

黑暗的海洋里充满了光

Séverine Martini^{1*} 和 Warren R. Francis²

¹法国维尔弗朗什海洋学实验室 (UMR7095) (法国, 维尔弗朗什-苏尔-梅尔市)

²丹麦南方大学生物系 (丹麦, 奥登塞市)

少年审稿人

JOHN FISKE
ELEMENTARY
SCHOOL



年龄: 12-14

生物发光 (Bioluminescence)

活体生物发出的光。

不妨想象一下, 假如你可以随时让自己的身体发光会是怎样。那样的话你在黑暗或夜晚将永远不会感到害怕, 因为你可以照亮周围的世界。你可以在床底下投射一道耀眼的云, 闪瞎黑暗中的怪物让你得以逃脱。海洋中的许多动物实际上都有这个能力。这种超能力叫生物发光! 在开放的海洋中, 大约四分之三的动物都具有发光能力, 这些动物可以生活在水下 4000 米深的范围内。这种发光能力让他们以高效的方式在海洋的黑暗中与伙伴们交流、吸引猎物或逃避天敌。

引言

你知道大多数海洋动物具有我们所没有的超能力吗? 这个能力被称为生物发光 (bioluminescence), 该词中的“bios”在希腊语里的意思是“生命”的意思, 而“lumen”在拉丁语中的意为“光”。生物发光是指一些有机生物有自己发光的能力。生物发光这个词听起来可能与其他词语相似, 比如“磷光”(想象荧光玩具的光) 或者“荧光”(想象荧光笔的光), 但它们是完全不同的现象 [1]。主要的区别在于, 生物发光不需要任何外部光源, 比如太阳或手电筒的光就属于外部光源。实际上, 生物发光是一种化学反应 (有点像荧光棒的原理)。这种反应最早是由法国生物学家拉斐尔·杜布瓦 (Raphael Dubois) 于 1887 年首次提到过。

荧光素 (Luciferin)

在生物发光化学反应中，与荧光素酶一起发挥作用的化学物质。

荧光素酶 (Luciferase)

在生物发光化学反应中参与的酶。

生物发光反应需要两种化学物质，一种被称为**荧光素**（但它像电池那样是会消耗掉的），另一种被称为**荧光素酶**。这两种化学物质与一些氧气一起反应就可以产生光。

为什么会发光？

为什么动物要消耗能量来发光呢？其中一个原因是，在海洋中，阳光几乎无法穿透几百米以下深的地方。在那之下完全是一片黑暗。在夜晚，即使海面上也是黑暗的，仅有一些微弱的月光。所以光是动物进行交流的好方式。但是，它们在与谁进行交流？还有谁看到这些信号呢？对于海洋物种来说，发出光线或在黑暗中寻找光线有助于它们寻找同伴，甚至是找到食物。例如，深海琵琶鱼利用其发光的诱饵来吸引小型猎物，这些猎物最终无疑会成为它的食物（图 1A）。当然，猎物也不想被吃掉，它们也可以使用生物发光作为防御手段。有许多不同的策略可以使用 [2]。用喷射一团发光粘液的方式就可以让天敌目眩几秒钟（图 1B）。的确，想象一下你在黑暗的房间待了几分钟的感觉。如果有人走进来并把手电筒对准你的眼睛，你会在几秒钟内感到失明，无法看到任何东西，而这短短的时间足够潜在猎物逃脱。

一些鱼类和乌贼利用生物发光进行“发光消影”（图 1C）。通常当这些动物在白天游到水面上时，它们在太阳下的影子轮廓会让游在它们下方的天敌可见。然而，一些鱼类和乌贼可以通过从腹部发出光来扰乱轮廓，隐藏起来，使它们免受潜在天敌的侵袭。一些乌贼和蠕虫采用另一种策略，将身体发光的一部分牺牲掉，扔出来作为被攻击目标（图 1D）。天敌会追逐发光的分离部分，而猎物则借此逃脱。这和一些爬行动物断尾求生逃避天敌的方式类似。最后，一些动物在被追赶的时候利用光来吸引帮助，这种方式有时称为它们的“入侵者警报器”（图 1E）。行动迟缓或防御力弱的动物可能很难独自逃脱天敌，因此它们利用光来呼救，吸引那些更庞大更凶猛的动物，来捕食那些骚扰脆弱动物的生物。

发光海洋生物多样性

虽然你在花园或乡村可能见过发光的萤火虫，但生物发光现象在陆地上其实很少见。然而，它们在海洋中随处可见。海洋里的发光动物非常多样化，包括鱼类、乌贼、水母、一些珊瑚、不同种类的海洋蠕虫、栉水母（ctenophores，英文读音为“TEEN-o-fours”，栉水母类）、海星和甲壳动物（例如一些虾类）。还有一些更奇特的发光动物，比如**火鞭虫**是一种有胶质感的长长的管状生物（图 2A）。它们能发出异常明亮、持续的光，更令人惊奇的是，它们对外界光刺激可以做出发光反应（图 2B）。

大部分海洋动物在生物发光现象中发出蓝色或绿色光，这些颜色（或以物理学上的波长来看）在水下传播的距离最远。根据观察，发

图 1

深海生物使用生物发光的各种方式。(A) 发光诱饵, (B) 烟雾幕, (C) 发光消影, (D) 分离身体部位, (E) “入侵者警报器”。

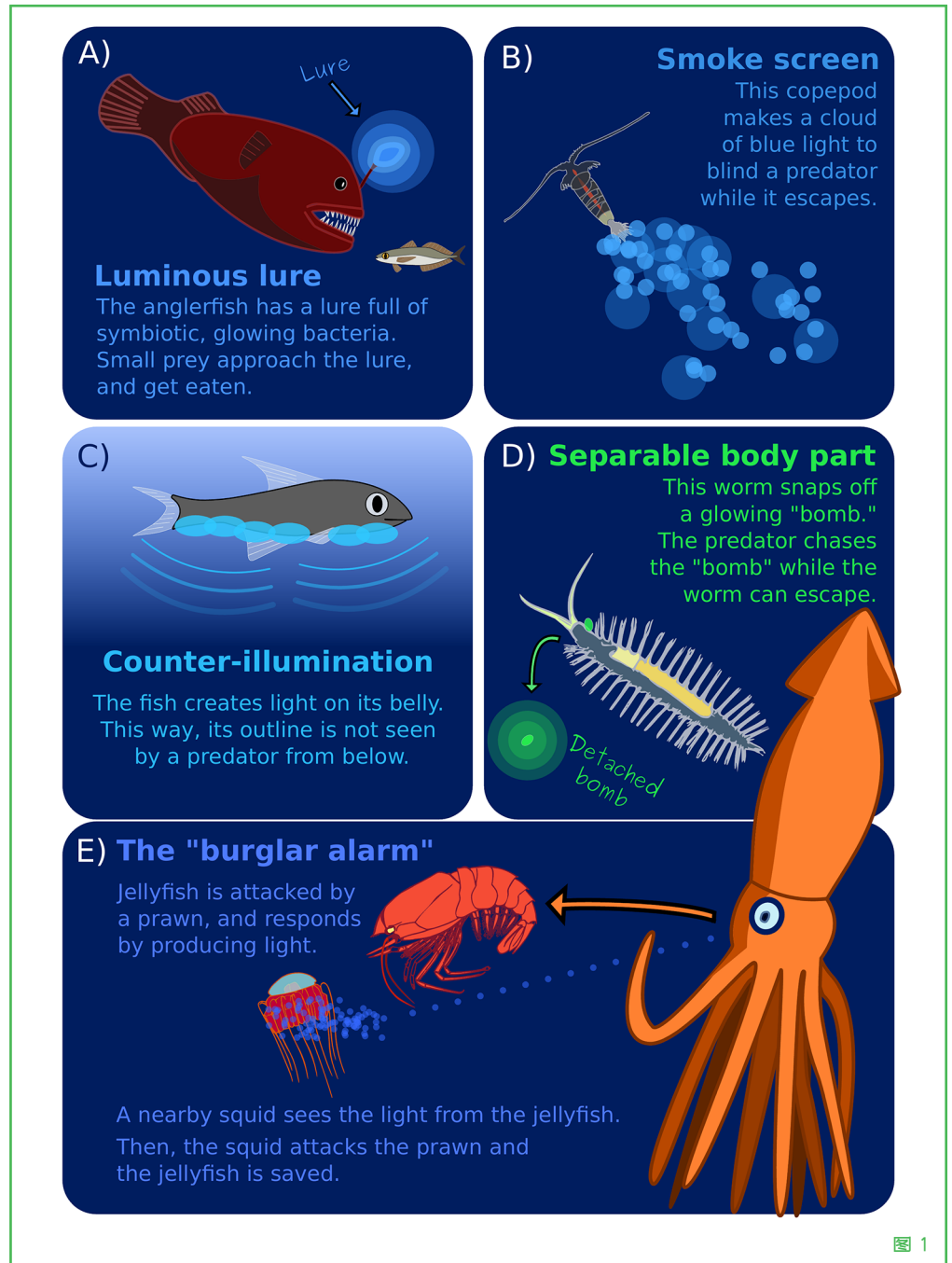


图 1

远洋水域 (Pelagic)

海洋的开放公海水域, 与海底区域相反。

绿光的生物主要出现在浅水环境中, 而蓝绿色光发生物更常见于远洋水域 [3]。然而, 这些发光的生物可以利用彩虹光谱上的任意颜色。比如一些水母发出类似紫色的光。浮蚕属 (Tomopteris, 发音为 “toe-MOP-ter-iss”) 的海洋蠕虫通过明亮发光的颗粒来发出黄色的光芒, 这是深海中非常罕见的光色。科学家仍然不明白浮蚕属产生黄光的原因和方式。最后, 一些被称为龙鱼的鱼甚至发出红色的光。在这种极端的波长下, 我们的眼睛几乎看不到红光, 但是相机可以捕捉到它。红光可能用于寻找猎物, 因为大多数龙鱼的猎物也无法看到红光。

图 2

火体虫 (Pyrosomes): 有趣的生物发光动物。火体动物是自由漂浮的管状动物。它们的长度可以从几厘米到几米不等。(A) 在白光下观察到的火体虫, 就像来自太阳或灯泡的光 (©MBARI)。(B) 使用生物发光技术发光的火体虫 (经 S.H.D. Haddock 许可, ©biolum.eemb.ucsb.edu/)。

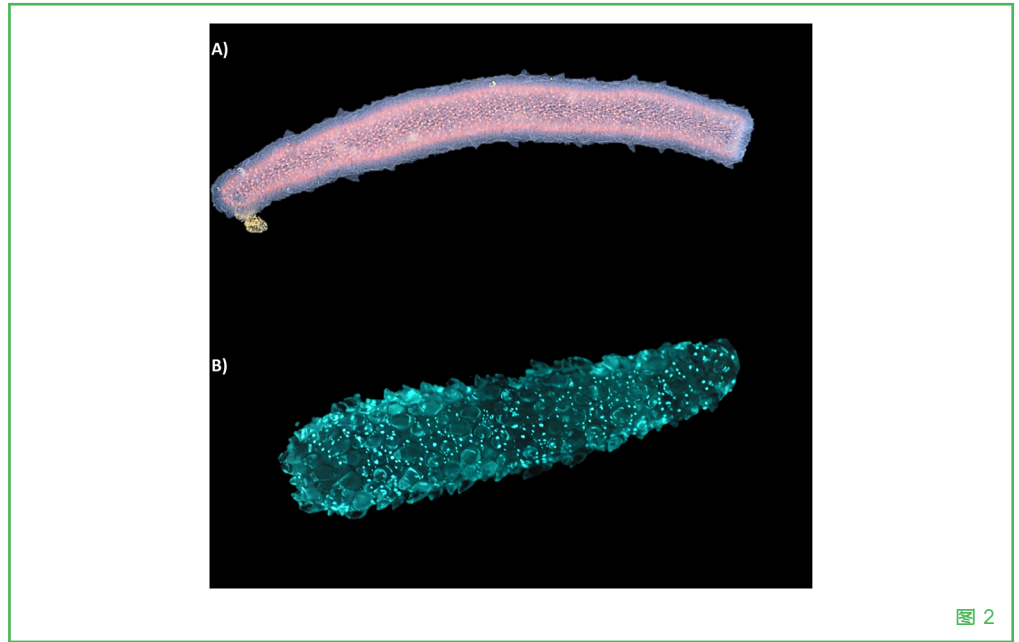


图 2

可发光生物发出的光通常非常短暂, 持续时间从小于 1 秒到约 12 秒不等。发光模式非常多样化。桡脚类动物会发出短暂而明亮的闪光, 栉水母、管水母 (长链状水母近亲)、毛颚类动物 (常被称为箭虫) 会制造发光云团。另一个例子是海参, 它们在正常光线下看起来并不漂亮。然而当它们在黑暗中发光时, 我们可以看到他们整个身体上有令人惊叹的圆形光圈, 就像是栩栩如生的烟火一样。最令人难以置信的是, 深海中还隐藏着许多不被人知的的生物发光图案。

不仅是较大的海洋动物以这种方式利用光线, 一些微观生物也有生物发光效应。通常海面上的生物发光现象一般是甲藻 (英文为 Dinoflagellates, 发音为 “dino-FLA-jel-lits”) 导致的。有时在晚上, 当我们在帆船后或在海滩上用手搅动水时, 会看到他们的发光痕迹。甚至细菌也有生物发光效应。与较大的生物相反, 有生物发光能力的细菌所发出的光是连续的。

生物发光细菌可以在海洋的各个地方找到: 它们在水中自由生存着, 附着在浮游生物的排泄物、尸体, 甚至鱼肠道中。这些细菌还可以与其他动物共生, 生活在某些鱼类或乌贼的特定光器官中。就像一个团队一样, 团队的每个成员都做出了有益的贡献, 较大的动物为细菌提供养分 (食物), 而细菌则利用发光吸引猎物。一个常见的例子是琵琶鱼。这种鱼在深海中生活, 头部有一个充满发光细菌的发光诱饵, 起到了类似于鱼竿的作用。琵琶鱼和细菌之间是一种共生关系。然而, 通过共生进行生物发光并不常见, 大多数生物都是利用发光器官进行自发光的。

共生 (Symbiosis)

不同物种生物体之间的互动或密切的生存关系, 通常这种关系对一种或两种生物体都有益。

发光器官 (Photophore)

一些发光生物中存在的发光的器官。

生物发光在海洋中有多常见？

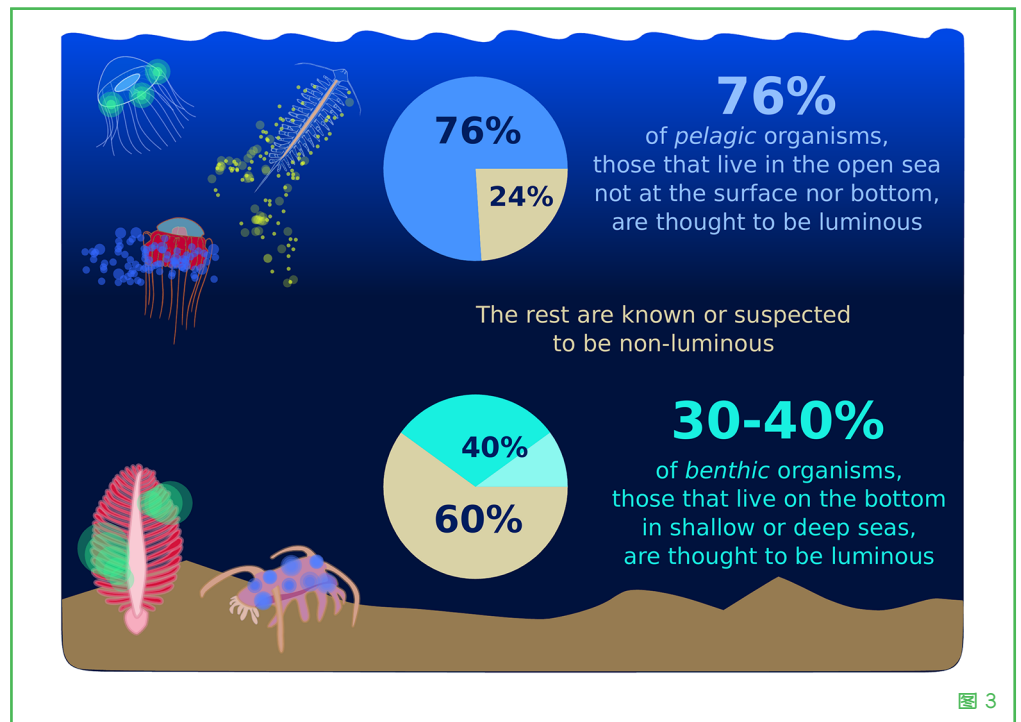
潜水艇的研究人员报告说，在它们下潜到深海时，许多被潜水艇惊扰的生物都会发光。然而，观察这些生物发光现象仍然非常困难。在海洋表面以下几千米的环境中，有许多发光生物。最近有分析估算，76% 的远洋生物（生活在开放水域的生物）具有发光能力 [4]。这意味着大多数生活在海洋表面和深海之间的动物都具备这种超能力。对于底栖生物（生活在海底附近的生物），这个比例略低一些，他们中有 40% 的是发光的（图 3）。这种差异与在这些环境中可见度最高的光波长有关。为什么底栖动物和明亮的远洋动物之间差异如此之大呢？一个主要的假设是生物发光是一种沟通方式。在远洋环境中，通过发光与远处的生物进行沟通，这种沟通方式非常有效。相反，对于底栖动物来说，有许多障碍物，如岩石、裂缝、洞穴，或者水域可能因为海洋洋流搅动沉积物而变得混浊。因此，对于底栖生物来说，使用光来沟通可能不太有效。底栖生物可能也不那么需要光，因为它们有许多可以隐藏的地方。

底栖生物 (Benthic)

与海底相关或与住海底的生物体有关。

图 3

发光动物遍布海洋。海洋水体中的远洋生物，其中约 76% 的动物是发光的。底栖生物在海底海床附近，其中 30-40% 是发光的。



结论

生物发光是许多海洋生物拥有的迷人超能力，我们经常在电影或电视节目中看到。虽然科学家们几个世纪以来一直知道这种能力及其机制，但我们离完全理解生物发光的一切还有很远的要走。事实上，研究人员尚未发现动物或细菌发光的所有原因。此外，虽然我们理解了一些动物产生生物发光的化学反应原理，但对于许多其他动物，如某些虫子和许多鱼类，这个原理仍然是秘密。

科学家仍有必要继续研究生物发光，因为我们仍无法理解，也未曾报道许多生物身上所具备的这种能神奇能力，而这样的能力在黑暗的海洋中具有重要意义。

参考文献

1. *The Bioluminescence Web Page*. Available online at: <https://biolum.eemb.ucsb.edu/>
2. Haddock, S. H., Moline, M. A., and Case, J. F. 2010. Bioluminescence in the sea. *Annu. Rev. Mar. Sci.* 2:443–93. doi: 10.1146/annurev-marine-120308-081028
3. Widder, E. A. 2010. Bioluminescence in the ocean: origins of biological, chemical, and ecological diversity. *Science* 328:704–8. doi: 10.1126/science.1174269
4. Martini, S., and Haddock, S. H. 2017. Quantification of bioluminescence from the surface to the deep sea demonstrates its predominance as an ecological trait. *Sci. Rep.* 7:45750. doi: 10.1038/srep45750

线上发布: 2023 年 11 月 10 日

编辑: Sanae Chiba

科学导师: Briana Erin Mittleman

引用: Martini S 和 Francis WR (2023) 黑暗的海洋里充满了光. *Front. Young Minds*. doi: 10.3389/frym.2020.00069-zh

英文原文: Martini S and Francis WR (2020) The Dark Ocean Is Full of Lights. *Front. Young Minds* 8:69. doi: 10.3389/frym.2020.00069

利益冲突声明: 作者声明, 该研究是在没有任何可能被解释为潜在利益冲突的商业或财务关系的情况下进行的。

版权 © 2020 © 2023 Martini 和 Francis. 这是一篇依据 [Creative Commons Attribution License \(CC BY\)](#) 条款发布的开放获取文章。根据公认的学术惯例, 在注明原作者和版权所有, 及在标明本刊为原始出处的前提下, 允许使用、传播、复制至其他平台。如违反以上条款, 则不得使用、传播或复制文章内容。

少年审稿人

JOHN FISKE ELEMENTARY SCHOOL, 年龄: 12-14

我们是一群参加智能科学俱乐部 (SMART) 的、聪明年轻科学家组的学生。我们对不同的化学物质和其他物质感兴趣。我们在约翰·菲斯克小学七年级和八年级就读。与研究并撰写生物发光的科学家合作的机会让我们十分兴奋。我们的名字是 Joi、Brianna、Kingsley、Taliya、Hallel、Shamari、Shamar 和 Camron。



作者



SÉVERINE MARTINI

我开始研究生物发光细菌是当我在法国马赛的地中海海洋研究所 (Mediterranean Institute of Oceanography) 攻读博士学位时。我的目标是了解这些微生物如何适应深海 (高压和黑暗)。为了深入研究更广范围的海洋物种 (水母, 无脊椎动物等), 我在美国加利福尼亚州的蒙特雷湾水族研究所 (MBARI) 工作了两年。MBARI 是一家世界领先的专门从事深海研究和技术的实验室。*martini.severine@gmail.com



WARREN R. FRANCIS

我的背景是生物化学。我在加利福尼亚州的蒙特雷湾水族研究所 (Monterey Bay Aquarium) 完成了博士学位, 研究一群称为栉水母生物的发光现象。我目前正在从遗传和化学的角度对各种发光动物进行项目研究, 它们包括多毛类动物、乌贼、珊瑚和水母。