**量子生物学综述**

陈启钰1\*

1 北京大学物理学院 北京 100871

在过去的十年中，量子生物学领域的研究有大幅增加，尤其是对视觉和光合作用等现象的探究。目前，关于量子生物学的总体争论引发了重要的基础问题：生物学中的独特“量子”是什么以及哪些“非平凡的量子效应”可以被视为可观测的生物学现象的起源。综述中也将重点关注争论容易实验验证的子领域：光合作用的光捕获。

1 光合作用的集体激发和能量迁移

集光天线是由色素组成的集合体，通常由蛋白质支架紧密保持在一起。色素之间的耦合导致跃迁能量和振子强度的重新分布。由于色素之间的相关性，习惯上用集体激发来描述色素-蛋白复合物（PPCs）中的传输，当振动-电子混合较弱时，称为“激子”。最近，借助二维电子光谱学（2DES）可以完全绘制激子能级的转移。蛋白质和溶剂环境可以调节集体激发的能量，还可以起到热浴的作用，将多余的能量耗散。

2 理论考虑：相干性与量子性

最近的文献对能量传递的量子性进行了广泛讨论，并且讨论了其对光合作用过程的稳定性或效率的重要性。由于相干性的存在本身并不意味着量子性，因此，在讨论量子相干能量传输时需要进行具体说明。

一个更有用的，并且与最近实验文献中该术语含义最阶级的相干性定义为，在系统本征态基底中密度矩阵的非对角元素。在动力学背景下，将基态和激发态的特定叠加称为光学相干。光学相干的演化决定了吸收光谱的跃迁频率和均匀线宽。光学相干提供了与电子相干相关的系统-浴相互作用的信息，但与能量传递没有简单的关系，但两者也不完全无关。与能量传递直接相关的相干性被称为相互激子相干性，与光相干性一样随涉及系统本征态之间的能量差异的阻尼振荡而演变。这些定义在理论和实验中相当准确。

3 实验考虑：超快光谱的相干性

在实验中研究非稳态相干性时，要了解相干性时如何被激发的。从根本上讲，激光必须包含所有参与振荡器的共振频率，且激光脉冲要短于量子拍的周期以提供所需的时间分辨率。由于激光激发会产生具有允许的跃迁偶极矩的任何态的叠加，必须小心区分与激子相关的相干性。

4 光合激子的研究

对于光合系统中间激子相干或任何相干的重要性的最初论证的核心是在电子二维光谱中观察到的长寿命振荡，这暗示了与能量传输动力学的联系对量子生物学作为的一个领域的发展十分重要。

人们猜测，长寿命的激子间相干在自然光合作用中是普遍存在的。从实验基础上看，激子解释受到对二维光谱的选择性视角的影响。

5 实验现状：再探FMO

在光合作用中关于量子相干性重要性的辩论中，FMO（Fenna-Matthews-Olson）复合物再次成为焦点，因为它在量子生物学中具有典型地位。几项研究得出相同的结论：观察到的长寿命QB与激子间相干性不一致。相反，这些振荡主要表现出与能量传递过程无关的电子基态表面上的拉曼活性振动模式的特征。

参考文献

[1] CAO J, COGDELL R J, COKER D F, et al. Quantum biology revisited[J]. Science Advances, 2020, 6(14): eaaz4888.