

因共此青绿

独特的喀斯特地貌、古穆幽深的林莽、色彩斑斓的湖泊，中国九寨沟凭借瑰丽的自然景观、丰富的生物多样性，被联合国教科文组织列入世界自然遗产名录。万里之外的欧洲，有一处整体景观与九寨沟十分相似的世界自然遗产地——克罗地亚普利特维采湖群国家公园（以下简称“普湖公园”）。

普湖公园和九寨沟一样，以罕见的冷水钙华景观著称，极具科研与保护价值。清澈湛蓝的湖群，仿佛镶嵌在亚欧大陆两端的“蓝宝石”。过去10余年，中国科学院成都生物研究所与克罗地亚萨格勒布大学团队深度合作，以两处自然遗产为主要研究对象，围绕自然遗产地生态保护、生物多样性保护等领域开展联合研究，取得一系列成果。

成立联合实验室 保护“姐妹”世界自然遗产地

清晨，雪后初霁，四川九寨沟宁静得仿佛可以听见冰晶凝结的声音。碧水彩林与白雪交相辉映，令萨格勒布大学教授娜塔莎惊叹不已。为了考察钙华景观保护项目，她特意从克罗地亚赶来，与成都生物研究所副研究员类延宝一道调研。

克罗地亚普湖公园也有喀斯特冷水钙华地貌，湖水在阳光下呈现出通透的蓝绿光泽，乳白色的沉积体在水中泛着微光。这些不断“生长”的地貌景观，正是两国科研人员研究的对象。

“这类由钙华形成的自然景观及其湖泊体系在克罗地亚分布广泛，在中国四川喀斯特地区同样很典型。”克罗地亚科学与艺术学院院士姆拉登·尤拉西奇说，10余年来，中两国科学家围绕喀斯特河流中广泛存在的钙华景观持续开展合作研究。

2009年，时任成都生物研究所所长吴宁访问克罗地亚，结识了萨格勒布大学教授安杰尔卡·普伦科维奇-莫拉伊。普湖公园和九寨沟先后于1979年和1992年被联合国教科文组织列入世界自然遗产名录，2006年结为“姐妹”世界自然遗产地。吴宁意识到，二者都属于世界上最独特的喀斯特冷水钙华景观，都面临着生态保护和科学管理问题，双方开展交流合作是水滴集成的事情。

“在生物多样性保护领域，中两国具有互补性。”普湖公园保护与可持续利用部主任卡齐米尔·米库利尼奇对本报记者说，“作为地中海国家，克罗地亚以水生生态系统研究为优势，在湿地修复、海洋保护及濒危物种保护方面经验丰富；中国以大规模生态修复、退化林草恢复及濒危物种保护等陆生生态系统保护见长。”

2019年，成都生物研究所与萨格勒布大学合作成立中国—克罗地亚生物多样性和生态系统服务“一带一路”联合实验室，这是中欧间唯一以生物多样性保护为主题的“一带一路”联合实验室。克罗地亚驻华大使达里欧·米海林说，联合实验室显著加强了两国科研机构间的合作，取得了一系列具有国际影响力的成果，成为不同国家携手保护世界自然遗产的典范。

人工苔藓繁育 为震后九寨沟覆绿超百亩

2017年8月8日，一场7.0级地震给九寨沟造成了近30处地质灾害“伤痕”，震后生态修复成为一场旷日持久的“技术硬仗”。作为克方团队带头人，安杰尔卡于11月联系成都生物研究所生态环境修复中心副主任孙庚，奔赴九寨沟景区开展重建和恢复工作。

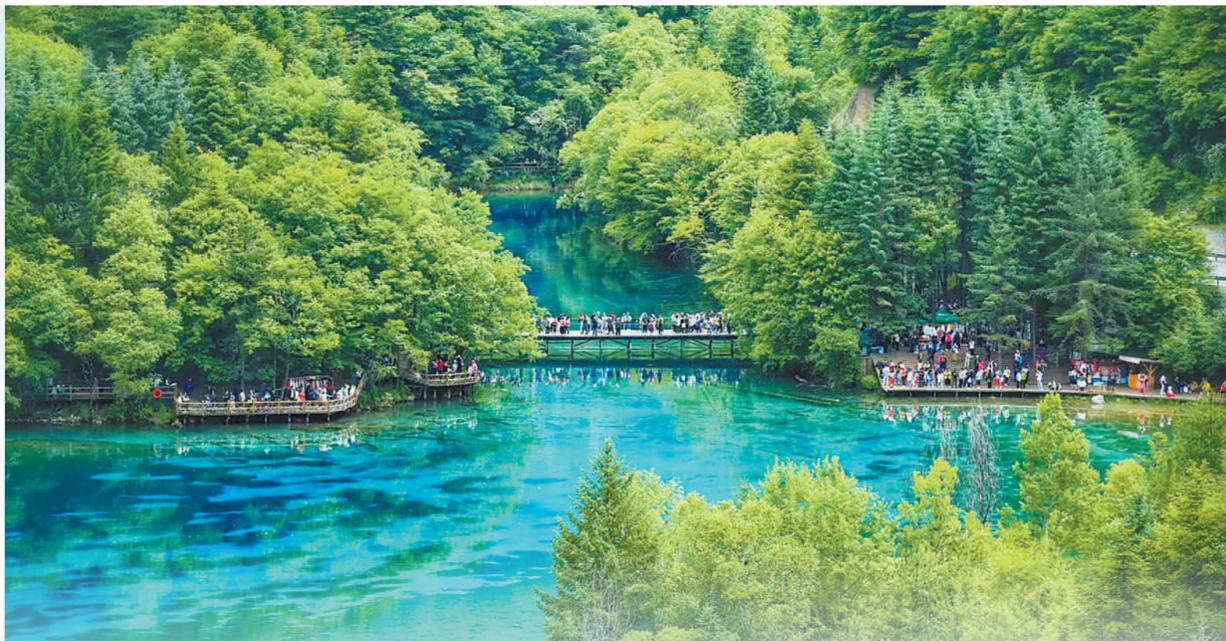
地震让九寨沟内山体形成大块裸岩边坡，面积足有5000多亩。岩石裸露，植被缺失，暴雨来时，泥沙容易被冲入湖泊中。“九寨沟的水若是进了有机质，容易富营养化，藻类大量繁殖，影响水的透明度。”孙庚解释说，植被修复刻不容缓。

在裸岩上覆绿，只能移栽苔藓。经过反复论证，成都生物研究所团队决定采集并开展人工苔藓快速繁育。“在筛选和繁育上，多亏克方团队的帮助。”孙庚说，安杰尔卡团队研发了叶绿

同为冷水钙华景观，从九寨沟到普湖公园，中克科研人员携手——

共同守护亚欧大陆两端的「蓝宝石」

本报记者 刘仲华 游仪



▲游客在九寨沟景区五花海游览。九寨沟风景名胜区管理局供图  
▲九寨沟景区五花海全景。九寨沟风景名胜区管理局供图  
▼在九寨沟景区，安杰尔卡·普伦科维奇-莫拉伊教授(右一)指导成都生物研究所团队成员采集湖泊水样。孙庚摄



的裸岩边坡近自然修复技术体系。

如今站在九寨沟箭竹海岸边远眺，湖水澄澈碧绿，枯木清晰可见，美不胜收。上游不远处的峭壁上，青绿苔藓紧覆岩石表面，这里是孙庚团队开展苔藓修复的点位之一。

“裸岩位置不同，覆绿方法也有区别。你瞧，这儿是峭壁，就得用喷播技术，垂直进行苔藓生态补偿；有泥土的地方，就能结合草籽覆绿。”孙庚指着山上的点点绿意说，为了进行苔藓修复，他和团队成员经常要在沟内驻点，一待就是两三个月。

中克两国科研人员克服资金不足、地质条件不稳定和高陡山体施工等多重困难，努力完成修复工作，截至目前，九寨沟受地震影响产生的裸岩边坡近自然修复技术体系，不仅应用于九寨沟，也在包括川藏铁路无基质工程创面植被等其他生态修复工程中得到应用。

破解“蓝湖之谜” 美景保护有了科学坐标

中克科研人员忙碌的身影同样出现在普湖公园的木栈道上、溪水旁边。他们共同修复出现细微裂缝的钙华坝，合作测量湖水悬浮颗粒物和碳酸钙微粒浓度变化。“钙华不是静止的岩石，而是可以‘生长’的活体系统。”参与项目的类延宝介绍，“我们的目标是帮助它自我恢复。”

这套修复思路，源自九寨沟震后恢复诺日朗瀑布和火花海钙华景观形成的原创技术——通过微环境调控与生物促进沉积相结合，使钙华自然再生长。如今，这一“近自然修复”方法经联合实验室引入普湖公园，成为公园内钙华景观保护的重要手段。

米海林说：“克中联合科研团队首次系统阐明了冷水钙华形成的生物学机制，共同建立了



统一的水质评价体系，并推动了高光谱无人机生态监测技术的发展，充分展示了两国联合科研在实践层面的示范价值。”

普湖公园由16个主要湖泊组成，面积近300平方公里。过去，湖水质量监测要靠人工取样，到湖边取水拿回实验室分析，一次检测需要数小时甚至更久。如今，使用中方团队的无人机影像采集与湖泊水质参数高光谱监测技术，只需十几分钟即可完成整片湖区扫描，实现对湖泊水质的快速、无扰动监测，有效解决了人工取样费时费力、精度受限的问题。

米库利尼奇解释说，钙华景观在地质学上属于极年轻的地质构造，形成速度很快。钙华地貌经常受到人类活动的破坏，可能骤然停止生长，或因侵蚀而消失，平衡旅游与保护非常必要，科学管理才能让世界自然遗产永续保存。

游览九寨沟和普湖公园，最吸引游客的就是蓝色的湖水。中克团队联合研究证实，水体中0.1—0.45微米的碳酸钙钙华颗粒是湖泊呈现蓝色的原因，成功破解“蓝湖之谜”。这一发现揭示了湖水呈现蓝色的物理化学机制，使水质监测、游客承载力控制和景观修复从经验判断转向数据驱动的精细化管理，为世界遗产地的可持续旅游提供了可复制的范式。

共育科研成果 科研合作促进民心相通

近两年，中克双方科研人员互派交流日益增多，其中克罗地亚科学家来华访问17人次、334天，中方科研人员出访克罗地亚20人次、102天。联合实验室还合作培养了一批国际科研人才，其中包括两名到成都学习进修的克罗地亚博士生。

“科研合作的意义，不仅在于解决具体问题，更在于促进民心相通。”谈及与萨格勒布大学和安杰尔卡教授的合作，兼任联合实验室常务副主任的孙庚深有感触，“国际科研合作是当今世界发展的重要力量，不仅可以促进国家和地区间的经济发展，还可以深化多元文化交流。我们希望与克罗地亚加强在生物多样性保护方面的合作，并以此为契机进一步深化民心相通与文明交流互鉴。”

从保护地生态保护到生物多样性形成与保育，从作物基因改良到特色生物资源开发，联合实验室汇聚起两国科学家的力量。克罗地亚科学教育与青年部部长拉多万·富奇斯认为，克罗地亚在生物多样性保护方面的经验与中国在环境监测、新技术方面的优势互补，助力双方共同应对气候变化、环境污染等全球性挑战，为促进人与自然和谐共生提供实践范例。

成都生物研究所与萨格勒布大学等机构共同推动成立世界钙华自然遗产研究与保护联盟，发表20余篇联合学术论文，共同编写的《九



▲克罗地亚普湖公园保护与可持续利用部主任卡齐米尔·米库利尼奇在中国黄龙国家自然保护区采集水样。受访者供图

寨沟自然保护区硅藻图鉴》2023年出版。截至2024年，联合实验室的相关合作研究获批发明专利10余件。

“这些成果充分表明克中双方追求卓越的科学态度与对彼此的持续支持，我对克中生物多样性合作的未来充满信心。”米海林对克中合作取得的科研成果甚是欣喜，认为克罗地亚有潜力成为共建“一带一路”生物多样性科技合作的重要枢纽，为全球可持续发展作出贡献。

中克生物多样性合作科研领域不断拓展，科研对象日益丰富。中国黄龙国家自然保护区和克罗地亚亚卡尔卡国家公园拥有相似的喀斯特自然景观和丰富的生物多样性资源，双方签订《生态保护和可持续管理谅解备忘录》，在可持续发展、可持续旅游和环境保护等问题上展开合作。

“对九寨沟、黄龙与克罗地亚钙华景观的研究成果具有普适性，可推广至全球所有钙华景观区域。克中合作开展实验、联合分析并发表数据，将为保护全球生物多样性作出贡献。”米库利尼奇表示，联合实验室已成为中东欧地区与中国科研合作的重要平台。

展望未来，米库利尼奇希望两国在分享环境管理经验的基础上，开展更多联合监测、科研合作及论文撰写，成为全球钙华景观保护地研究与保护领域的引领者，共同推进全球生物多样性保护及联合国可持续发展目标。



▲普湖公园典型的钙华瀑布与湖泊系统。本报记者 刘仲华摄  
▲普湖公园湖区开阔的水面景观。本报记者 刘仲华摄

本版责编：王远 张博岚 版式设计：蔡华伟