DOI:10.16262/j.cnki.1000-8217.2004.06.008

·学科进展与展望·

一个交叉研究领域—动物地磁导航的研究进展

田兰香[1,2] 林 巍[2] 王毅男[1] 潘永信[2] 张树义[*1]

(1 中国科学院动物研究所行为与分子生态学实验室，北京 100080；
2 中国科学院地质与地球物理研究所古地磁实验室，北京 100029)

[摘 要] 地磁场在一些动物的长距离迁徙等活动中扮演着定向和导航作用。本文以鸟类为例，详细介绍动物地磁导航研究的主要进展，指出地磁场在鸟类归巢和迁徙活动中发挥重要的“罗盘”作用。同时提出当前地磁导航研究中迫切需要解决的两个问题。

[关键词] 地磁导航，鸟类，模型，神经生理，磁受体

众所周知，信鸽可以从离家几十、几百甚至上千公里的地方飞回家里；燕子等候鸟每年都会进行长距离迁徙；一些海龟、大麻哈鱼等每年都进行长距离洄游；多刺龙虾能够从遥远陌生地点洄游到原先捕捉地点等等。这些动物是如何辨别方向的？尤其是在茫茫的海洋上。经过前人大量的实验观测和理论研究，人们逐步认识到地球磁场可能参与了许多动物的方向定位和导航过程。

对于鸟类导航的研究始于19世纪末期。人们都为鸟类神奇的方向感所折服，开始探究是什么因素来指引鸟类的航行。地磁导航的概念最初来自两个人的猜想：Von Middendorff[1]认为迁徙的鸟类是沿着磁子午圈定向的，这意味着它们是利用磁罗盘来定向；Viguier[2]依据地磁场总强度和磁倾角，提出了针对归巢之鸟的导航“磁地图”的假说。但是这些概念很长时间都不被人们所接受，直到1968年W. Wiltschko首次实验证明欧洲知更鸟(European robins)的地磁罗盘导航[3]。这种欧洲知更鸟被捕捉的个体在其同类迁飞的期间就会表现得极不安宁，总是喜欢呆在笼子的某一边，头朝向其同类迁飞的方向；这种行为暗示它们在迁飞定向时可能使用地磁场。Emlen等[4]利用鸟类的这种特性，巧妙地设计了一种漏斗装置：将鸟类个体放入漏斗底部，漏斗顶部有网状障碍物，当鸟试图朝着某方向飞行时，它在到达顶部就必须下落，这时就会在漏斗壁的感应纸上留下爪印，便记录了该方向。实验进行一定的时间后，取出感应纸作统计学分析，确定鸟的飞行取向。目前这种装置已实现观察和分析数据的计算机自动化控制。这种装置最大的优点是可在室内操作，外加磁场可人为控制，已经成为研究鸟类迁徙活动的经典方法。W. Wiltschko利用Emlen漏斗装置，改变外加磁场的方位角，而仍保持磁场的总强度和磁倾角等因素不变，观察到鸟类会依据变化的磁场方向而相应地改变在漏斗中方向的选择。这种行为说明了欧洲知更鸟在迁飞定向时使用地磁场[5]。

磁铁干扰实验也为鸟类利用地磁场导航的结论提供了更为直接的证据。研究人员将实验分2组：一组是携带强磁性永磁铁的鸽子，对照组是携带同等重量铜块的鸽子。两组鸽子在距离巢穴很远、陌生的地点放飞。结果惊奇地发现：大部分绑有永磁铁的鸽子迷失方向而未返回鸽巢，而绑有铜块的对照组鸽子则全部都飞回鸽巢。这表明永磁铁磁场的干扰作用使得携带它们的鸽子无法识别周围地球磁场要素，导致它们无法归巢[6]。

应当指出，地磁罗盘是鸟类航行中可获得的第二罗盘。通常情况下，太阳及其偏振光是它们的首选罗盘[7]。但是当遇到阴天多云的特殊天气情况，鸟类则只能依靠地磁导航；并且无论鸟类选择使用何种罗盘，在它起飞阶段都要首先使用地磁罗盘。可见地磁对鸟类航行的重要作用。

* 2000年度国家杰出青年科学基金获得者，并获中国科学院知识创新工程创新项目资助.
本文于2004年9月27日收到.

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

鸟类是如何利用地磁导航的? Kramer[8]对鸟类归巢提出了著名的"地图-和-罗盘"(map-and-compass)模型。该模型认为鸟类归巢可分成两个基本步骤实现:首先,确定目前地点相对于鸟巢地点的地理位置,即鸟巢所在的方向,这是"地图"步骤。第二步是依据某种或多种罗盘确定回家方向的路径(类似于人们使用罗盘前进的过程)。Kramer模型已成为今天鸟类导航概念的基础。目前模型第一步中"地图"的具体构成组分仍然是争论的焦点。磁场参数、地球的自转和磁场的垂直强度、气味的特殊分布等都曾被提出作为"地图"组分。遗憾的是,上述假说都缺乏可靠的实验性数据支持。直到目前"地图"组分的本质仍不清楚,但是地磁参数构成地图部分组分的说法已经受到普遍重视。

许多的行为实验已经证明鸟类在迁徙中利用地磁导航,但是鸟类这种磁导航的具体生理机制仍不十分清楚。地磁场能够为动物所利用,说明动物体内必定有能够感受地磁变化的磁受体"magnetoreception"。目前关于鸟类导航的磁受体机理主要有两种:一种机制是依赖磁铁矿颗粒,另外一种是依赖光受体诱导形成的自由基对中间体"radical-pair intermediates"。目前支持磁铁矿机制的实验证据是:在鸟类喙的筛骨部位[9]发现的磁铁矿,而这类磁铁矿极有可能作为磁受体。此外神经解剖发现:鸟类头部的磁铁矿主要聚集在三叉神经的视神经末梢,所以磁铁矿可能是作为受体,将地磁信号通过三叉神经传导到大脑进行处理,从而感知方位[10]。但是这一假说最近受到挑战:试验证明频率大于100KHz的弱震荡磁场是不能够引起磁铁矿受体磁性排列的变化。然而Ritz等[11]在将欧洲知更鸟暴露于振荡磁场(7KHz)中观察其迁徙方向的选择时发现:当人造磁场和地磁场平行时,知更鸟会选择正常的方向;而当人造磁场和地磁场成24°或48°时,它们却迷失方向。这个结果和单线态-三线态跃迁的共振效应相一致,所以他们提出磁罗盘是依赖自由基对机制的:在通过光诱导的电子转移产生一对自由基后,地磁场就会改变自由基对自旋状态间的跃迁动力学,从而使鸟类迅速感应地磁场变化,就好像鸟类能够"看到"地球磁场。分子方面的研究进一步支持自由基对机制:叶红素群(crytochromes)被认为是最可能的光感受分子候选者。Mouritsen等[12]通过分子手段在普通鸣禽(garden-warbler)的视网膜上发现CRY1和CRY2分子的存在,同时发现garden-warbler CRY1(gwCRY1)分子多集中在特殊的细胞中,尤其是神经节细胞,而这种细胞是鸣禽进行磁定向时表现活性最高的;并且在候鸟和非候鸟中gwCRY1的表达存在显著差异。因此gwCRY1极有可能就是光诱导磁受体时所必须的主要磁感受分子。不论鸟类是通过哪种磁受体机制感受地磁信号,最终这些磁信息都要投射到具体脑区进行整合。目前没有数据明确指示磁信息整合脑区的具体位置。Bingman[13]曾首先尝试澄清一些脑区潜在作用的问题,尤其是海马组织。Němec等[14]在神经解剖学的基础上认为上丘脑部位参与地磁定向。然而确切的脑区还没定位。相信在未来将需要生物和物理学家的共同努力才能充分了解航行信息是如何获得和处理的。

目前地磁导航的研究已在雀形目的许多种类和非雀形目的候鸟中广泛展开。近几年其他种类的动物地磁定向的研究也取得了重要进展:如多刺龙虾[15]、海龟[16]、蚂蚁[17]和地下生活的瞎鼠(blind mole rat)[18,19]。目前地磁定向已逐渐被人们所接受,将来会有更多门类的动物被论证是否靠地磁场定向。

参 考 文 献

[1] Von Middendorff A. Die Isepiptesen Ru? lands. Mém Acad Sci St Petersbourg VI Ser Tome, 1859, 8:1—143.

[2] Viguier C. Le sens de l'orientation et ses organes chez les animaux et chez l'homme. Rev Phil France Etranger, 1882, 14: 1—36.

[3] Wiltschko W. über den Einflu-2 statischer Magnetfelder auf die Zugorientierung der Rotkehlchen (Erithacus rubecula). Zeitschrift Für Tierpsychologie, 1968, 25: 536—558.

[4] Emlen S T et al. A technique for recording migratory orientation of captive birds. The Auk, 1966, 83: 361—367.

[5] Wiltschko W et al. Magnetic compass of European robins. Science, 1972, 176: 62—64.

[6] Keeton W T. Magnets interfere with pigeon homing. Proceedings of the National Academy of Sciences USA, 1971, 68: 102—106.

[7] Able K P et al. Daytime calibration of magnetic orientation in a migratory bird requires a view of skylight polarization. Nature, 1993, 364: 523—525.

[8] Kramer G. Wird die sonnenh? he bei der Heimfindeorientierung verwertet? Journal für Ornithologie, 1953, 94: 201—219.

[9] Walcott C et al. Pigeons have magnets. Science, 1979, 205: 1027—1029.

[10] Fleissner G et al. Ultrastructural analysis of a putative magnetoreceptor in the beak of homing pigeons. The Journal of Comparative Neurology, 2003, 458: 350—360.

[11] Ritz T, Thalau P, Phillips J B et al. Resonance effects indicate a radical-pair mechanism for avian magnetic compass. Nature, 2004, 429: 177—180.

[12] Mouritsen H, Janssen-Bienhold U, Liedvogel M et al. Cryptochromes

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

and neuronal-activity markers colocalize in the retina of migratory birds during magnetic orientation. PNAS, 2004, 101: 14 294—14 299.

[13] Bingman V P, et al. Neuroethology of avian navigation. In: Balda R P et al. eds. Animal Cognition in Nature. San Diego: Academic Press, 1998. 201—222.

[14] Nmec P et al. Neuroanatomy of Magnetoreception: The Superior Colliculus Involved in Magnetic Orientation in a Mammal. Science, 2001, 294: 366—368.

[15] Boles L C et al. True navigation and magnetic maps in spiny lobsters. Nature, 2003, 421: 60—63.

[16] Lohmann K J et al. Geomagnetic map used in sea-turtle navigation. Nature, 2004, 428: 909—910.

[17] Acosta-Avalos D et al. Seasonal patterns in the orientation system of the migratory ant Pachycondyla marginata. Naturwissenschaften, 2001, 88: 343—346.

[18] Burda H et al. Magnetic compass orientation in the subterranean rodent Cryptomys hottentotus (Bathyergidae, Rodentia). Experientia, 1990, 46: 528—530.

[19] Kimchi T et al. A subterranean mammal uses the magnetic compass for path integration. PNAS, 2004, 101: 1105—1109.

AN INTEGRATED INTERDISCIPLINE-PROGRESS IN RESEARCH ON ANIMAL GEOMAGNETIC ORIENTATION

Tian Lanxiang[1,2] Lin Wei[2] Wang Yinan[1] Pan Yongxin[2] Zhang Shuyi[1]

(1 *Institute of Zoology, CAS, 25 Beisihuanxi Road, Haidian, Beijing* 100080;
2 *Institute of Geology and Geophysics, CAS, Beijing* 100029)

Abstract This paper introduces the key roles of geomagnetic field in animal different activities, especially in migratory orientation. In order to detailedly analyse the role of geomagnetic field in animal activity, we mainly introduces the homing and migration activity of the birds as examples. This paper indicates there are two problems needed badly to be resolved in the current geomagnetic orientation research: First, what are the true components of the "map". Second, the neurophysiological base about the geomagnetic navigation: What are the magneto-receptors and which brain areas are about functioning the geomagnetic field information.

Key words geomagnetic orientation, birds, neurophysiology, magneto-receptors

·资料·信息·

国家杰出青年科学基金实施十周年学术报告会在北京召开

2004 年 10 月 19—20 日，国家杰出青年科学基金实施十周年学术报告会在北京举行。国务委员陈至立到会并作了重要讲话。国家自然科学基金委员会主任陈宜瑜院士作了《坚定不移实施人才强国战略 努力培养和造就拔尖创新人才》的报告。参加会议的有：全国人大常委会副委员长、中国科学院院长路甬祥院士，全国政协副主席、中国工程院院长徐匡迪院士，中国科协徐善衍书记，教育部赵沁平副部长，科技部程津培副部长，人事部王晓初副部长，中国科学院院士、中国工程院院士师昌绪，财政部张少春部长助理等领导同志；国家杰出青年科学基金的历届评审委员会主任、副主任；中组部、国家发改委、人事部、财政部等有关部委的同志和来自全国各地的近 500 名国家杰出青年科学基金获得者。

开幕式后，在全国人大常委会副委员长、中国科学院院长路甬祥院士的主持下，有五位专家围绕"NBIC 会聚技术"的主题作了大会报告。五个大会报告分别是：白春礼"纳米科技发展动态与展望"，刘德培"全基因组调控网络研究：机遇、策略与展望"，郭雷"信息反馈与复杂系统"，郑南宁"认知与计算机视觉"，裴钢"NBIC 会聚技术：中国的新机遇?"。10 月 20 日，学术报告会分 7 个分会场，就"21 世纪生命科学前沿与人类健康"、"信息科学与网络技术"、"先进材料"、"面向可持续发展的资源环境与生态科学"、"工程科学前沿"、"基础科学前沿"等领域进行了专题研讨，有特邀报告 90 个，涉及众多的前沿科技问题。与会人员共同研讨国际科学发展趋势，交流科学前沿研究进展，以简朴而又隆重的方式纪念国家杰出青年科学基金实施十周年。

（本刊讯）

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net