



动物“出厂”自带指南针 这种蛋白质或是关键

◎本报记者 吴长锋

母象打架、小象离群“练功”……连日来，云南迁徙象群的消息一直牵动着人们的注意力。而在象群一路向北的背后，没有指南针的它们如何做到不偏航也引发了诸多好奇。

当你进入茫茫大海、走进荒漠戈壁，需要指南针、罗盘为你指引方向。而在自然界中，许多生物可以完成令人惊叹的长距离迁徙活动，却并不需要借助任何外物。比如，北极燕鸥每年往返4万公里于南北极间、可可西里藏

羚羊上千公里大迁徙、黑脉金斑蝶四代接力往返北美大陆……动物在迁徙过程中，究竟是如何导航和定位的？

就在6月底，国际顶级学术期刊《自然》以封面形式在线发表了中国科学院合肥物质科学研究院研究员谢灿与英国牛津大学、德国奥登堡大学等实验室组成的国际团队一项重磅研究发现，迁徙鸟类的隐花色素 cryptochrome4 蛋白(以下简称 Cry4)比非迁徙鸟类中的 Cry4 磁场敏感性更强，揭示了由 Cry4 介导的磁感应机理，很可能就是长期寻找的磁传感器。

球磁场的概念才终于被学术界广泛接受。

“地球上的一些动物能够以某种机制来感知微弱的地球磁场，我们称之为动物磁感应。”谢灿说目前动物磁感应有几种主要的假说，第一是基于生物矿化的磁铁矿假说，第二是基于隐花色素 cryptochrome 蛋白(以下简称 Cry)的自由基对假说，第三是基于磁受体 MagR 和 MagR/Cry 蛋白复合物的生物指南针假说。

“这些能感知地球磁场的动物也有着各种表现。例如动物的体位，身体排列，筑巢等行为受地球磁场影响。偶蹄类动物吃草和休息的时候，从统计学上来看身体受磁感应影响南北排列。另外是鸟类的长距离磁导航，这里又可以分为两种情况，一种是动物迁徙，如欧洲知更鸟的迁徙；另一种是归巢，例如信鸽的归巢。”谢灿说，不同动物对磁场的感知能力差异非常大。也有很多动物目前并没有发现对磁场的感知能力，或者对磁场的感知能力一直被争议，例如我们人类。“但动物迁徙尤其是鸟类迁徙和信鸽归巢，一直是磁感应的经典动物模型和范例。”

2000年，国外的科学家研究发现，Cry很可能就是鸟类磁导航过程中的关键分子，并大胆推测了其磁感应过程，该模型不断被后来的研究所发展。后来，Cry一直被认为是磁受体蛋白的“唯一候选者”。

Cry是一种对蓝光敏感的蛋白，它与辅因子黄素腺嘌呤二核苷酸(FAD)形成的自由基电子对，在调节生物钟及感应磁场中发挥着重要的作用。

2015年11月，谢灿团队在《自然·材料》杂志上首次报道了一个全新的磁受体蛋白 MagR，它

为达到这一目的，一方面，它们从饮食中获取色素。比如鸟类的鲜红色和明黄色主要来自食物中的类胡萝卜素。但虽然天空、湖泊、大海都是蓝色，自然界却很少有蓝色色素可供食用，想要获得蓝色该怎么办？

动物们另辟蹊径，进化出高超的光学“特技”，以不同方式制造出了蓝色(和一些绿色)。这就是所谓的结构色。

结构色的原理与色素类似，也是反射特定波长的光，同时吸收其余颜色的光。不同的是，结构色的奥秘隐藏在动物羽毛、鳞片、毛发和皮肤的微米之处。

动物身体这些部位的纳米结构由于与光的波长相当，可以使不同颜色的光发生不同程度的散射，散射光波相互作用，增强某些颜色，并抵消其他颜色，最终呈现出特定色彩。

比如，大蓝闪蝶具有令人惊叹的蓝色虹彩，是因为其翅膀鳞片中的纳米级凹槽结构使蓝光发生衍射和反射，同时吸收掉了光谱的其余部分。

结构色除了呈现出特定颜色，通常还具有虹彩般的闪亮视觉效果。这是因为从微结构顶部反射的光与从底部反射的光可能相位不同，从不同角度观察时，就会产生明暗或色调变化。

除了蝴蝶，其它动物也在用各种方式实现自身的结构色。



此次研究第一次用鸟类的 Cry4 在实验上验证了自由基对假说。但其只是验证了关于动物磁感应的一个假说、一个机制，最多说是探秘，并不是真正的破解。真正的破解，需要多年的工作积累，慢慢地去阐明所有的细节。

谢 灿

中国科学院合肥物质科学研究院研究员

能通过聚合形成一个棒状的多聚体，并和 Cry4 形成复合物，就像一个小磁棒一样有南北极，是一个“生物指南针”，该研究为揭开生物“第六感”之谜提供了第二位“候选者”。

“我们这一次的研究不只是验证了自由基对假说，同时还扩展了原来这个假说的内涵。”谢灿表示，大致来说，这一假说的感磁机制可以认为是 Cry4 能结合一个叫做 FAD 的辅基。FAD 是发色基团，受蓝光激发有一个电子跃迁，然后出现一个空轨道。随后，FAD 从相邻的 4 个色氨酸中依次夺取电子，这个过程叫做电子传递，最终

破解鸟类迁徙机制仍需努力

“我们这次研究中的 Cry4 涉及动物磁感应的三种主流假说中的两种，即自由基对假说和生物指南针假说。但本次研究集中在对自由基对假说的验证。”谢灿告诉记者，这也是世界上第一次用鸟类的 Cry4 在实验上验证了自由基对假说，但不能简单地说是基于 Cry4 的这一机制或者说这一假说就完全被证明了，也不能简单地排除其他几种假说的合理性。

“就事论事，此次研究‘第一次用鸟类的 Cry4 在实验上验证了自由基对假说’，并不排除其他可能性。”采访中谢灿特意强调，最近的很多新闻报道中说此次研究“破解了鸟类迁徙的机制”，其实并非如此。这项研究只是验证了其中的一个假说、一个机制，最多说是探秘，并不是真正的破解。真正的破解，需要多年的工作积累，慢慢地去阐明所有的细节。

“对我自己来说，未来的更多研究将聚焦在 MagR 和 MagR/Cry4 的蛋白质复合物上，我们实验室关注的点是在本研究中指出的自由基

在 FAD 上产生一个单电子，在色氨酸上产生一个单电子，形成了自由基对。

“这两个电子的自旋方向受磁场影响。鸟类可能靠这个机制感磁。”谢灿告诉记者，他们最新的研究还发现了在这个电子传递链上第 4 个色氨酸对于信号传递至关重要，这是研究者在以往的自由基对假说中所不知道的。

“所以，我认为，这次的研究扩展了这个假说的内涵，使得这一假说不只是得到了验证，也得到了很大的发展，甚至指明了未来的研究方向。”谢灿说。

对这个电子传递链中，第 4 个色氨酸介导的信号传递，是不是和 MagR 有关，电子传递是不是磁受体 MagR 和 Cry4 之间信号传递和感知磁场变化的关键的机理。”谢灿表示，从自由基对假说的角度来看，这一研究结果适用于其他的迁徙鸟类。Cry 是在进化中非常保守的蛋白，Cry4 在绝大部分鸟类中都有表达，从已有的研究来看，Cry4 存在于已经研究过的鸟类的视网膜中。

谢灿直言，目前动物磁感应的机理还是一个未解之谜，并没有一个能被整个领域广泛接受的模型，无论是 Cry，还是 MagR 蛋白，都依然处在争议当中。

在谢灿看来，磁感应和生物导航原理是生命科学中引人注目的未解之谜，它可能引发物理学新模型的提出、生物学新机理的发现。随着生物导航机理的最终诠释，或将催生新一代的仿生导航仪和定位仪的出现及新一代生物磁控技术的发展。

透明是终极的伪装

前述研究中的透翅蝶要实现透明，也需要调整翅膀的微观结构，不过这次是为了使光线的散射和反射最小化。透翅蝶是如何实现完美隐身的呢？

研究人员发现，在显微镜下，透翅蝶翅膀的黑色边缘密密麻麻布满了扁平叶状鳞片，中间的透明区域则是稀疏的鬃毛状鳞片，允许光最大程度地透过。

不过，如果透明区域完全平坦，光线在空气和翅膀的交界处很容易发生反射。透翅蝶巧妙地在翅膀的透明区域覆盖了一层蜡质结构，表面凹凸不平，让空气和翅膀间的光学性质逐渐改变，最终保证尽可能多的光线通过，只反射大约 2% 的光。

人类工程师常常需要精密的设计来制造各种材料，但漫长的自然演化让动物们轻松就可以实现各种精妙的结构，这对于我们无疑非常有启发性。

比如，蝴蝶翅膀上的纳米级凹槽结构，为制造暗场成像显微镜的材料提供了灵感。而为了用光纤更有效地传输蓝光，我们可以用鸟类羽毛上发现的蓝光反射材料作为光纤电缆的内衬，确保蓝色光子不会逸出。

(据“科普中国网”)

新知

我国软 X 射线自由电子激光装置 首次实现“水窗”波段相干衍射成像

◎本报记者 王 春

近日，活细胞结构与功能成像等线站工程暨上海软 X 射线自由电子激光装置调试工作连续取得突破性进展。继实现 532 米 X 射线自由电子激光装置的全线调试贯通、带光运行后，6 月下旬，装置又首次实现了 2.4 纳米单发激光脉冲的相干衍射成像，获得了首批实验数据，并完成了对衍射图样的快速图像重建。

该成果具有里程碑意义，体现了活细胞结构与功能成像等线站工程暨上海软 X 射线自由电子激光装置整体性能的先进性，标志着我国在软 X 射线自由电子激光研制和使用方面已步入国际先进行列。

基于该成果，活细胞结构与功能成像等线站工程暨上海软 X 射线自由电子激光装置成为了国际上仅有的两个已实现“水窗”波段相干衍射成像实验的自由电子激光装置之一。

据悉，“水窗”是指波长在 2.3 纳米到 4.4 纳米范围的软 X 射线波段。在此波段内，水不吸收 X 射线，对 X 射线相对透明。但是碳元素等构成生物细胞的重要元素，仍会与 X 射线相互作用，因而水窗波段的 X 射线可用于活体生物细胞的显微成像等，具有重要的科学意义和应用价值。

在“水窗”波段，自由电子激光脉冲的峰值亮度比同步辐射高十亿倍以上，具备横向和纵向相干性，不仅能够为物理、生物、化学等学科提供革命性的研究工具，同时可为在建的上海硬 X 射线自由电子激光装置技术研发提供支撑。

作为我国首台 X 射线自由电子激光装置，上海软 X 射线自由电子激光装置由活细胞结构与功能成像等线站工程和软 X 射线自由电子激光用户装置共同构成，两个项目同步建设，有机衔接。

活细胞结构与功能成像等线站工程由上海科技大学、中国科学院上海应用物理研究所、中国科学院上海高等研究院团队共同建设，项目于 2016 年 11 月开工建设，含用户波荡器束线、活细胞成像束线、生物成像实验站、活细胞荧光超分辨显微镜站、超快物理实验站、超快化学实验站、分子动态成像实验站及实验辅助设施，预计在 2021 年内完成验收。

活细胞结构与功能成像等线站工程和软 X 射线自由电子激光用户装置由国家发展和改革委员会与上海市人民政府共同出资建设。自 2021 年 6 月 2 日首次实现生物成像实验站通光后，上海科技大学和中国科学院上海高等研究院的项目团队密切协作、昼夜调试，不断创造项目贯通调试和运行的加速度，取得了首批相干衍射实验数据，实现了数据的快速图像重组，为今后开展生物活体细胞成像、新材料动态结构分析以及多物理场原位成像等前沿科学研究打下了基础。装置拟于明年面向全世界开放运行。

此后，上海软 X 射线自由电子激光装置将与已建成的上海同步辐射光源、超强超短激光装置和在建的硬 X 射线自由电子激光装置等一起，在浦东张江构建具有全球影响力的光子科学设施集群和光子科学研究中心。



上海软 X 射线自由电子激光装置

胡蔚成摄

比以往严格 4 个数量级 新奇自旋相互作用迎新实验限定

科技日报(记者吴长锋)记者从中国科学技术大学获悉，该校中国科学院微观共振重点实验室杜江峰、荣星等，对一类速度相关的新奇自旋相互作用在微米尺度给出了当下最严格的实验限定，该成果发表在 6 月 29 日的《物理评论快报》上。

目前天文学和物理学中，暗物质及其相关物理研究是一个仍待探索的、并且极其重要的研究领域，围绕这一方向的研究能够让我们对占据宇宙比约四分之一的物质存在有更好的了解，并由此可能孕育出一系列重大的基础科学突破。粒子物理标准模型是描述微观粒子世界的一个非常成功的理论模型，但是标准模型中并不包括暗物质，需要从理论和实验上寻找超出标准模型的粒子作为暗物质的候选者。1984 年，科学家提出一种标准模型以外的新奇自旋相互作用，这种相互作用可以由标准模型以外的新玻色子诱导，譬如轴子、类轴子、暗光子等。此后一系列精密的科学实验被用于探索这些新奇自旋相互作用。

此前，杜江峰院士团队在国际上首次提出利用金刚石中氮-空位缺陷作为单自旋传感器来搜寻新奇自旋相互作用，基于该单自旋传感器搜寻极化自旋之间的新奇相互作用，给出了微米尺度最优实验限定。这些工作均以静态的新奇自旋相互作用为研究对象，充分展示了金刚石氮-空位缺陷单自旋量子传感器在微米尺度对新物理的探索能力。

在前期工作基础上，研究团队开展了一类速度相关的新奇自旋相互作用的实验探索。他们通过石英音叉带动质量源在垂直金刚石表面的方向做简谐运动，并精心设计实验序列将所要探索的新奇自旋相互作用转化成单自旋量子传感器的量子相位信息。该实验对一类速度相关的新奇自旋相互作用在微米尺度给出了新的实验限定，其中在 200 微米处的限定比以往基于铯、镱、铯原子光谱的实验结果严格 4 个数量级。

审稿人对该工作做出了高度评价：“这篇文章展示了量子测量技术与基础物理检验的联姻，对广大物理学家极具吸引力。”