

为中华鲟绘就『生命地图』

先后测序了超2万亿对DNA碱基，用6年『解码』亿万年的沧海桑田

本报记者 王蕊娟



染色体的保真度好，即实现了这张“地图”的精准定位。

为了推进研究，他们与合作团队定下周汇报、周讨论制度，不断挖掘新问题、分析新数据。团队成员们有着共同的认知，科研不是工程，是在一定理论基础上的试错。失败很正常，但大方向一定要正确并有意。

“十年青春，一路紧迫。”团队成员们在交流中感慨，“我们的紧迫感源于要率先绘出中华鲟的‘基因地图’，为中华鲟研究打开新局面的责任和使命。”

成图：“轻舟已过万重山”

一对DNA碱基，长度约为0.34纳米，大概是发丝直径的十万分之一，却以精确的排列组合，记录下亿万年来，中华鲟对一系列重大地球气候变迁的回应。

100个碱基，累积成一条DNA基础片段，而成千上万个片段累积成一条染色体。用10年“解码”亿万年的沧海桑田，他们将中华鲟的坚韧韧性如“基因”融入研究中，组装完成首个拥有20亿个碱基的中华鲟单倍体基因组，注释出中华鲟的3万多个基因功能。

为此，他们先后测序了超2万亿对DNA碱基，约为可观宇宙中的星系总数，是真正的“浩若星辰”。

2023年，正值DNA双螺旋结构的分子模型诞生70周年，一篇凝聚了25名作者心血的论文在线发表。他们回答了鲟形目鱼类研究领域长达半个世纪的争论——中华鲟何以成为今天的中华鲟？

研究表明，2.1亿年前和3500万年前，中华鲟祖先经历了两次染色体的加倍进化，在二倍化和全基因组加倍的双重作用下，最终形成当前的复杂八倍性。

从这一刻起，中华鲟有了独属于自己的“进化论”。

研究成果发布后，他们收到来自法国、爱尔兰、俄罗斯、阿塞拜疆等国际同行的广泛认可和来自伊朗国际鲟鱼研究所、中国科学院等科研机构合作洽谈。

“有了基础支撑，人类对于鲟鱼保护的研究，就会越来越深入、越来越精准。”王彬忠说。

70年过去，基因对大众来说，仍然是陌生而新奇的。但在他们面前，这条螺旋“阶梯”却是熟悉的、亲切的，并且正向着未来的无限可能延伸——他们构建起的“生命地图”，正超越中华鲟保护本身，回答关于鱼类演化和物种保护的问题。

生物多样性是经济社会可持续发展的根基，更是人类赖以生存、发展的根基和血脉。其中，包含了太多未解之谜，也有更多的问题迫在眉睫。轻舟过海，向蓝海而行。“这是个年轻的方向，它孕育着新的保护技术，也蕴藏着让濒危物种种群延续的潜力。”杜军军说。

中华鲟作为国家一级保护动物、水生生物多样性保护的旗舰物种，一直以来备受关注。鲟鱼个体发育、疾病防治、精细培育和良种选育等微观层面的物种保护技术亟待突破。

近期，中华鲟全基因组测序研究正式以封面论文形式登上生物信息学领域顶级学术期刊——《基因组蛋白质组与生物信息学报》。论文聚焦中华鲟全基因组测序和组装，绘制完成的首个中华鲟基因组图谱堪称中华鲟的“生命地图”，将鲟鱼保护理论和技术研究带到更广阔的研究领域，为全球生物多样性保护贡献了中国力量。“生命地图”如何绘制？记者日前走进长江生态环境工程研究中心，一探究竟。

起笔：千万万壑路不定

2023年9月，三峡集团所属长江生态环境工程研究中心对外公布，经过十年探索，完成首个中华鲟单倍体全基因组测序和序列图谱构建。

这是三峡集团中华鲟保护团队经过四十年不懈努力，在相继取得中华鲟人工繁育技术突破、子二代全人工繁育技术突破、中华鲟规模化繁育技术突破等成果的基础上，取得的又一重要标志性成果。

时间回到20世纪90年代，人类基因组计划被列入20世纪三大科学计划之一，3000名科技人员耗时13年绘制出人类的“生命地图”，开启向微观生命探索的时代。随后几年，玉米、马铃薯、油菜等经济类作物基因组序列图谱相继绘制，推进了作物遗传育种技术发展。

正如乐手携音谱曲、诗人组字成章，生物学家以基因为工具，研究生命的本质。其中，基因组序列图谱可被视为基因研究的“北斗导航”。“天上的星星参北斗”，该图谱为诸多保护技术指明攻关方向——科研人员通过在分子水平上“按图索骥”，将准确找到目的基因序列及其功能，开展中华鲟的种质精准鉴定评价、性别标记、疾病防治和精细培育等研究。

这是一项前所未有的重任。

回顾立项之时，研究团队负责人杜军军说，当时，国际学术界关于八倍体生物基因组测序的理论几乎一片空白，他们只能参考二倍体物种全基因组测序的论文，一步步“摸索着来”。二倍体生物有两组染色体，一组染色体来自父本，另一组来自母本。而同源八倍体生物则是父母本各提供四组染色体，八组染色体间相似度很高但存在一定差异。

第一关，是样本。为了降低细胞中父母本染色体间差异带来的杂合度，团队经过反复探索，终于实现卵细胞染色体翻倍，培育出世界上首批中华鲟雌核发育苗，即真正意义上的“妈宝鱼”。从一粒细胞到一条大鱼，其间几经艰辛。“怕饿着、怕热着、怕生病，工作时守着鱼池，休息时心在鱼上。总是挂念它们，吃得不多、游得好不好。”

团队成员王彬忠回忆，为寻找正常样本辅助中华鲟基因组组装，他们在一年中最冷的时候，套上厚乳胶裤，下到齐腰深的鱼池，抓鱼、安抚、体检和取样。寒冬腊月，水温只有几摄氏度，人冷得打哆嗦。

而这仅是研究的“前奏”。

最大的难题在于染色体的数量和倍性（重复程度）。如果把染色体比作由ATGC4类碱基“珠子”排成的“串珠”的话，那么每个中华鲟细胞内，就有264条“串珠”。八倍体，意味着这264条染色体分成8组，组内“珠子”量级上10亿，排列顺序看似相似，实则有差。

最终开展测序的碱基片段，来自百万至千万量级的细胞，基因组组装就相当于处理这些亿级起步的碎片“珠段”，需要扫描信息、比对相似点、重新拼接，呈现原本的“串珠”排列规律。随着项目的展开，近几年基因组组装算法不断优化，但复原如此庞大而成分复杂的“碎片”，依然极具挑战。

制图：众里寻“它”千百度

从2013年起，中华鲟研究所与曾参加人类基因组计划的华大基因公司携手，展开了一场漫长的探索。

这期间，大部分工作周期是以“年”计。2013到2015年，通过两年的摸索调研，确定以“雌核发育中华鲟”作为DNA基因组测序的样本。“雌核发育中华鲟”可被称为中华鲟的纯合体，其遗传物质全部来自母本（卵细胞），没有父本（精子）遗传物质参与，保持足够的纯净度。事实证明，这是项目日后取得成功的关键一环。

2015到2017年，以二代测序技术为主，首次尝试中华鲟全基因组测序组装，积累了宝贵的信息和经验。

2019到2021年，综合二代与三代测序技术，完成首个高质量染色体级中华鲟参考基因组序列图谱构建，并进行了基因组功能注释，即绘制出一张带有区位注释的“地图”。

2022到2023年，基于中华鲟基因组序列图谱，写下独属于中华鲟的“进化论”。

项目伊始，研究团队就明确目标，“御足助，一定啃下这个硬骨头”。由于物种基因组的复杂性和技术发展程度的限制，困难和弯路几乎伴随着整个进程。

拿拼装来说，一条DNA片段包含上百个碱基对，重复区域使组装变得复杂，碱基读取错误和缺失也难以剔除。为此，研究团队花了两年时间优化组装策略，充分验证组装后的基因片段连续性高、染

政协委员护鲸记

通讯员 苏比坚 姚佩雷 本报记者 肖亮升

边询问岛民近期布氏鲸出没的情况，一边拿出自己的手机演示布氏鲸定位操作。

2019年春节刚过，赖超云进村入户，手把手帮助岛民安装布氏鲸监测App。在她的不懈努力下，超过九成的岛民安装了App，成为护“鲸”侦察员。

经过几年数据跟踪，科考团队基本掌握了涠洲岛海域布氏鲸的迁徙路线。而北海市政协也顺应护鲸的新变化，组织涠洲岛“珠事好商量”协商议事室的进站委员在码头、景点赠阅《护鲸手册》，进学校、民宿开展科普宣传和法律宣讲，提醒船长避开“鲸出没”，大小船只“文明礼让”，游客“科学观鲸”，避免对布氏鲸造成干扰。

“国内做鲸类研究的人很少，大型鲸类曾被认为在中国大陆沿海已经绝迹，政协委员为我们和岛民间搭建了平台，为持续深入开展布氏鲸研究创造了很好的条件。”广西科学院广西北部湾海洋研究中心副研究员陈默说。说走就走，踏浪上涠洲……布氏鲸的到访不仅吸引了科研团队，也引来了众多好奇的眼光。

灵动的布氏鲸不仅成为涠洲岛生态旅游的新晋“网红”，也成为我们需要呵护和善待的“好朋友”。

如何规范观鲸行为，擦亮涠洲岛生态旅游的“金名片”？这一课题摆在众多有识之士面前。

北海市政协高度重视，各界别委员迅速行动，通过提案、大会发言、社情民意信息、全媒体协商等多渠道发声。护“鲸”音量越来越大，行动由民间到官方，由个体到群体，逐步深入。

民革界别连续三年提交集体提案，建议规范观鲸距离、船只速度以及禁入区域；

九三界别提交大会发言，建议保护好、利用好布氏鲸等海洋资源，打造海洋研学旅

游目的地；民建界别委员撰写的护“鲸”社情民意信息被民建中央采用。

布氏鲸带来的文旅效应随处可见。设在鳄鱼山景区门口的布文文创店内人潮涌动，游客们正认真挑选涠洲岛专属纪念品。店员高兴地说：“我们以布氏鲸等涠洲岛特色元素设计推出400多款文创产品，十分受游客欢迎。”

只有看见，才会爱上；只有爱上，才会行动。为了让布氏鲸带来的文旅效应可持续发展，涠洲岛管委会发出《涠洲岛鲸鱼保护及维护海洋生态环境倡议书》，呼吁游客一同爱鲸护鲸，推动生态保护和旅游发展相得益彰，着力打造美丽中国的“海岛样本”。

北海市政协连续两年将“涠洲岛海洋生态保护”作为“科教振兴 委员行动”的主要内容，通过调研视察、重点提案督办、委员讲堂等形式，推动海洋生态保护成为岛民游客的自觉行动。

委员有担当，政协有力量。市政协经建委开展“做好珊瑚礁的保护与修复”重点提案督办等；民革界别开展“护鲸行动 岛民有责”专题协商；民革界别、民建界别联合开展“科学观鲸 你有我有”专题协商；科技界委员参与海洋观察节、珊瑚生物多样性保护；法律专业的政协委员开展生态保护法律法规宣讲……

“北海市政协把‘绿水青山就是金山银山’理念深植于心，将持续聚焦布氏鲸保护等生态保护的重难点问题，深入协商谋良策，像保护眼睛一样保护生态环境，推动生态与文旅深度融合，共同绘就诗歌和远方的新画卷。”北海市政协主席毛艳琼表示。

在北海市政协的持续助力下，以原生态保护为主旨的涠洲岛生态旅游描绘了一幅人与自然和谐共生的美好画卷。



布氏鲸在海面捕食，吸引海鸟前来分一杯羹。

1000多只鹭鸟“宝宝”破壳亮相

宁海湾鸟岛迎来“出生潮”

吴立高 本报记者 鲍蔓华

近段时间，宁波市宁海县强蛟镇狗山岛鹭鸟栖息繁殖保护基地进入集中孵化期，首批1000多只鹭鸟宝宝出壳后茁壮成长，形成极为罕见的鸟岛奇观，一幅蓝湾绿岛的和諧生态画卷。

地处东亚—澳大利亚候鸟迁徙路线中段的狗山岛，面积约为4.5公顷，是候鸟南北迁徙的重要通道和理想栖息地。每年4月，岛上都会迎来络绎不绝的鹭鸟，多种鹭科鸟类在此繁衍栖息，使这里成为鹭鸟自然孵化的天堂，被当地人称为“鸟岛”。

“现在是繁殖旺季，岛上的白鹭、夜鹭、牛背鹭、绿鹭、池鹭等鹭科鸟类已进入孵化期。这几日，每天都会增添约50只鹭鸟宝宝，一出生就嗷嗷待哺，这可把鸟爸鸟妈忙坏了。”正在环岛巡护的“生态义警”王华波告诉记者，相比往年，今年鸟岛新增了大量

群鹭鸟前来安家，脖颈处栗红色的装饰羽尤其引人注目。放眼望去，鸟岛的树桩上密布着一个浅碟形鸟巢，巢穴里住满了各种鹭鸟，鸟鸣声此起彼伏。有的安稳地坐在鸟巢之中孵蛋，有的忙碌着哺育雏鸟，有的在高空上望哨守卫，成千上万的鹭鸟在岛屿上繁衍生息，万鸟翩跹和譜谐共生的画面，彰显生物多样性之美。



4月至7月是鸟岛鹭鸟的繁殖季。这段时期的鹭鸟是一年中最美的，它们会换上光鲜亮丽的繁殖羽，长出特别漂亮的矛状羽，看上去就像披上了华丽的婚纱。“蓬蓬裙”似的繁殖羽既能吸引异性，又能给鹭鸟宝宝遮风挡雨。

“从一枚鸟蛋变成一只雏鸟，大约需要23至25天，每窝孵化成功一般为2到4只，成鸟会寸步不离轮流守护。”宁海湾义务护鸟队队员、“船老大”胡胜江说，这段时间也是护鸟队最忙的时候，主要是做好鹭鸟孵化、育雏的各项监测和保护工作，确保这些鹭鸟宝宝安全度过哺育期。

“雏鸟出生后，食量非常大，一个月内都不会离巢活动，这期间全靠成鸟投喂。”护鸟队员钟旺说，宁海湾水域环境良好，丰富的鱼虾、贝螺、浮游生物等食物资源，是鹭鸟群选择在此繁衍生息的主要原因。

环境好不好，鸟儿来投票！近年来，鸟岛上鹭鸟数量和种类逐年增加，除了当地大力推进生态湿地修复与生



物多样性保护外，同时组建起由党员团员、民警民兵、渔民船老大、群众志愿者组成的义务护鸟服务队，常态化开展候鸟监测、巡查管护、科普宣教、捡拾海漂垃圾活动，生物多样性保护工作取得了明显成效。

“生态环境好了，观鸟拍鸟的游客多了，我们的旅游生意也更火了。”胡胜江笑着说，靠海吃海、靠山吃山，现在明白为什么说“绿水青山就是金山银山”了，这些可爱的精灵成了大自然馈赠给人们的一笔独特财富，爱鸟护鸟也成为村民们的共识。如今，宁海湾义务护鸟队成员由最初的12人增至153人，当地鹭鸟种群和珍稀鸟类的“朋友圈”不断扩大。预计到今年7月底，鸟岛上将再添3000多只鹭鸟宝宝，8月初开始就会有鹭鸟陆续迁徙飞离，还有一部分会留下来，成为鸟岛的“永久居民”。