幫助社區重新獲得和保護黑暗的夜空這個寶貴資源。

www.globeatnight.org/dsr/



International Dark-Sky Association Resources 國際暗天協會資源

國際暗天協會 (IDA) 的使命是推動採用環保的戶外照明，藉此保護夜間環境和黑暗天空。以下網頁是IDA製作的資源一覽表。

www.darksky.org/resources/

編輯
張師良
顧問編輯
Constance Walker
版面設計
張師良
文稿編輯
Hannah Harris
Yolande McLean

文稿編輯(中文版及香港部分)
潘振聲博士
蘇柱榮博士

出版日期
2018年4月 (英文原版)
2019年7月 (中文版)

參考文獻

Aubé, Martin. (2015). Physical behaviour of anthropogenic light propagation into the nocturnal environment. *Philosophical Transactions of The Royal Society B Biological Sciences*. 370. 10.1098/rstb.2015.0143.

Aubé, Martin. (2016). The LED outdoor lighting revolution: Opportunities, threats and mitigation for urban and rural citizens.

Falchi, Fabio et al. (2016) The New World Atlas of Artificial Night Sky Brightness. *Science Advances* 10 Jun 2016 : e1600377

Kyba, Christopher et al. (2017). Artificially Lit Surface of Earth at Night Increasing in Radiance and Extent. *Science Advances* 22 Nov 2017 : e1701528

AMA Adopts Guidance to Reduce Harm from High Intensity Street Lights
American Medical Association Press Releases
<https://www.ama-assn.org/ama-adopts-guidance-reduce-harm-high-intensity-street-lights>



本文利用 Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 國際許可編寫而成。

此刊物獲香港大學教育資助委員會撥款的香港大學知識交流基金資助。

沒有星星的世界
就像一個沒有花朵的世界。

— 國際天文聯會主席 Silvia Torres-Peimbert
在2015年國際光年閉幕禮上的話

國際太空站上看到的城市燈光和星星。
圖片來源：美國太空總署



International Astronomical Union
Office for Astronomy Outreach
國際天文聯會天文推廣辦公室
www.iau.org/public

In collaboration with the
IAU Commission C.B7
Protection of Existing and Potential
Observatory Sites

中文版及香港部分與香港大學物理系
光污染研究小組合作製作



International
Day of Light