

水下探照灯: 关于水质, 光能告诉我们什么?

Kevin A. Ryan* 和 Douglas A. Burns

美国地质调查局, 纽约水科学中心 (美国, 纽约州, 特洛伊)

少年审稿人



FINLEY

年龄: 11



JULIETA

年龄: 12



MADY

年龄: 12



VEDIKA

年龄: 15

水是生命之源。河流、湖泊和海洋中的颗粒和溶解的化学物质随着天气、季节和人类活动不断变化。水中的物质对人类和其他生物来说, 有些有益, 有些有害。新技术让科学家们可以使用防水电脑 (传感器) 来记录水质的全天变化。很多传感器是利用水与光 (或其他能量形式) 的相互作用来了解水里有什么。通过观察光能在水中的变化, 科学家可以追踪到水中有害污染物, 或植物、动物和细菌必需营养素的来源和流动。传感器网络包含多个传感器节点协同工作, 持续提供水不断变化的信息, 这些信息影响所有依赖水的生物。

水里有什么

人的生存都依赖于水, 但并不是所有的水都适合饮用。海洋的咸水不是安全饮用水, 通常也没有人会去喝停车场中泥坑里的水。为了安全用水, 我们需要知道水里有什么, 即水质。关于“水里有什么?” 这个既令人兴奋又富有挑战性的问题, 新技术可以为我们提供更好的答案。液态水不断流动, 携带着健康物质及有害物质从一个地方到另一个地方。测量水中的污染物和营养物质以决定它们在哪个水平是安全的, 或是有害的, 这是社会每天面临的挑战。

水文学家 (Hydrologist)

研究水在地球表面、土壤和地下岩石以及大气中的性质、分布和影响的科学家。

图 1

采集水样需要时间和精力。(A)一名科学家正在用瓶子收集水样。(B)一名科学家正在实验室分析水的化学成分。

传感器 (Sensor)

一种测量物质或能量的可观测变化的设备。

科学家一般通过收集样本来分析水质——从他们的目标水源中取少量水样。一些我们平常能看到的固体在水中溶解后似乎消失了。糖和盐就是很好的例子。较大的固体如泥土、昆虫和垃圾被流水卷走时，则更容易被发现。科学家称这些较大的物质为“颗粒”，它们由于太大而无法通过大多数水过滤器。了解水样中溶解化学物质及颗粒的数量与类型需要专业设备。水文学家，就像实验室侦探一样，使用仪器一步步解开水中的奥秘。

然而，传统的采集水样方法存在一个问题。在样本送到实验室之前，河流、湖泊和海洋中的水质可能就已经发生了变化。环境中不断变化的水质可能在几分钟内就会让一个旧的谜团变成一个新的谜团。这就是为什么水文地质学家和其他研究水的科学家每年、每月、每周，甚至每天都会重复进行测量（图 1）。实际上，这些科学家一直在寻找新的方法，以了解水质从每分钟到每十年的变化情况。



图 1

旧问题, 新工具

幸运的是，一些技术可以助科学家们一臂之力。安装在码头、桥梁和浮标上的防水电脑（传感器）可以在无人看管状态下，甚至在半夜记录测量值。这些水质传感器被编程为唤醒、检测并记录，再回到休眠状态。传感器可以每几秒钟测量一次水的物理和化学“脉搏”[1]。一些传感器已经使用了几十年，用于监测和保护鱼类的栖息地。水处理设施也使用传感器来制备饮用水，或确保废水清洁到可以回灌的程度。

随着时间的推移，技术进步催生了新型传感器，帮助我们揭开新的谜团。这些传感器利用光能和其他形式能量的特性，检测河流、湖泊和海洋中存在的一些重要分子和颗粒 [2]。新型传感器利用某些化学元素（如碳和氮）在水下与光的相互作用，当然，还包括其他与光相互作用的物质，比如悬浮颗粒（如土壤）甚至水本身。使用光测量水质的一个优点是测量过程中不会改变水的性质。使用传感器收集数据可以让水留在原处，无需经历漫长且昂贵的送往实验室的过程！

如何测量水下的光

不同类型的光含有不同份额的能量。这种差异造就了我们可以看到的各种颜色。比起蓝光，水能更多地吸收红光，阻止红光到达我们的眼睛。这就是为什么水在人眼中通常呈现出蓝色。**紫外线光**比蓝光能量更强，蓝光比红光能量更强。光的不同能量类似于不同的声音。太高频的声音狗狗能听到而人类听不到，就像紫外线光一样，能量太高人类肉眼无法看见。光穿过空间、空气和水，直到遇到障碍物。测量水下光路中的障碍物可以帮助了解很多关于水质的信息。

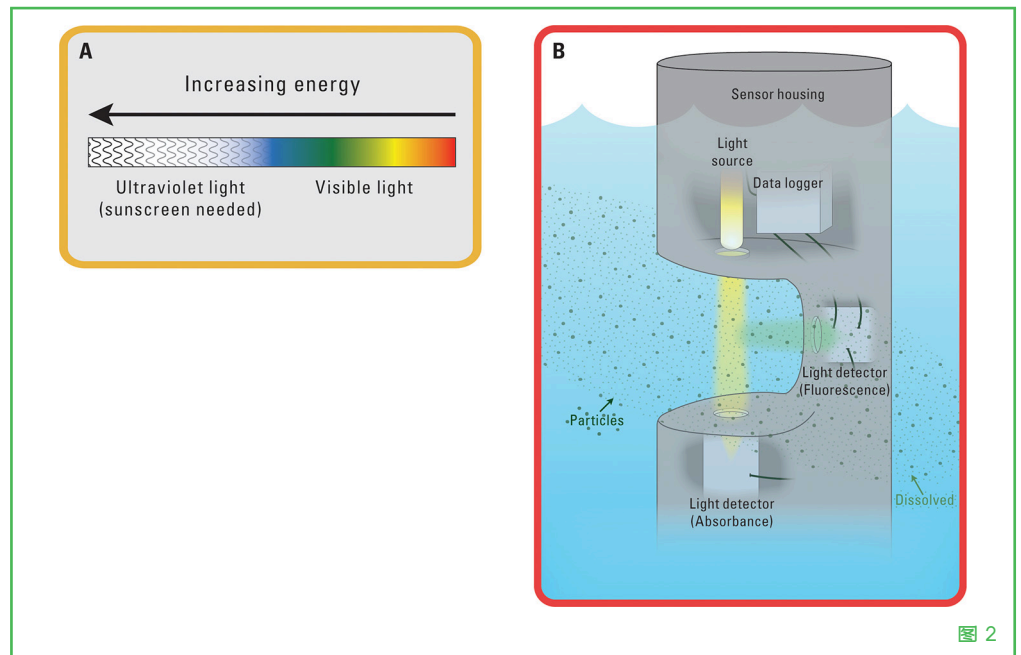
利用光来测量水质需要在光源对面放置一个光检测器（如图 2 所示）。水流过光源和检测器之间的空间。光源发出的光穿过水，同时与水中的所有分子和颗粒相互作用。这些相互作用就像一个人在拥挤的房间里移动时与别人肩碰肩，有时还会停下来握个手。将到达检测器的光能与离开光源的光能进行比较，生成出水文学家用的上的有趣数据。光源和检测器之间的距离越大，光与沿途物质相互作用的机会就越多。到达检测器损失的光能可以告诉科学家水中含有什么物质。

紫外线 (Ultraviolet light)

存在于阳光中的一种光能形式，比可见光含有更多能量，但比 X 射线能量更少。

图 2

外部简单，内部复杂！**(A)** 可见光和紫外线光都是能量的形式。**(B)** 传感器有多种形状。许多传感器是由塑料或金属外壳保护的圆柱体。在其内部隐藏着能量源、检测器和用于记录（存储）数据的计算机。



吸收 (Absorbance)

光能转移到物质或分子的过程。

荧光 (Fluorescence)

分子以光的形式发射能量的过程。

科学家在解释水下光传感器的结果时，必须考虑到多种可能性。较大的颗粒可以物理性地阻挡光的路径，如同傍晚时分的阳光下，人会在地面上投下影子一样。光也会在其能量转移到某些溶解分子上的途中被阻挡。当光被一个分子吸收时，光的能量可以转化为该分子内的运动和振动。分子在**吸收**过程中“感觉到”光，就像人们在阳光明媚的日子里感觉到太阳的热量一样。另一种可能是，分子吸收的光能量被转化为**荧光**。光能量以一种形式进入分子，并以另一种形式离开，就产生了荧光。新产生的荧光也可以通过水下光检测器进行测量。水文学家知道，只有

硝酸盐 (Nitrate)

由一个氮原子和三个氧原子组成的分子, 是一种常见的营养来源, 常见于河流、湖泊、海洋和废水中。

有机溶解物 (Dissolved organic matter)

一种复杂的碳基分子混合物, 溶解在水中, 主要来自于植物、细菌和藻类的分解。“有机”在这里与超市中的有机食品不同。

机器学习 (Machine learning)

一种利用数据输入和算法进行预测(输出)以及在数据中找到有用模式的计算机科学和统计学领域。

某些类型的化学物质可以发射荧光。所有这些相互作用都会减少从光源传输到传感器内光检测器的光量。

结果显现

使用防水传感器、光源和光检测器能解决哪些谜团呢? 科学家们正在使用传感器解决关于两种生命基本元素——氮和碳的连续运动的谜团。**硝酸盐**是一种溶解在水中的常见氮形式, 是植物和细菌的食物。当植物、动物和细菌分解时, 含有碳和其他元素的溶解分子被称为**有机溶解物**。有机溶解物被冲入附近的河流、湖泊和海洋中。硝酸盐和有机物在水中溶解时, 通过吸收、荧光或两者兼而有之, 与紫外线和可见光相互作用。监测这两种物质有助于提高我们对生态系统的理解, 并帮助确定水是否可以安全地供人类使用。

例如, 传感器记录的测量数据可以帮助科学家更准确地计算这些物质流入河流的数量, 即使是在危险的洪水期间。传感器频繁记录的报告方便科学家了解这些物质在水流增加时的变化情况。由此产生的数据可以表明硝酸盐是来自天然森林、人类废水(污水)还是农田 [3]。这些数据还可以指出什么时候需要处理饮用水, 以将有机溶解物减少到安全水平 [4]。随着多年的数据累积, 有关季节性天气和气候变化对水质的影响也逐渐揭开面纱。较长时间的干旱和更密集的风暴正在随着时间的推移改变河水的水质。

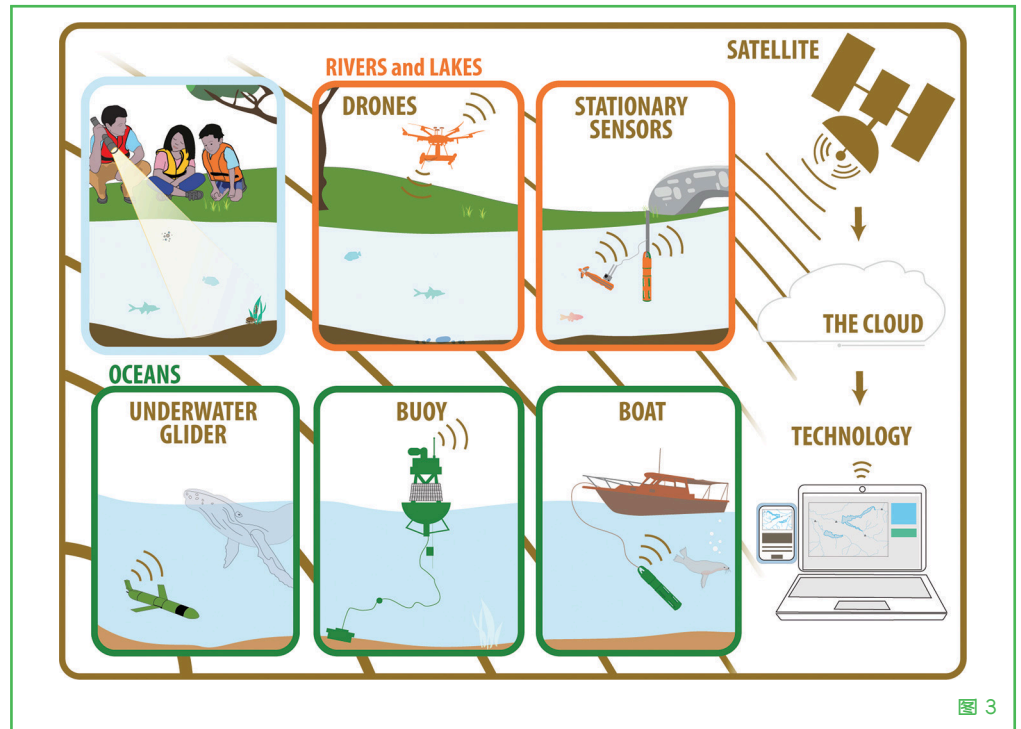
未来的水下探照灯

由于大量传感器昼夜不停地工作, 数据量迅速增加。即使是大型团队的科学家们也需要特殊工具来跟进大量的数据。传感器通过手机信号塔和卫星将结果回传给科学家(如图 3 所示)。数据存储在世界各地数据中心的多台计算机中。数据在被用来做决策之前, 会经过仔细的错误检查。这些由多个传感器和计算机连接组成的复杂系统被称为水质传感器网络。传感器网络已经促成了许多以前无法实现的发现, 并且还有更多传感器正在等待记录水的故事。

如何使用传感器的新方法依然在探索中, 以了解河流、湖泊和海洋的更多信息。例如, 传感器安装在船只、潜艇和滑翔机上, 被用于绘制水下更长距离的水质变化图。从天空上方, 无人机、飞机和卫星可以观察更多光与水表面的相互作用。**机器学习**作为一种人工智能形式, 正被应用于解释传感器数据, 以提高预测准确性。随着社会的发展, 对河流、湖泊和海洋水质进行监测和预测的需求只会随着时间的推移而增加。下一代的水质侦探必定会继续利用新技术来帮助解决未来的水质之谜!

图 3

水质传感器网络内的众多连接。固定(静止)和移动(动态)的传感器通过与卫星或手机信号塔通信,持续报告监测结果。这些数据经过处理生成图表,使科学家能够监测水质。



致谢

本文中的所有图像和数据均已获得书面出版许可。感谢墨子沙龙公益科普平台对本文中文翻译的贡献。

原文

Burns, D. A., Pellerin, B. A., Miller, M. P., Capel, P. D., Tesoriero, A. J., Duncan, J. M. 2019. Monitoring the riverine pulse—Applying high-frequency nitrate data to advance integrative understanding of biogeochemical and hydrological processes. *WIREs Water* 6:e1348. doi: 10.1002/wat2.1348

参考文献

1. Rode, M., Wade, A. J., Cohen, M. J., Hensley, R. T., Bowes, M. J., Kirchner, J. W., et al. 2016. Sensors in the stream—The high-frequency wave of the present. *Environ. Sci. Technol.* 50:10297–307. doi: 10.1021/acs.est.6b02155
2. Pellerin, B. A., Stauffer, B. A., Young, D. A., Sullivan, D. J., Bricker, S. B., Walbridge, M. R., et al. 2016. Emerging tools for continuous nutrient monitoring networks—Sensors advancing science and water resources protection. *J. Am. Water Resour. Assoc.* 52:993–1008. doi: 10.1111/1752-1688.12386
3. Burns, D. A., Pellerin, B. A., Miller, M. P., Capel, P. D., Tesoriero, A. J., and Duncan, J. M. 2019. Monitoring the riverine pulse—Applying high-frequency nitrate data to advance integrative understanding of biogeochemical and hydrological processes. *WIREs Water* 6:e1348. doi: 10.1002/wat2.1348

4. Ruhala, S. S., and Zarnetske, J. P. 2017. Using in-situ optical sensors to study dissolved organic carbon dynamics of streams and watersheds—A review. *Sci. Total Environ.* 575:713–23. doi: 10.1016/j.scitotenv.2016.09.113

线上发布: 2024 年 9 月 30 日

编辑: [Melissa Hamner Mageroy](#)

科学导师: [Rob Condon](#) 和 [Ana Inés Torres](#)

引用: Ryan KA 和 Burns DA (2024) 水下探照灯: 关于水质, 光能告诉我们什么? *Front. Young Minds.* doi: 10.3389/frym.2023.1201556-zh

英文原文: Ryan KA and Burns DA (2024) Underwater Flashlights: What Light Can Tell Us About Water Quality. *Front. Young Minds* 11:1201556. doi: 10.3389/frym.2023.1201556

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 © 2024 © 2024 Ryan 和 Burns. 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人, 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



FINLEY, 年龄: 11

我叫芬利。我今年 11 岁, 读六年级。我喜欢阅读。我刚刚开始了在青少年科学家学院的第二年学习。我最近最喜欢的 YSA 项目之一涉及到水培和在火星土壤中种植植物。



JULIETA, 年龄: 12

嗨, 我是朱丽娅, 我出生在明尼苏达州 (美国), 现在我和我的家人搬到了乌拉圭。我会说英语和西班牙语。我喜欢滑旱冰和制作陶器。在学校, 我最喜欢的科目是数学



MADY, 年龄: 12

我叫玛迪, 我住在摩尔多瓦的基希讷乌。我今年 12 岁, 我喜欢创作、绘画、涂鸦和编程。我喜欢和好朋友及家人一起度过空闲时间。我是一个很有趣的人, 书是我的好朋友。



VEDIKA, 年龄:15

我是维迪卡, 现在我是一名就读于青少年科学家学院的 15 岁学生。我喜欢参加 STEM 相关的活动, 对心理学和天文学都有兴趣。

作者



KEVIN A. RYAN

主要研究人类和气候如何改变人类赖以生存的水资源。他曾使用水质传感器监测工业鱼类养殖场 (水产养殖) 和森林山区溪流的水质。他是美国地质调查局特洛伊 (纽约州) 的纽约水科学中心的水文学家。*karyan@usgs.gov



DOUGLAS A. BURNS

美国地质调查局特洛伊 (纽约州) 的纽约水科学中心的水文学研究员。他研究人类活动, 如土地利用、空气污染物排放和气候变化如何影响水资源。道格曾利用传感器数据研究营养物质如何被输送到河流中, 以及它们向下游流动时如何变化。



中文翻译由下列单位提供
Chinese version provided by