

上帝对生物发光的设计

抽象的

揭秘闪光蘑菇

新闻来源

- *探索新闻*: “有些蘑菇会发光，原因如下”
- *BioQuick 新闻*: “发光蘑菇利用生物发光吸引昆虫传播真菌孢子；光照受生物钟控制”

在巴西的椰林里，夜幕降临之际，生物发光蘑菇会发出更明亮的绿色光芒。它们吸引着昆虫，这些昆虫可以将孢子传播到几乎无风的树冠下的各个角落。直到最近，许多科学家还认为这种微弱的光芒是蘑菇新陈代谢的随机副产品，或许与消化腐木有关。然而，发表在《当代生物学》（*Current Biology*）上的论文“昼夜节律控制揭示真菌生物发光之谜”（Circadian Control Sheds Light on Fungal Bioluminescence）首次提供了确凿的证据，证明蘑菇的生物发光是受到调控且具有



图中展示了生物发光蘑菇 *Neonothopanus gardneri* 在白天被一只漫游甲虫拜访（插图）以及在夜晚增强绿色光芒的景象。图片转载自 A. Oliveira 等人的论文“Circadian Control Sheds Light on Fungal Bioluminescence”，发表于《当代生物学》 25 卷 7 期（2015 年 3 月 30 日）：964 - 968 页，<http://dx.doi.org/10.1016/j.cub.2015.02.021>。

闪耀着目标光芒

生物发光蘑菇是唯一能自身发光的真菌，但它们为何能发光却是一个古老的谜团。亚里士多德（公元前 384-322 年）和老普林尼（公元 23-79 年）都认识到，它们照射在腐木上的光芒并非火焰；一位 17 世纪的荷兰医生记载，印度尼西亚土著居民会携带生物发光蘑菇来照亮他们在黑暗森林中的道路。¹ 但这种发光特性对蘑菇本身又有何益处呢？

据最新统计，在 9000 种褶菌中，只有 71 种会发光。有些褶菌的发光部分大部分隐藏在地下，但生长在巴西椰子树下的大型新诺托潘菌（*Neonothopanus gardneri*）——“椰子花”（*flor de coco*）——的发光却很容易被看到。当地人说，这种发光现象会随时间变化，在炎热的白天过后，尤其是在午后阵雨后的潮湿夜晚最为明显。巴西科学家与达特茅斯盖塞尔医学院的一个团队合作，现已证实这些发光分子的发光水平存在夜间周期性变化，并能吸引大量昆虫。

校准蘑菇时钟

科学家们首先需要训练实验室培育的蘑菇识别夜晚。蘑菇本身无法感知光线，但科学家们发现，两天之内，蘑菇就能根据夜间气温的下降来调整自身的生物钟。蘑菇会在天黑后约 10 小时开始增强发光。这种规律仅会根据温度略有变化。一旦蘑菇的生物钟设定完毕，

即使在完全黑暗的环境中放置数日，它们也会大约每22小时增强一次发光。

研究团队确定了蘑菇感知时间的标准后，证实蘑菇的生物钟调控着产生其独特发光现象的化学反应。虽然生物界的发光机制差异很大，但大多数这类发光生物都是由某种荧光素酶和能量载体分子（ATP、NADH 或 NADPH）氧化一种名为荧光素的有机分子而产生的。研究人员将经过训练的巴西蘑菇置于黑暗环境中，并定期提取其中的酶和荧光素。即使在完全黑暗的环境下，酶活性和荧光素浓度仍会周期性地升高三到四倍，每22小时循环一次，并在正常“预设”夜晚时间后六小时达到峰值。因此，产生光的化学反应会在最大发光时间前几个小时达到最活跃状态，这为“观察到的发光节律提供了分子基础”。

蘑菇具有调节发光的机制，这一事实表明发光具有某种功能。正如盖泽尔医学院的合著者杰伊·邓拉普解释的那样，“调节意味着生物发光具有适应性功能。”

⁸

看到绿色

所有昆虫都具备感知绿色的能力——绿色是真菌发光衣的首选颜色——尽管昆虫最初为何会被光吸引仍然是个谜。



图片转载自 Oliveira 等人的《[昼夜节律控制...](#)》

当科学家将发出与真实蘑菇颜色和强度相当的 LED 光的亚克力蘑菇放置在黑暗的森林中时，他们发现昆虫、甲虫、苍蝇、黄蜂和蚂蚁都被它们绿色的光芒吸引而来。尤其是隐翅虫，它们经常光顾这些蘑菇，人们认为它们会啃食这些蘑菇上的真菌。因此，如果这些昆虫也为蘑菇提供服务，那么它们之间的关系就是一个互利共生的例子，双方都能从这种长期关系中受益。巴西圣保罗大学化学研究所的卡西乌斯·斯特瓦尼推测，生物发光可以增强蘑菇孢子的传播。他说：“真

菌似乎会发光，以便吸引昆虫的注意，从而帮助真菌在新栖息地定居。”⁹ 斯特瓦尼及其同事解释说，夜晚是发光的最佳时机：

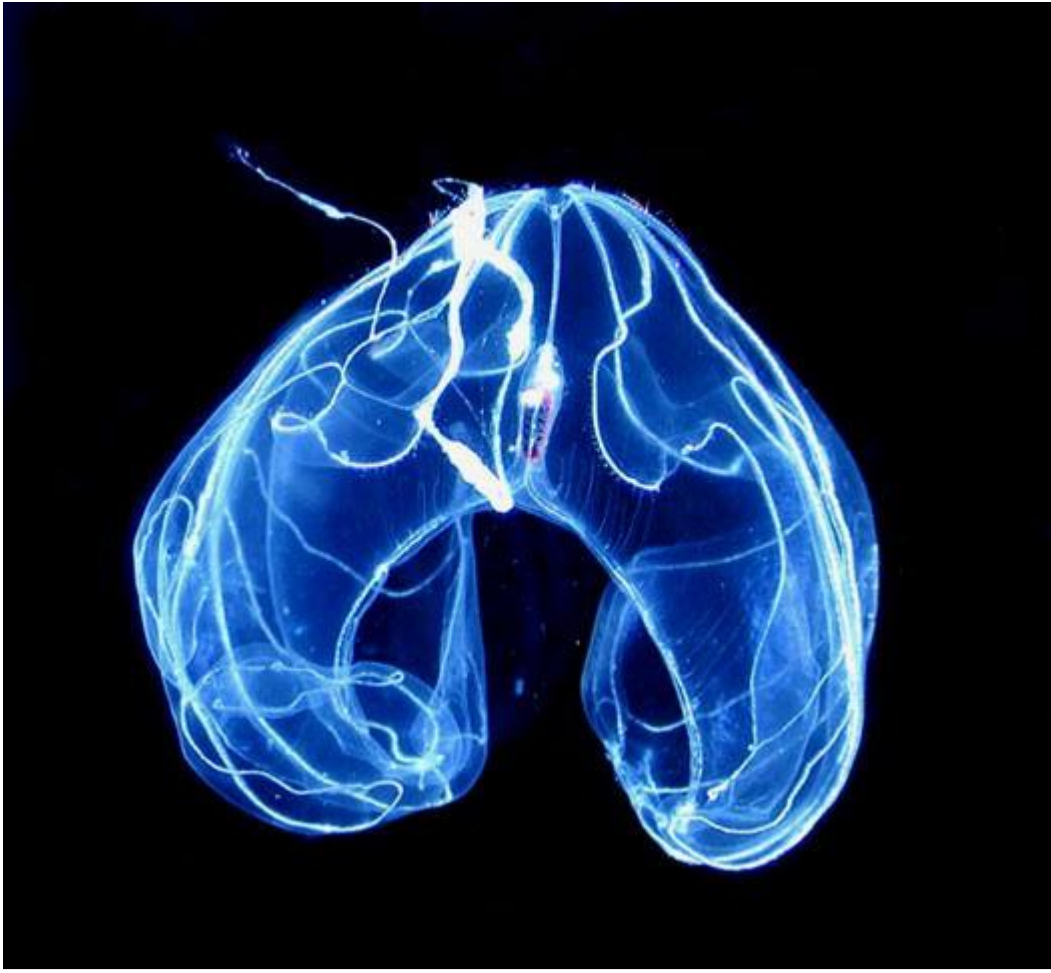
真菌的生物发光在白天太暗，动物无法感知，但在夜间却很容易被感知（即使是比加德纳氏菌更小、更暗的蘑菇也能发光），因此，节律性控制发光是一种很有吸引力的方法，可以避免白天发光造成的能量浪费……

因此，我们的数据与以下假设相符：夜间生物钟控制的生物发光使加德纳氏新孢子菌更容易被昆虫发现，从而在孢子传播方面提供了非发光物种所不具备的选择优势。

¹⁰

生命之光的诸多面向

发光生物包括萤火虫、硬骨鱼、马陆、细菌、甲藻浮游生物、水母、栉水母、磷虾，当然还有蘑菇。发光生物的目录涵盖 16 个门，每个门下约有三分之一的纲。虽然大多数栉水母都会发光，但大多数分类群中只有一小部分会发光。有些物种既包含发光个体，也包含不发光个体。

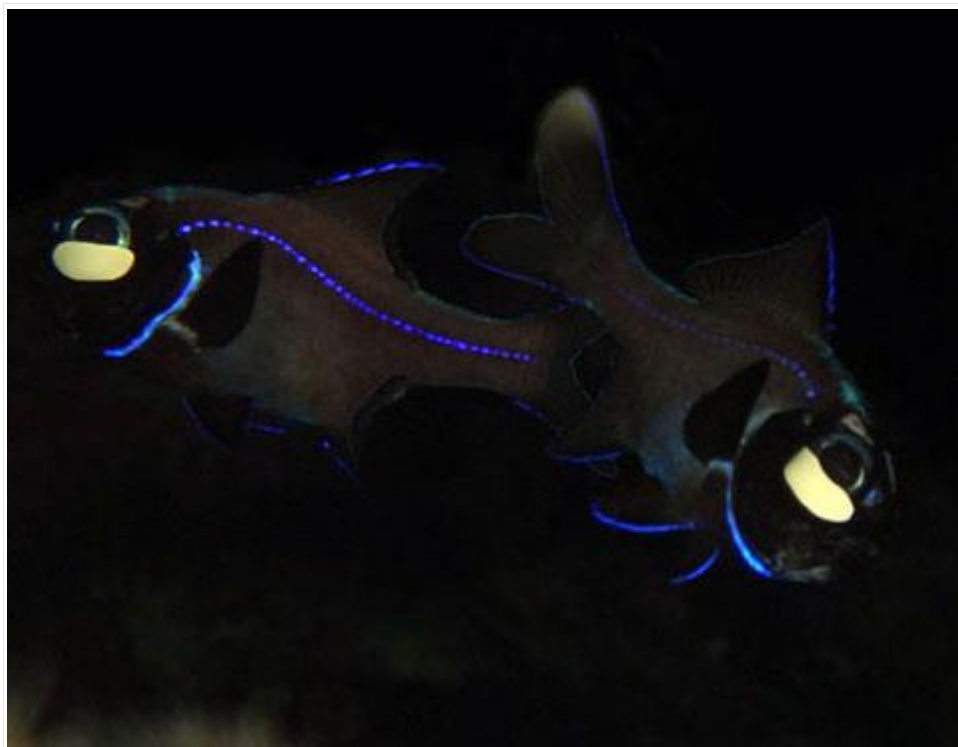


Bathocyroe fosteri 栉水母。图片由 Marsh Youngbluth 提供，转载自《海洋探险家》。



这张照片中，发光甲藻照亮了新泽西州马纳斯昆海岸的浪花。甲藻是一种浮游生物，至少有 18 个甲藻属包含发光物种，它们在夜间或受到扰动时会发光。图片来自[维基共享资源](#)用户“Yikrazuul”。

生物发光，无论是直接受益的动物自身产生的，还是与动物共生的发光细菌产生的，都能帮助许多动物捕猎、躲藏或繁殖。例如，手电筒鱼 (*Photoblepharon sp.*) 眼睛下方的囊状结构中就寄生着发光细菌，这些细菌能够吸引甲壳类动物，而手电筒鱼正是以甲壳类动物为食。手电筒鱼还会通过发光囊来与潜在的配偶交流。但为了避免成为猎物，手电筒鱼会用一层膜状物遮住发光囊，然后迅速游向别处。



两条手电筒鱼 (*Photoblepharon steinizi*)。图片由 Abe 和 Haneda (1973) 提供，转载自 [《Bionique》](#)。

许多种类的萤火虫都会发光，它们通常会发出特定种类的闪光，这有助于寻找配偶，或者，对于 *Photuris* 属的雌性萤火虫来说，是为了引诱雄性萤火虫被捕食。



萤火虫 (*Photinus pyralis*)。图片来自[维基共享资源](#)用户“Yikrazuul”。

百慕大火虫 (*Odontosyllis enopla*) 有着自己独特的炫目交配仪式。雌虫从海底升起，游动在一个光圈中，吸引雄虫。雄虫的视觉针对雌虫的波长(约 515 纳米)进行了优化，它们进入光圈，并以自身的光芒回应，

为繁殖过程做出贡献。受精发生在水中，从而使物种得以延续。



图片转载自《百慕大景点》。

一些海洋动物利用自身发光来制造诱饵，从而逃脱。例如，某些种类的节鳞虫在受到攻击时会脱落发光鳞片作为防御手段。北海海洋蠕虫布氏尤氏线虫

(*Eusyllis blomstrandii*) 的每个体节都具有闪烁的发光结构。当受到威胁时，它会将自身断成两截，关闭前端的发光结构（之后会再生），只留下尾部持续发光，以吸引捕食者，直到光芒消失。

¹² 深海鱿鱼 (*Octopoteuthis deletron*) 可以摆动其发光的触手末端来引诱猎物，或者在受到攻击时脱落这些末端，使其发光并抽搐，而鱿鱼则趁机在墨汁的掩护下逃脱。



蒙特雷湾研究所，视频显示，八爪鱿 (*Octopoteuthis deletron*) 遇到一个发光的瓶刷 (左图)，然后留下一个脱落的、会发光的触手尖端 (右图)。图片转载自 MBARI (2008)，“解除深海战术”，[AAAS Science](#)。

防御还可以采取多种其他形式。新西兰的淡水笠螺 (*Latia neritoides*) 会用黏稠的绿色液体包裹攻击者，这或许会使捕食者自身也成为其他捕食者的目标。¹³ 12000 种马陆中有 8 种会发光以警告潜在的捕食者，例如红杉马陆 (*Motyxia sequoia*)，它们在受到干扰时会增强发光强度。尽管马陆也会产生有毒的氰化氢，但不会发光的马陆被攻击的频率是会发光马陆的两倍，这表明发光可以吓退那些记忆力好的捕食者。¹⁴



这是美国自然历史博物馆收藏的红杉发光马陆
(*Motyxia sequoia*) 模型，它是目前已知最亮的发光
马陆物种。图片由 Janine 和 Jim Eden 提供，转载
自 [Wikimedia Commons](#)。



深海鮟鱇鱼 (*Bufozeratias wedli*) 带有生物发光诱饵。图片转载自 Masaki Miya 等人的《鮟鱇鱼的进化史……》，[BioMed Central](#)，图 2。

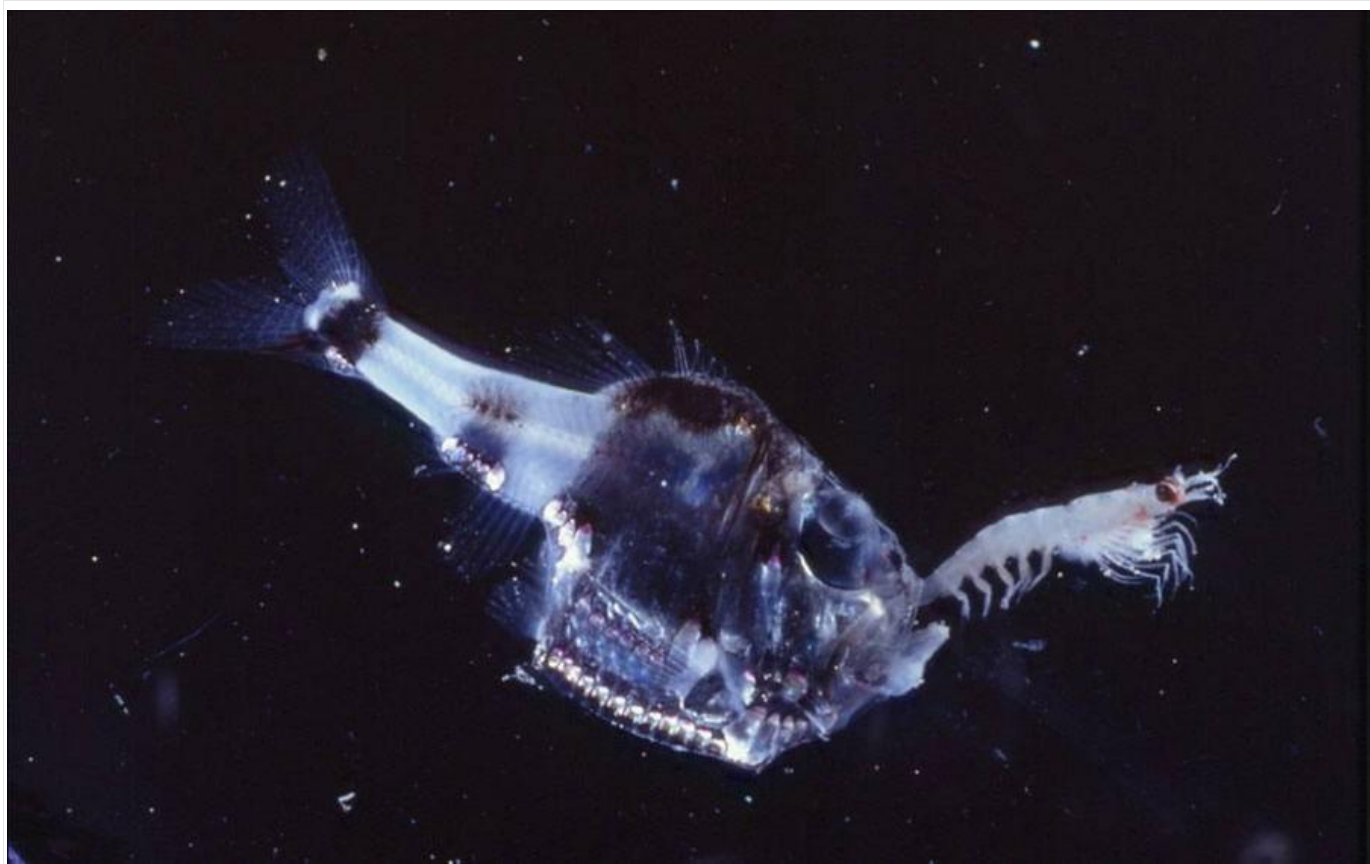
打开灯光反而能吸引猎物或起到**伪装作用**。雌性鮟鱇鱼在深海黑暗中，嘴上悬挂着一种发光的诱饵——**费氏弧菌**。



发光短尾鱿鱼。图片由 Hans Hillewaert 提供，转载自 [Wikimedia Commons](#)。

同样的细菌产生的光能使这种夜行性短尾鱿鱼在月光下起到伪装作用，就像生物发光使其他海洋动物能够

通过调整自身光线与上方白天的天空颜色相匹配来隐藏自己一样。



斧头鱼 (*Argyropselenia hemigymna*)。图片来自[维基共享资源](#)用户“Edd48”。

例如，斧头鱼会调节腹部特定发光器发出的光的颜色和强度，以此来掩盖自身轮廓与天空的对比度，使它们从下方隐形。几种小型[鲨鱼](#)也具备类似的能力，有些鲨鱼甚至利用其超强的视觉来调整自身光线与天空的对比度。



这种小型绒腹灯笼鲨 (*Etmopterus spinax*) 腹部有发光器，可以照亮腹部，使其与天空融为一体。图片来自[维基共享资源](#)用户“Etrusko25”。

有些生命发光现象的用途更加神秘。例如，铁路虫（一种甲虫的幼虫，学名 *Phrixothrix sp.*）会发出两种颜色的光——头部发出红色，身体发出绿色。这或许是为了迷惑捕食者，但其确切原因尚不清楚。



铁路蠕虫。图片由 Robert Sisson/[国家地理创意提供](#)，
图片编号 618662。

在欧洲沿海岩石上凿出的洞穴中，一种名为普通海螺（*Pholas dactylus*）的蛤蜊状软体动物会分泌蓝绿色的黏液，并且其身体上对称分布的斑块还会发出光芒。老普林尼曾惊叹于食用这种生软体动物的人嘴里会滴落闪闪发光的黏液，但这种[生物](#)发光对这种双壳类动物的价值至今尚未确定。



米兰市立自然历史博物馆收藏的指状拟海螺 (*Pholadactylus*) 贝壳，这种会发光的软体动物在罗马时代曾是广受欢迎的宴会食品。图片来自[维基共享资源](#)用户“Hectonichus”。

生物发光最显著的特点是具有这种现象的生物种类繁多，而且它们利用生物发光的目的也多种多样。而促成生物发光的生物化学过程也与这些生物一样多种多样。所有形式的生物发光都需要某种形式的氧气，而这恰恰是它们之间唯一的共同点。例如，[栉水母](#)甚至不使用分子氧来发光，而是利用发光细胞中储存的、与酶结合的过氧化物中的氧气。光照会使提供氧气的

酶系统失活，因此与大多数生物发光生物不同，栉水母在光照下会失去光亮。 ¹⁶

多样化设计还是进化混乱？

生物发光现象对进化科学家来说仍然是一个谜。无论是其生物化学机制还是生物多样性，都缺乏可辨识的规律。如此之多的生物发光生物化学机制是如何进化而来的？其原因又是什么？进化科学家不禁要问，为什么有些细菌会进化出利用能量发光的能力？似乎没有任何规律可循，为什么某些生物能够发光，而另一些生物——即使是其他方面都相似的生物——却不能。正如生物发光专家所写：“生物发光生物在生命系统发育树上的分布非常耐人寻味，因为它们的分布似乎没有任何明显的关联或规律。” ¹⁷

某些生物（例如萤火虫和细菌）的生物发光机制已被充分了解，但许多其他生物的生物发光机制仍在研究中。然而，所有生物的生物发光都具有不可简化的复杂性，因为除非所有必需分子都存在，否则不会产生光。科学家们仍然不确定蘑菇中究竟是哪些分子充当荧光素酶和荧光素，但最近的一项研究表明，四种不同类型的生物发光蘑菇中的发光分子可以相互兼容地发生交叉反应。因此，进化科学家认为，虽然生物发光在进化史上经历了 50 多次进化，但对于真菌而言，它只需要进化一次。

由于利用某种形式的氧气是所有生物发光生物唯一的共同点，进化论者试图将生物发光的演化与氧气在地球上的广泛出现联系起来。进化论者假设，孕育生命起源的早期地球是缺氧的，直到蓝藻产生足够的氧气并使其积累起来。由于氧气对许多生命体的生化过程具有毒性，一些进化论者认为，荧光素酶-荧光素系统的演化是为了降低氧毒性，而光则是一种偶然的副产品。但他们推测，由于其他保护性抗氧化剂也随之演化，随着时间的推移，大多数生物体失去了生物发光能力，因为在氧气水平不断上升的情况下，生物发光不再必要或不足以发挥作用。¹⁹据说，视觉的演化提供了一种选择优势，使得那些可能早期演化出生物发光能力，后来又找到了其他用途的生物得以保留这种能力。

由于如果没有生物能够看到可见光，可见光就无法提供选择优势，因此生物发光的进化甚至可以早于视觉的进化——而视觉的进化本身也是一个基于世界观推测的领域。（欲了解更多信息，请阅读汤米·米切尔博士的著作《*进化：眼睛没有它！*》）换句话说，虽然一些进化论者认为各种生物发光化学系统是为了适应氧气而进化出来的，但一旦氧气这一功能被取代，只有与视觉相关的功能才能提供选择优势，使这些生物发光系统免于消失。例如，进化科学家假设昆虫在泥盆纪时期就已经进化出了感知紫外线、绿色和蓝色

的能力，因为所有昆虫都能看到这些颜色。因此，进化论者将生物发光趋同进化的起源推至足够远的历史时期，使其出现在许多不同类型生物的进化过程中，然后依靠与视觉相关的功能来提供选择优势，使其在各种生物中免于消失。

当然，所有关于早期地球环境恶劣、大氧化事件、生命从化学物质演化而来，以及生物体复杂性通过随机自然过程增加等种种推测，都基于世界观，不仅无法通过观测科学验证，而且还否定了《圣经》中上帝六日创世的目击者记载。（本网站的许多文章都探讨了这些主题。）而视觉起源于进化的观点同样建立在站不住脚的推测之上。此外，生物发光现象大约经历了50次进化，每次都需要在每对荧光素-荧光素酶分子上产生精确匹配的分子部件，以及有效的节能机制来控制发光，这些事实都让人难以相信进化论的合理性。

随机的自然演化，既缺乏生物学上可观察机制的支持，又根植于无法验证的世界观假设，因此无法解释生物发光的多样性，也无法解释各种生物产生和调节自身发光的众多生化途径。然而，一位智慧的造物主，如同优秀的工程师一般，设计了这种实用能力的多种变体，祂可以。生物发光甚至帮助许多动物在这个堕落的世界中生存。生物发光以其多种形式和功能，完美地展现了上帝的智慧设计。

读完这篇文章，你心里是否有一些触动？有没有一些新的想法，或者值得你认真思考的问题？或许，你也开始重新思考自己的信仰和人生的方向。

如果你愿意，现在就可以向上帝祷告，打开心门，成为祂的儿女。祷告不需要华丽的言辞，只要一颗真诚的心。你可以这样祷告：

天父上帝，

今天我来到你面前，愿意立定心志，宣告我相信耶稣基督是我的救主，是我生命的主。我愿意离开过去那些不讨你喜悦的生活方式，求你赦免我的过犯。靠着你的恩典，帮助我学习顺服你、爱人如己，活出你所赐的新生命。求圣灵每天引导我、扶持我，使我一生荣耀你的名。奉主耶稣基督的名祷告，阿们。

如果你已经做了这个祷告，愿你知道，你并不孤单。信仰的道路需要陪伴和成长。鼓励你在自己居住的地方，寻找一间合适的教会，与弟兄姐妹一同聚会、学习和成长。

如果你有任何疑问，或在信仰上需要帮助，欢迎随时写信与我们联系。我们愿意倾听，也愿意与你一同前行。