

# 张兴团队《Science》发文，解析古老绿硫细菌光合作用反应中心原子结构

浙江大学医学院 2020-11-20

**11月20日，国际顶级杂志《科学》（Science）在线发表了浙江大学医学院张兴教授团队的最新科研成果。该团队在全球率先解析了一种古老的光合细菌——绿硫细菌的光合反应中心空间结构，刷新了人类对古老光合生物的光合作用机理的认知，对于理解光合作用反应中心的“认祖归宗”（即进化生物学研究）具有重要的启示，对于利用植物光合作用原理，探索改善体内缺氧环境，创新疾病的诊治手段有重要的前瞻性意义，是医学院在源头创新探索基本生命规律领域的一个新的标志性科研成果。**

光合作用是地球上最重要的化学反应，光合生物通过把太阳光能转变成化学能，固定二氧化碳为有机物，同时释放出氧，为地球上绝大多数生命提供食物和氧气。光合作用不仅驱动着我们地球的环境变化、推动着高级生命的起源和进化，也使得人类文明的诞生和发展成为可能。

反应中心是光合作用过程中实现光能-电能转化的核心结构，主要由光合膜上的色素蛋白复合体构成。根据不同反应中心的结构特点，一般将其分为以铁硫簇为末端电子受体的I型(type-I)反应中心和以醌为末端电子受体的II型(type-II)反应中心。在产氧光合生物例如蓝细菌和绿色植物中，这两类反应中心分别进化为两个不同分工的光系统，即光系统I和光系统II。其中，光系统II负责将水裂解后制造氧气；光系统I吸收太阳能，转变成化学能，固定二氧化碳，制造食物。光反应过程复杂，反应中心蛋白的空间结构也极其复杂，因此在地球几十亿年的历史中只进化产生过一次，现在地球上的所有光反应中心蛋白都是从同一个祖先蛋白进化而来。

绿硫细菌是光合细菌大家庭中的一员，这类细菌能够从硫化氢、胶体状硫黄和硫代硫酸盐等物质获得电子而进行厌氧的光合作用。尽管绿硫细菌已被发现数十年了，科学家们对它内部的光合作用系统的详细构造仍然了解甚少。这也使得它成为七大门类光合细菌中唯一一类反应中心空间结构没有被解析的光合细菌。首要原因在于绿硫细菌反应中心的样品制备极其困难。这是因为绿硫细菌作为一种厌氧菌对周围环境要求非常苛刻，反应中心复合体在有氧条件下极不稳定，低浓度的氧气就容易导致其变性。另一个原因是早期对于生物大分子结构的解析主要借助X射线晶体学，这种方法需要较多的样品且对样品的纯度和均一度都有很高的要求。双重因素下解析绿硫细菌反应中心的结构变得困难重重。

张兴科研团队通过冷冻电镜技术，很好地解决了这一难题。他们优化了样品制备的各环节，获得了足够的蛋白样品，收集了近万张样品颗粒的电子显微镜成像图片，最终在世界上首次解析了绿硫细菌反应中心的结构，分辨率高达2.7埃，在该分辨率下，古老绿硫细菌反应中心的庐山真面目被首次揭开。

张兴科研团队发现，绿硫细菌的光合作用首先是通过一个巨大的外周捕光天线捕获

光能分子，再通过一些内周捕光天线向位于细胞膜的反应中心传递，这些收集和不断向内传递的能量能够激发反应中心内部的两个特殊的叶绿素分子，促进其产生电荷的分离，在这个过程中，光能就会转变成了电能(电子)，之后，这些电子会通过下游的一系列载体继续传递并最终传递给一个末端的电子受体，产生还原力，将二氧化碳等无机物转变成有机物。

“之前科学家们推测绿硫细菌的反应中心是类似于绿色植物中的光系统I的。但从结构上‘看到’虽然它与光系统I有相似的地方，比如它们的蛋白结构比较像；但也有明显区别，绿硫细菌反应中心的色素数量比光系统I的要明显减少，而且色素的空间排布也不一样。”张兴介绍，有意思的是，他们发现绿硫细菌的反应中心色素排列跟光系统II非常相似。“这兼具两种光系统结构特点的‘混沌状态’暗示绿硫细菌的反应中心可能代表了进化早期的光合生物反应中心的古老特征。”

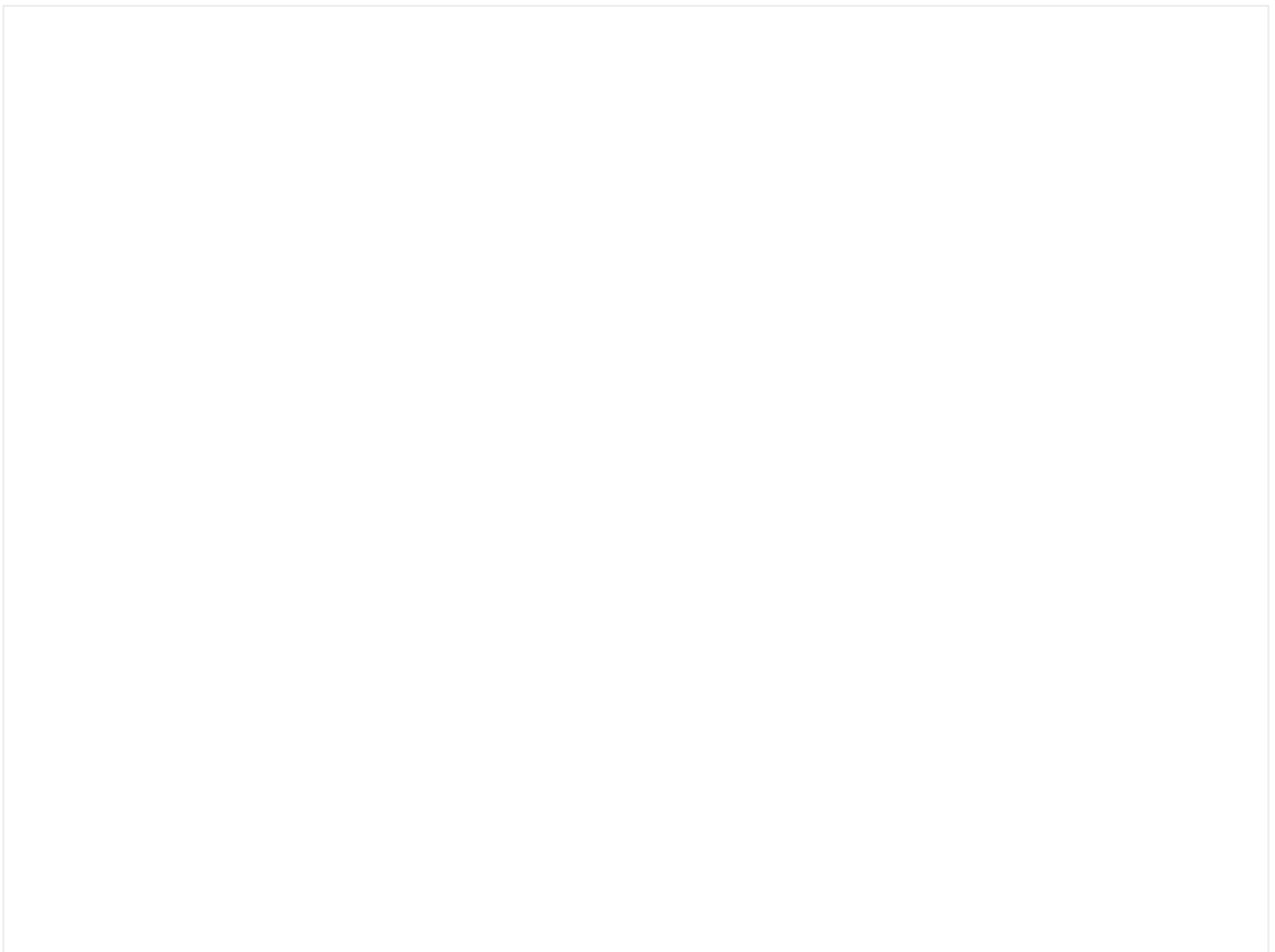


图1 绿硫细菌光合作用系统及内周捕光天线-反应中心复合体结构模型

根据生物进化优胜劣汰的原理反推，越是进化完善的，越是“后生”的，越是不完善的，越是古老的。“地球上所有现存的光合作用反应中心都起源于相同的‘祖先’（一类原始的反应中心蛋白），并由该蛋白不断进化而形成现有的各种各样的反应中心。”张兴说，在高等植物中存在两种不同的光反应系统(光系统I和光系统II)，且各自是由不一样的中心蛋白构成，科学界的普遍共识是，地球上最早的反应中心是由两个相同的蛋白构成的同源二聚体，在进化的过程中两个中心蛋白慢慢发生变化，从两个一样的蛋白变成了两个不一样的异源二聚体蛋白，“而此次解析到的绿硫细菌反应中心正是这样由两个相同的蛋白构成的同源二聚体。”

张兴课题组的研究证明，绿硫细菌反应中心是目前唯一发现具有两类反应中心结构

特征的分子，填补了人类对光反应中心结构认知的空白。

论文评审专家表示：“这项研究对于揭示30亿年前地球原始光合生物如何进行光合作用具有重要的启示，对于理解光合作用反应中心的进化极其重要。”

了解了反应中心的结构特征之后，课题组下一步研究将努力获取更多的支撑数据。未来有望通过人工模拟光合作用机制、仿生设计光敏器件；改造植物光反应系统、提高太阳能利用率，从而提高农作物产量，缓解日益突出的粮食和能源问题；借鉴光合作用原理，有助于解决人体病变组织缺氧问题，从而改善人体呼吸功能受损、抑制肿瘤发生。

论文第一作者为浙江大学医学院附属邵逸夫医院/浙江大学冷冻电镜中心博士后陈景华，通讯作者为浙江大学医学院附属邵逸夫医院/浙江大学冷冻电镜中心、良渚实验室张兴教授和中国科学院植物研究所匡廷云院士、沈建仁研究员。

[点击阅读原文可查看全文](#)

医视野宣传中心  
编辑 | 富祯祯  
排版 | 吴静洁

[阅读原文](#)