

三代科研人守护一江碧水

中青报·中青网见习记者 崔文瀚
记者 李瑞璇

近日，农业农村部会同水利部、生态环境部、交通运输部联合发布《长江流域水生生物资源及生境状况公报（2024年）》。公报指出，长江流域水生生物资源恢复态势总体向好，完整性指数持续提升。

长江能有今天的江水澄澈、鱼跃鸛飞、珍稀物种重现的局面，来之不易。中国科学院水生生物研究所副所长胡炜在接受中青报·中青网记者采访时说，曾几何时，随着沿线经济取得巨大成就，长江在生态方面也付出了代价；厂污水横流、码头砂石飞溅、水质持续恶化。长江“双肾”洞庭湖和鄱阳湖频频干旱见底，近30%的重要湖库富营养化，长江生物完整性指数一度达到最差的“无鱼”等级。

2020年，农业农村部发布关于长江流域重点水域禁捕范围和时间的通告，开始全面推进长江十年禁渔。为什么要坚定不移地推动长江十年禁渔？科研人员在长江保护中有哪些动人的故事？十年禁渔过半，至今成果如何？

遗憾的挽歌

水生生物的历史是一曲满是遗憾的挽歌。

1980年1月11日，中国科学院水生生物研究所（以下简称“水生所”）工作人员接到电话得知，渔民抓到了一条“怪鱼”。根据描述，水生所的科学家猜测这是一头被誉为“长江女神”的白鱀豚。

工作人员连夜赶到现场后发现，白鱀豚脖颈处已被铁钩穿透，性命危急。如此严重的伤势让前来诊断的兽医都表示无可奈何，但是水生所的科学家不愿放弃，坚持采用中西医结合的方式治疗。终于在不懈努力下，经过4个多月的救治，它逐渐康复，并由水生所饲养至自然死亡。

当时的水生所所长、著名鱼类学家、中国科学院院士伍献文和当时的副所长胡鸿钧给该白鱀豚命名为“淇淇”。一方面，白鱀豚的生活范围逐渐缩小，种群数量不断减少。2006年，我国组织开展第一次长江豚类国际联合考察，由水生所主持，科考队来自自7个国家的科学家等人员组成，采用当时国际上最为成熟的考察方法，使用了最为先进的仪器设备，对长江豚类分布的宜昌以下长江中下游干流水域进行了一次全面系统的调查。

“淇淇”在水生所与众多科学家一起生活了22年185天，是唯一一头被人类长期饲养的白鱀豚，也是人类在世界上见到过的最后一头活体白鱀豚。它为白鱀豚的行为学、血液学、生物声学、人工饲养、疾病诊断与防治等研究提供了大量宝贵资料。

2002年7月14日，“淇淇”在水生所孤独终老，被制作成标本。如今，在“淇淇”标本的脖颈处，仍能见到当年伤口愈合后残留的白色疤痕。

水生所鲸类保护生物学研究组组长、研究员郑劲松介绍，由于长江的生态环境日益恶化，白鱀豚的生活范围逐渐缩小，种群数量不断减少。2006年，我国组织开展第一次长江豚类国际联合考察，由水生所主持，科考队来自自7个国家的科学家等人员组成，采用当时国际上最为成熟的考察方法，使用了最为先进的仪器设备，对长江豚类分布的宜昌以下长江中下游干流水域进行了一次全面系统的调查。

其中一位美国鲸类学家坚持请假来到中国参加联合考察，他尚未见过的活体鲸类物种，白鱀豚是其中之一。此行，他抱有很高的期待希望能见到“长江女神”，但是直到调查结束，科学家们并未见到一头白鱀豚，只得抱憾而归。

基于此次调查，2007年，白鱀豚被宣布为功能性灭绝，种群再无自然恢复的可能。

与白鱀豚类似的还有长江鲟。作为典型的洄游性鱼类，它们需要通过洄游寻找产卵场。而受长江流域水利工程建设、航运发展等影响，长江鲟生境不断被压缩，自然种群数量从20世纪70年代开始急剧下降。2000年后，科研人员在全长江段再未发现自然繁殖的幼鱼。2022年，世

中青报·中青网记者 张 茜
实习生 刘 璇

近日召开的国务院常务会议讨论并原则通过《中华人民共和国耕地保护和质量提升法（草案）》。会议指出，坚持耕地数量、质量、生态一体保护，综合施策持续恢复和提升耕地生态功能，确保永续利用。

这个消息让中国农业大学教授、中国工程院院士张福锁团队很振奋。前不久，该团队刚刚在《科学》杂志发表重要研究成果《调控植物—土壤反馈，推动农业可持续发展》，强调种地不能“头疼医头，脚疼医脚”，要把目光转向土壤健康。

民以食为天，耕地是粮食生产的“命根子”。张福锁在介绍课题研究背景时表示，团队曾对华北平原小麦—玉米轮作体系长期定位试验的105个数据点进行了数据统计测算，由于土壤问题，当前每公顷耕地存在约1.5吨的隐形粮食损失。

为何“丢了”这么多粮食？张福锁表示，是由于“作物—土壤负反馈”。当前集约化农业生产不合理管理造成各种土壤



①② 7月29日，在中国科学院水生生物研究所白鱀豚馆，人工饲养的长江江豚正在游曳。
③ 7月28日，中国科学院水生生物研究所助理工程师何雨琦等科研人员测量和记录鱼类数据。
④ 7月28日，中国科学院水生生物研究所研究人员采集的鱼类幼苗样本。

界自然保护联盟（IUCN）宣布，长江鲟野外灭绝。

胡炜介绍，白鲟、白鱀豚等珍稀水生生物功能性灭绝，中华鲟、长江江豚极度濒危，“长江三鲜”中的鲟鱼已难觅踪迹，刀鲚被炒为天价，“四大家鱼”资源大幅衰减。根据水生所主导的长江豚类考察，2006年江豚约有1800头，2012年仅剩1000头左右，比大熊猫还要少，如果不及时采取有效的保护措施，长江江豚自然种群可能在未来15年左右从长江消失。

2020年，长江十年禁渔启动。

三代科研人守护长江

中国科学院院士、鱼类生物学家曹文宣已经91岁高龄，仍对母亲河的保护心心念念。在他的带领下，一批批研究人员前赴后继，奋战在保护长江的一线。

早在2006年，曹文宣接受采访时就曾公开提出长江长期禁渔。2007年首届长江生物资源养护论坛，曹文宣联名14位院士倡议保护长江生物，建议长期全年禁渔。

在科研的路上，曹文宣曾连人带车滚落泥塘；在无人的夜晚，与跳蚤同床而眠；无数次下河抓鱼，曾染上血吸虫病；长期直面高原强紫外线，一度患上严重的白内障，眼睛几近失明。他说过：“做科研工作，既要有激情，又要有耐心。”

导师曹文宣的话，水生所副研究员刘飞始铭记在心中，他已在赤水河一线工作了17年。

赤水河是长江上游珍稀特有鱼类国家级自然保护区的重点区域，对于构建长江上游生态安全屏障具有重大意义。

第一次踏入赤水河畔，眼前的科研场景颠覆了刘飞对“实验室”的想象。临时租住的民房里，塑料盆、水桶一字排开，养着刚捕捞的鱼苗，科研前辈蹲在地上记录数据，裤脚沾满泥浆。

然而，正是这种“接地气”的科研方式，让他为前辈脚踏实地的工作态度所触动。从20世纪90年代起，水生所科研人员长期驻扎于此，调查、监测、育苗。获取了大量一手观测数据和标本资源。这些数据和标本持续完整记录了河流的鱼类资源及生态变化。

在曹文宣的带领下，刘飞开始参与赤水河鱼类资源调查。傍晚和渔民出去放网，凌晨收网回来测量相关数据，每年几个月的“与世隔绝”形成了“搞生态必须到野外去”的朴素理念，他说：“数据不会说谎。”

近两年刘飞团队也迎来了新鲜血液。“495，413。”一名科研人员穿着印有水生所标识的红背心，对刚捕获的鱼类样本进行测量，并报出这串数字，另一名科研人员拿着笔迅速记录。

做记录的女生是95后何雨琦，2023年从贵州大学毕业后，就来到刘飞团队，担任水生所赤水河站助理工程师。

做科研并不轻松，身材娇小的何雨琦“一年有一多半的时间在外面跑，在整个赤水河做调查”。他们在赤水河设置了近200个监测点，下网、收网、测量，每天可以完成一两个观测点的测量工作。

何雨琦对于水生生物研究有十足的热情，常会研究不同鱼类之间的细小差别。被问到做科研累不累，何雨琦坦言“确实累，但是发现少见的鱼类时，会很开心”。

同样入职不久的还有95后水生所赤水河站助理工程师孔秋宏，他负责赤水河站内设备的维护。为了保护容易受惊的鱼苗，他贴心地在养鱼的桶上包裹上渔网；为了防止水温太高，他在室外的鱼池上罩了一层遮阳布。

水生所赤水河站在室外设置了几十个鱼池，用于养殖珍稀鱼类。鱼池的养护不容易，每隔一段时间玻璃上就会布满水藻，为了给鱼儿提供良好的环境，孔秋宏会把每一个鱼池刷干净，一天能刷两三个。刷完一遍，水藻露头，他便开始下一遍。看到鱼池中的鱼儿游来游去，孔秋宏认为这份工作很有成就感。



①② 7月29日，在中国科学院水生生物研究所白鱀豚馆，人工饲养的长江江豚正在游曳。
③ 7月28日，中国科学院水生生物研究所助理工程师何雨琦等科研人员测量和记录鱼类数据。
④ 7月28日，中国科学院水生生物研究所研究人员采集的鱼类幼苗样本。

孔秋宏拍一拍鱼池的玻璃，鱼儿便靠近玻璃转两圈，池中江水浑浊，而玻璃却干干净净。

像何雨琦和孔秋宏一样的年轻人还有很多，他们奔走在长江江畔，深度参与“十年禁渔”中的各项工作，为保护母亲河贡献青年力量，让青春与长江共澎湃。

十年禁渔下的物种“重生”

在水生所白鱀豚馆中，6头长江江豚在池中游曳。水生所经过近30年努力，构建起人工环境下长江江豚饲养繁殖技术体系。

白鱀豚馆1996年开始突破长江江豚人工饲养技术，2005年首次实现长江江豚在人工饲养环境下的成功繁殖，目前已成功繁育3头二代长江江豚。鲸类保护生物学研究组研究员王克雄介绍，长江江豚是处于长江生态系统食物链顶端的哺乳动物，对环境变化十分敏感，他们的数量直接反映了长江生态系统的健康程度。

水生所近期发表了一篇文章，通过总结归纳近年来提及长江江豚的诗词，发现随着时间推移，长江江豚的分布范围越来越小，直至2017年江豚数量跌至1012头，分布范围缩至最小。但随着长江十年禁渔的全面开展，以及水生所科研人员长江江豚保护工作的推进，2022年调查时，长江江豚数量回升至1249头，是有记录以来第一次止跌回损。“十年禁渔有了成效，长江江豚数量增加也反映了长江生态系统正在逐步改善。”王克雄说。

十年禁渔已过半，除了长江江豚保护，在珍稀鱼类的保护、鱼类资源恢复等方面都有了成果。

水生生物多样性保护与利用研究室主任、赤水河站站长、研究员刘焕章介绍，长江干流江段资源有了明显恢复。以宜宾的长江干流为例，各种鱼类的日均单产量，从20世纪初到禁渔以前都在低位徘徊，在禁渔以后有了明显上升。“当地百姓普遍反映长江的鱼多了不少。”

刘焕章介绍，禁捕后，不少鱼类平均体长、体重有了不同程度的增长，比如赤水河优势种中华倒刺鲃和白甲鱼的平均体重增加了两倍；鄱阳湖16种主要鱼类的平均体长增加了8.88%–66.05%，平均体重增加了14.66%–265.17%。并且四大家鱼繁殖规模显著提升，长江中游宜昌江段四大家鱼产卵规模2021–2024年年均增幅为1.97倍。

与此同时，在贵州省赤水市复兴镇河段大鱼坝水域，科研人员见到了许久未在长江出现过幼鱼——长江鲟。

刘飞介绍，从2020年起，云南、贵州、四川三省对流域内小水电开展清理整改，为珍稀鱼类提供适宜栖息和繁殖的环境。2023年和2024年，贵州农业农村部门分两批向赤水河放流了近2000尾长江鲟。

今年4月13日，科研人员在野外采集到长江鲟鱼卵，4月16日采集到鱼苗。经过对鱼苗的亲子分析鉴定，有5尾雌鱼、8尾雄鱼参与繁殖。这一被宣布野外灭绝的生物终于重新出现在长江江畔，长江鲟保护工作取得重要突破。

“监测样区的鱼类资源量和繁殖状况也明显改善。”刘飞介绍，禁渔前5年在赤水河断面采集到的鱼类早期资源物种数量为31种，禁渔5年后增加至45种。

但是，一些珍稀鱼类仍然恢复得比较慢，其中就包括有“活化石”之称的中华鲟。

本文图片均由中青报·中青网见习记者崔文瀚拍摄

徊，在禁渔以后有了明显上升。“当地百姓普遍反映长江的鱼多了不少。”

刘焕章介绍，禁捕后，不少鱼类平均体长、体重有了不同程度的增长，比如赤水河优势种中华倒刺鲃和白甲鱼的平均体重增加了两倍；鄱阳湖16种主要鱼类的平均体长增加了8.88%–66.05%，平均体重增加了14.66%–265.17%。并且四大家鱼繁殖规模显著提升，长江中游宜昌江段四大家鱼产卵规模2021–2024年年均增幅为1.97倍。

与此同时，在贵州省赤水市复兴镇河段大鱼坝水域，科研人员见到了许久未在长江出现过的幼鱼——长江鲟。

刘飞介绍，从2020年起，云南、贵州、四川三省对流域内小水电开展清理整改，为珍稀鱼类提供适宜栖息和繁殖的环境。2023年和2024年，贵州农业农村部门分两批向赤水河放流了近2000尾长江鲟。

今年4月13日，科研人员在野外采集到长江鲟鱼卵，4月16日采集到鱼苗。经过对鱼苗的亲子分析鉴定，有5尾雌鱼、8尾雄鱼参与繁殖。这一被宣布野外灭绝的生物终于重新出现在长江江畔，长江鲟保护工作取得重要突破。

“监测样区的鱼类资源量和繁殖状况也明显改善。”刘飞介绍，禁渔前5年在赤水河断面采集到的鱼类早期资源物种数量为31种，禁渔5年后增加至45种。

但是，一些珍稀鱼类仍然恢复得比较慢，其中就包括有“活化石”之称的中华鲟。

刘焕章介绍，中华鲟每年可以繁殖两次，2003年，科研人员发现中华鲟繁殖次数缩减为每年一次。2017年，随着长江的自然环境变化，至今未发现野外繁殖。即便已经进行大规模的中华鲟放流，这个情况也并没有得到改变。

根据这个情况，刘焕章表示，要坚定不移推进长江十年禁渔，对珍稀鱼类加强人工干预，比如进行人工放流、栖息地修复等。“把自然的长江还给水生生物，是最好也是最有效的保护。”



双黑洞在超大质量黑洞附近并合想象图。
上海天文台供图

科学大爆炸

中青报·中青网记者
张 渺

嘿！你以为看见宇宙中神秘的双黑洞共舞就很震撼了？那可要能刷新一下认知了。

并合的双黑洞背后，还藏着更隐秘的“大佬”。中国科学院上海天文台科研人员最近在引力波天文学领域取得了突破性发现：双黑洞并合事件可能发生在第三个致密天体的“眼皮子底下”。

这一发现为揭开双黑洞的形成之谜提供了全新线索，相关成果于近日发表在国际天文学学术期刊《天体物理杂志快报》上。

自2015年人类首次探测到引力波以来，人类就仿佛握住了聆听宇宙深处心跳的钥匙。相关领域的科学家们作为宇宙的“忠实听众”，迄今已捕捉到超过100次引力波事件，其中绝大多数来自双黑洞并合。这些来自宇宙彼端的轰鸣，供人类探索双黑洞并合前最后的“宇宙双人舞”，提供了理解其物理过程的宝贵线索。然而，这场壮丽演出的幕后，双黑洞如何诞生？又如何一步步共舞直至并合湮灭？这依然是横亘在科学家面前的巨大谜题。

“2018年，我和合作者首次提出了b-EMRI，就是由一个超大质量黑洞抓住一对双黑洞，形成一个‘三人组’，双黑洞在超大质量黑洞附近‘跳舞’，进而辐射多频段的引力波。该系统在国际上被LISA计划写入白皮书，也被中国空间引力波探测计划列为独特波源。”此次成果论文通讯作者、上海天文台引力波团队负责人韩文标研究员说。

科研团队从2018年起，就已经开始从引力波数据中寻找双黑洞在超大质量黑洞附近并合的证据。经过分析，团队把目标瞄准了引力波事件GW190814。

“GW190814的两个黑洞挺不一般，其质量大小差了快10倍。这么悬殊的组合可能是它们曾和一个超大质量黑洞组成‘三人组’，在彼此的引力拉扯下越靠近；也有人认为它们诞生在活动星系核的吸积盘里，被周围其他致密天体的引力推搡着慢慢靠近，最终并合。”论文的第一作者杨舒程说。

研究团队敏锐地观察到，当双黑洞在第三个致密天体附近并合时，它环绕第三个天体的轨道运动会产生一种关键效应“视向加速度”，即沿观测者视线方向的加速度。这种加速度会通过多普勒效应调制引力波的频率，从而在探测信号中留下独特的“加速度印记”。

为了精准捕获这一微妙信号，团队创新性地构建了一种新型引力波波形模板，其中直接融入了视向加速度的影响。基于这一模板，他们应用贝叶斯推断方法，系统分析了多个高信噪比双黑洞事件的引力波数据。

结果显示，对于著名的GW190814事件，包含视向加速度的新模型表现显著超越传统的“孤立双黑洞”模型。

“这是国际上首次在双黑洞并合事件中发现第三致密天体存在的明确迹象。”韩文标说，“这一发现意味着，GW190814的双黑洞可能并非孤立形成，而是处于一个更复杂的引力系统中，在揭示双黑洞形成通道方面具有重要意义。”

研究团队表示，随着下一代地面引力波探测器和空间探测器投入使用，人类将能更精确地捕捉引力波信号中的细微变化，未来可能会发现更多类似GW190814的事件，帮助人类理解双黑洞的形成演化机制。

张俊伶表示，当前以追求高产为目标的集约化农业过度依赖高产品种和外源投入，植物-土壤互作关系被削弱，造成系统负反馈作用加大，而正反馈作用减少，土壤退化严重，土壤健康现状恶化。

张俊伶说，由于长期忽视土壤健康，在面对农业生产实际问题时多采用“快餐式”，“头疼医头，脚疼医脚”的片面解决方式，土壤生态系统失衡，土壤多功能性难以发挥，严重威胁耕地质量和农业绿色发展。因此团队在此次研究中提出农业转型要扎根大地，“低头”关注土壤健康。

“不能光看一茬的产量，还要看长远的整体效应；不能只管作物，还得看护好土壤。”张俊伶说，“我们希望大家从‘朝上看’，转向‘朝下看’，要扎到土里去；希望大家不仅仅是看短期的作物产量，更要着眼于长远的健康土壤培育。”

近些年，张福锁在走访全国各地的农田时，观察到地方农业部门对“改土”的需求日益增长。研究团队提出了未来农业科学研究的重点方向，他们希望构建作物高产与土壤健康协同提升的长效机制和管理策略，支撑农业系统的气候韧性等。

破解负反馈 粮食增产有新招

健康问题，如压实引起土壤结构变差，土壤化学性状的变化包括土壤酸化、盐渍化、土壤生物活力降低，生物群落失衡等，导致土壤内在效率下降，作物容易染病，对气候变化的抵抗力下降等。他说：“一亩地100公斤的隐形产量损失，我们应该拿回来。”

中国农业大学副教授王光州和中国农业大学教授张俊伶告诉中青报·中青网记者，在这项研究中，团队基于前期研究进展及科技小院16年来生产一线的实践积累，结合团队近年来在根际生命共同体理论研究方面的进展，将生态学研究发展中较快的“植物—土壤反馈”思想引入农田生态系统，提出了作物高产与土壤健康协同的系统化研究范式。

张俊伶和王光州指导的学生，在田间地头的科技小院驻扎时，发现“改土”确实可以增产。

博士生栾冬冬2020年进入课题组时，在河北曲周的麦田里，看到大片即将灌浆成熟的麦子里，有不少麦穗提前枯白、干瘪。“这是小麦患上了茎基腐病。”他说，这种由土传病原真菌—镰刀菌引起的病害，能够侵染小麦茎基部，导致茎基部腐烂、植株早衰，甚至颗粒无收。不仅如此，这种病害还会产生有毒的脱氧雪腐镰刀菌醇等，威胁粮食安全和人畜健康。

他说，研究显示茎基腐病的病因有很多，具体到曲周这片土地，团队分析，这里冬小麦和夏玉米收获后大量秸秆还田，改变了土壤微生态环境，促进了有利于病原菌生长的微生物的富集，成为引发小麦茎基腐病的关键原因。

为了找到一种有益菌和病原菌进行斗争，栾冬冬长期在田里、实验室两头跑。去田里把患病的小麦样品和土壤样品取

回，在实验室里筛选土壤，分离出微生物。而后培养微生物、鉴定微生物，再将潜在的“对手”微生物和引发茎基腐病的病原菌进行功能拮抗试验，验证其是否发挥了抑制病原菌的作用，从而制备能够抑制病原菌的有益菌剂。

在实验室中寻找有益菌的过程虽然繁琐，但和在酷暑里下地喷洒生防微生物菌剂比起来，却还不算辛苦。栾冬冬说，同学们和老师经常是下午两点就带上菌剂，顶着火辣的头出门，在田里一直忙到晚上七八点。

经过4年的筛选与验证，栾冬冬和团队成员初步研制出了一种生防微生物菌剂。他说，团队2024年在曲周建立了总面积近5亩、由16区块组成的试验田，田块中应用生防微生物菌剂的结果令人欣喜：小麦茎基腐病发病率显著下降，根际土壤中病原菌丰度下降超过25%，平均每

亩小麦增产近17%。

和栾冬冬相似，博士生倪刚在山东东营的盐碱地上种小麦和玉米，检验土壤中的微生物对作物的影响。

倪刚告诉中青报·中青网记者，他们从2021年开始，在山东东营的8亩地试验田上，每年6月播种玉米，10月收获，玉米收获后再播种冬小麦，来年6月收获。在这个轮作的过程中，他和同学们一起提取玉米、小麦根际的微生物进行研究，研制出有益于作物生长的微生物菌剂，并在大田试验的基础上验证菌剂效果。

“上个月，我们刚收获了微生物菌剂试验的冬小麦。”倪刚说，目前，与不施加微生物菌剂的处理相比，施加微生物菌剂试验田的冬小麦增产了约30%。

研究人员由此发现，土壤对于作物的影响远比想象中大，而土壤健康似乎还没有得到应有的重视。