

多种树就行？防沙治沙“没那么简单”

■本报记者 赵宇彤

营造林保存面积 3174.29 万公顷、治理荒漠化和沙化土地 33.6 万平方公里、工程区森林覆盖率和林草覆盖率分别提高到 13.84% 和 39.63%……经过近 40 年努力，中国“三北”工程交出了一张亮眼成绩单。

“重量轻、因地制宜、长效投入、百姓参与和监测实效。”历经多年追踪，上海交通大学设计学院教授陈睿山团队以“三北”工程为代表，系统总结了我国防沙治沙经验，并发表于《自然》。

陈睿山告诉《中国科学报》，这项研究为全球荒漠化治理提供了中国智慧和方案。《自然》编辑评价称，该研究可以让世界系统了解中国荒漠化治理的实践经验，对全球实现生态恢复目标具有借鉴价值。

讲好“三北”工程的故事

沙漠是什么样子，陈睿山不是不清楚。对在甘肃武威长大的他而言，西北地区的风沙、干旱、土地退化，是童年的一道特殊风景。

“对我来说，荒漠化从来不是一个抽象的学术概念。”从小深知风沙危害的陈睿山，大学时坚定地选择了地理学专业，博士期间更是专注于生态退化与恢复的研究。

而说起全球大规模、长时间的生态修复工程，一定绕不开中国的“三北”工程。该工程自 1978 年启动，已积累了丰富的治理经验。

“不过，国际上的系统报道和深入讨论相对有限。”作为参与政府间生物多样性与生态系统服务科学政策平台 (IPBES) 全球土地退化与恢复国际评估工作的 3 位中国学者之一，陈睿山切身体会到，“中国‘三北’工程的故事，值得以学术化、国际化的方式讲清楚”。

在上海交通大学内蒙古研究院的支持下，他和团队来到内蒙古赤峰市。“内蒙古是筑牢我国北方重要生态安全屏障的核心区域。”陈睿山告诉记者，但真正走上治沙一线后，他发现很多基础



草方格固沙实践场景。受访者供图

问题仍然需要用更精细、更动态的方式解答。

现在到底还有多少沙化土地？这些沙地是在扩张，还是在退缩？哪些地方治理成效比较稳定，哪些地方可能又出现了反复？

“这些问题听起来简单，但回答起来并不容易。”陈睿山说，荒漠化是一个动态过程，不能只看某一年、某一张图，而要长期的变化趋势。

要“看清”荒漠化的变化趋势，不是件容易事。内蒙古地域辽阔，科尔沁沙地、浑善达克沙地等重点区域面积大、点位散、变化快，单靠人工巡查很难及时发现，连续跟踪变化、精准评估成效。

“我们希望通过卫星遥感、无人机、地面监测、人工智能和数字孪生等技术，逐步解决过去‘看不全、看不准、看不及’的问题。”陈睿山团队与当地林草局等单位合作，围绕科尔沁沙地、浑善达克沙地等重点区域，开展了“荒漠化多模态遥感数据智能处理与监测治理平台示范应用”项目，形成了“基于遥感云平台的物地时序变化监测方法”等技术成果。

“及时掌握沙地变化、植被恢复和工程成效，才能为后续治理提供科学依据。”陈睿山说。

“不能只看‘绿’没‘绿’”

要想“看清”荒漠化的变化，不只是简单判断“绿”没“绿”。

“荒漠化治理涉及的对象非常复杂，既有沙地、草地、林地、农田，也有道路、村庄、治理工程和水系。”陈睿山表示，沙地是扩大了还是缩小了，是植被稳定恢复了还是季节性变绿……荒漠化的“进”与“退”，同样需要精准识别。

“防沙治沙不能简单理解为‘哪里有沙，哪里就种树’。”陈睿山解释道，对水资源承载力不足的地区，强行高密度造林反而会带来新的生态压力。因此，不同类型的沙化土地要采取不同的治理方式。

要实现这一目标，需要利用数字技术将荒漠化治理的“底数、变化和适宜性”说清楚。

这也是陈睿山团队的核心工作。“首先，我们构建了‘天-空-地’一体化监测体系，能看得更全。”他指出，卫星遥感负责从大尺度上掌握总体变化；无人机可对重点区域进行高精度识别；

地面监测能实现对模型结果的检验。此外，他们利用人工智能和时序遥感方法，持续追踪沙地边界、植被恢复和地表覆盖变化，将过去相对分散的经验判断，转化成连续、动态、可追踪的数字图景。

在此基础上，陈睿山团队尝试“看得更准”。“荒漠化治理需要判断这种变化是否稳定、是否符合自然条件、是否真正代表治理成效。”他举例说，有些地方某一年变绿，可能是降水较多的短期现象；有些地方虽然植被覆盖度不高，但如果本身是自然荒漠或半荒漠生态系统，就不能简单判定为治理失败。

而所有的监测与判断，最终都指向了科学决策。

“‘数字治沙’的根本目的是服务实际治理决策。”陈睿山说，“只有把这些说清楚，防沙治沙才能真正从经验判断走向数据驱动，从大范围推进走向精准施策，从阶段性治理走向长期动态管理。”

目前，这一技术已在科尔沁和浑善达克沙地开展了示范应用。“在示范区内，系统监测准确率已提升至 95% 以上，环境风险预测准确率超过 85%，并实现了从项目规划、过程监管到工程验收的全流程数字化管理，治沙效率提高了约 30%。”陈睿山说。

“数字治沙”不仅是一个概念，更成为走进实际应用场景的治理工具。

“关键不只是复制一个平台，而要形成一整套可复制、可推广的技术和治理体系。”陈睿山说，这就要建立统一的数据采集、样本标注、地物分类、变化识别、成效评估标准，推动技术模块化、区域适配化，让数字技术嵌入防沙治沙全过程。

防沙治沙不只是“多种树”

在利用数字技术防沙治沙的同时，陈睿山团队也系统调研了中国从东到西如塞罕坝、库布齐、白芨滩、八步沙、

柯柯牙等各示范点的治沙模式。

“我们逐渐意识到，‘三北’工程最值得总结的地方，不只是‘种了多少树’或‘治理了多少面积’，也是持续面对问题、识别问题，并根据不同阶段暴露出的矛盾不断调整治理路径。”陈睿山说。首先是区域水资源承载力的正确认识。“早期一些地方对‘绿起来’有迫切需求，把防沙治沙简单理解为‘多种树、快造林’。”但陈睿山指出，“三北”地区很多区域降水少、蒸发强，水资源约束突出。如果在不适宜的地方盲目增加人工造林，短期可能看起来有绿化效果，长期却可能出现成活率低、生长衰退、地下水下降等问题。

“量水而行，以水定绿”，不是哪里都要追求森林化，而是要坚持宜林则林、宜草则草、宜灌则灌、宜荒则荒。陈睿山说，生态工程不能只重视“建起来”，还必须关注“活下来、稳得住、可持续”。

其次是树种结构和林分结构的调整。一方面，降低对单一树种依赖性，推动杨树与榆树、沙枣、柰条、花棒、沙拐枣等乔灌木植物组合配置；另一方面，从纯林建设转向混交林、复层林和乔灌草结合。

“具有完整乔木层、灌木层、草本和地被物层结构的乔木林比例由 2011 年五期工程初的 51.04% 提高到 2017 年的 54.74%，森林健康等级面积比例也有所提高。”陈睿山总结道。

从单一树种到多树种混交，从重乔木到乔灌草结合，从人工造林为主到封育、飞播、自然恢复并重，从重建到重修复、重管护、重监测……

“‘三北’工程的治理逻辑是在实践中逐步完善的。”陈睿山梳理发现，2020 年前后，“三北”工程建设目标发生了转变，“从过去偏重规模扩张，转向更加重视质量提升、系统治理和长期成效”。

在他看来，这是前几十年治理实践不断积累、问题不断暴露、路径不断修正之后的必然结果，也体现了我国防沙治沙从“有没有绿”到“绿得好不好、稳不稳、能不能持续”的理念升级。

推动中国经验“走出去”

“中国‘三北’工程的经验要想被国际社会理解，还得转化为全球荒漠化治理领域能够理解的概念。”陈睿山说。

首先，荒漠化治理并不简单等同于“种树”。在推进大型生态修复工程时，很多国家容易把目标设定为造林面积或植被覆盖率。“但干旱区最核心的限制因素往往是水。”陈睿山指出，真正有效的治理是宜林则林、宜草则草、宜灌则灌、宜荒则荒。其次，如果荒漠化治理措施无法改善当地居民的生产生活，就很难持续。我国部分地区探索了生态修复与沙产业、光伏治沙、节水农业、畜牧业调整相结合的路径，这对全球其他干旱区具有一定参考意义。此外，荒漠化治理无法一蹴而就，而是几十年至百年尺度的系统工程。

“中国‘三北’工程最宝贵的经验之一就是长期主义。”陈睿山说，很多国际生态修复项目的失败，是由于缺少长期资金、后期管护和连续监测，所以应当持续评估治理效果，根据水资源、气候变化、植被恢复和社区反馈不断调整策略。“不同国家、不同干旱区当然需要根据自身条件进行本地化调整，但这些基本原则是具有普遍借鉴意义的。”

随着“三北”工程攻坚战进入全面推进的新阶段，更多挑战也逐渐浮出水面。

陈睿山指出，沙尘的形成和传输具有明显的跨区域、跨国界特征，蒙古国南部戈壁地区以及中蒙边境一带是东亚沙尘的重要源区之一，对我国北方空气质量和生态安全都有影响。

因此，对陈睿山团队来说，未来将进一步关注治理质量稳不稳、生态系统韧性强不强、能不能应对气候变化、极端天气以及跨境沙尘传输带来的复合风险等。

相关论文信息：<https://doi.org/10.1038/d41586-026-01102-w>

智慧养殖平台顺利下水
「海陵岛 1 号」半潜式

“海陵岛 1 号”航拍图。中交四航局供图

本报讯（记者朱斌斌 通讯员肖明葵）近日，中交四航局江门通航船业有限公司承建的半潜式养殖平台“海陵岛 1 号”在广东江门顺利下水。

“海陵岛 1 号”平台总长 82 米、宽 36 米、高 21.5 米、型深 15 米，养殖包围水体约 4.4 万立方米。平台集

成了智能投喂、环境监测、病害预警等系统，已入级中国船级社，具备优良的抗风浪能力，可直接部署于 20 米等深线以外的开放海域，实现多要素集成、智慧化感知与工程化运行，以现代化装备抵御台风，并有效监测与控制深远海养殖鱼类的生存

条件。

据悉，“海陵岛 1 号”后续将进行设备调试与验收，随后拖航至海陵岛预定海域，预计最快于今年 7 月实现首批投产及试运营，目标是打造零碳海洋牧场，推动多业态融合发展。

发现·进展

天津大学

首次量化中国湖泊营养盐管理的气候减排红利

本报讯（记者陈彬）天津大学环境学院教授董银栋团队构建了基于机器学习的“营养盐-温室气体-成本效益”综合评估框架，首次定量评估了在中国实施湖泊营养盐管控带来的巨大气候效益。这项近日发表于《自然-地球科学》的研究警示，气候变暖本身会削弱营养盐管理的减排收益，当下正是协同进行营养盐管理的关键窗口期。

研究团队整合了中国湖泊长期水质监测数据、营养盐输入数据及全球升温情景模型，采用多种机器学习方法，建立了营养盐浓度变化与湖泊温室气体排放之间的响应关系。研究结果表明，与高排放基准情景相比，在 2021 年至 2100 年间，若实施中等治理强度的营养盐削减措施，可显著降低全国湖泊的温室气体排放，累计减少 251 至 307 百万吨二氧化碳当量的排放。从空间格局看，东部平原湖区是气候减排贡献最大的区域，该区域人口密集、湖泊数量

众多且富营养化程度较高，在全国湖泊总减排潜力中的占比超过 65%。相比之下，青藏高原湖区由于湖泊营养盐本底较低或人类活动干扰相对较小，其减排贡献占比有限。

研究进一步对五类主要营养盐来源的控制措施进行了成本效益分析。结果显示，工业点源控制的成本效益比最高，其次为城镇居民源。当工业、污水处理厂等点源污染控制到一定程度后，农业、农村居民等排放量较大的面源污染及湖泊自身的内源释放可能成为主要来源，治理成本也将随之上升。

研究还评估了不同升温情景下营养盐管理效益的稳定性。在中等升温情景中，强力的营养盐削减措施可在全时段（2021—2100 年）保持正向的净减排贡献。然而，在升温情景下，升温本身会导致湖泊温室气体（尤其是甲烷和氧化亚氮）背景排放量显著上升。模拟结果显示，到 2080 年前后，升

温驱动的额外排放将基本抵消人为营养盐削减所获得的减排收益。这一发现意味着，未来越是变暖，维持同等气候效益所需的营养盐管控力度就越大。当前气候变暖尚未达到极端水平，正是营养盐管理发挥最大边际效益的关键窗口期。

基于上述定量评估，研究团队建议，将营养盐负荷较高、减排潜力较大的湖泊纳入国家碳排放核算温室气体减排项目体系；依托已全面推行的“湖长制”行政框架，由各级湖长负责核算辖区湖泊的减排量，并牵线搭桥，帮助湖泊治理项目找到愿意购买减排量的高排放工业企业；政府出资治理湖泊后，可以通过出售减排量回收资金，再继续投入下一轮治理，从而形成“治理—减排—交易—再投入”的良性循环。

相关论文信息：<https://doi.org/10.1038/s41561-026-01971-w>

“一粒种子”精神，叩响“稻浪千重”未来

■钱前

收到湖南省农业科学院关于参加“学习弘扬袁隆平科技创新精神暨杂交水稻高质量发展学术研讨会”的邀请，我首先想到的是袁隆平先生一生与稻田、与人民、与国家粮食安全紧紧相连的身影。今年恰逢袁先生杂交水稻三系论文发表 60 周年。60 年前，他在《科学通报》发表《水稻的雄性不孕性》一文，为我国杂交水稻研究奠定了重要理论基础，也开启了中国杂交水稻事业波澜壮阔的发展历程。

袁先生离开我们已经 5 年了，但只要走进稻田，看见青苗拔节、稻穗低垂，就会觉得他并没有远去。崖州湾野生稻种质资源圃里，至今还留有袁先生题写的“稻亦有道”。每次看到这几个字，我都会停下来多看一会儿。水稻育种既是科学，也是文化；既是对技术规律的不懈探索，也是对人生智慧的深刻体悟；既需要顺应自然规律的科研方法论，也需要心系苍生、勇于创新的家国情怀。野生稻看似普通，却蕴藏着改良栽培稻的重要基因资源。一株稻，一个性状，背后都有自然演化的道理，也蕴含着育种创新的可能。

我还记得，2016 年 11 月，我去拜访袁先生。他问我最近忙什么，我说太累了，有些干不动了。袁先生问我多大，我说 55 岁（虚岁）。他随即勉励我：“人到五十五，犹如出山虎。”我听后很受触动，请先生当场写下了，并将先生的手迹珍藏至今。这不是一句普通的鼓励之语，而是饱含着一位前辈科学家对后辈的殷殷期待之情。袁先生一生都在奔忙，耄耋之年仍率徒田里的材料、试验的进展和产量的突破。

我长期从事水稻遗传育种研究，越往前走，越能体会袁先生当年开辟杂交水稻事业的不易。面对“白花授粉作物难以利用杂种优势”的传统理论桎梏，他没有停留在书本结论上，而是回到田间，从一株“鹤立鸡群”的稻株中发现问题、提出问题，并用长期实践回答问题。科技创新最可贵之处，正在于尊重事实、追求真理、敢闯无人区。

袁先生历来重视基础研究。2011 年，在成功培育超高产杂交水稻的基础上，他高瞻远瞩，积极推动杂交

水稻国家重点实验室组建。当时我作为科技部组织的专家组组长去长沙考察，袁先生告诉我，杂交水稻发展到今天，我们必须重视基础研究，要为第三代杂交水稻的开发、应用与推广打下基础。当前，超高产水稻实现双季稻亩产 1500 公斤目标、第三代杂交水稻已经成型、低镉水稻大面积推广，就是重视基础研究取得的成果。

很多人谈到袁先生，首先想到的是高产、推广和应用，但我理解，他令人尊敬之处恰恰在于把基础研究和生产需求紧密结合起来。没有对水稻雄性不育、杂种优势、遗传规律和种质资源的深入研究，就不可能有后来的三系配套、两系发展和超级杂交稻突破。基础研究不是离田间很远的事情，它常常是重大应用创新的源头。袁先生从大田生产中凝练科学问题，又用科学规律去解决生产难题，这对今天的农业科技创新仍有重要启示。

从“三系法”到“两系法”，再到袁先生长期牵挂的“一系法”，杂交水稻的发展始终体现着不断向前的创新追求。杂交稻的大面积应用显著提升了水稻产量，但其推广长期依赖复杂而昂贵的制种体系，需要大量人力、物力和土地资源。这也成为制约其进一步推广的重要瓶颈，尤其在制种条件和配套设施相对薄弱的地区更为突出。如何在保持杂种优势的同时，减少对反制种的依赖，降低制种成本，是杂交稻领域长期关注的重要问题。

袁先生于 1987 年在《杂交水稻》发文，在世界上首次提出“从‘三系法’到‘两系法’，最终到‘一系法’”的战略构想，即在方法上，由三系到两系再到一系，程序越来越简单，而效率越来越高；在杂种优势水平上，由品种间到亚种间再到远缘杂种优势利用，优势越来越强，促使杂交水稻科研水平一步步向新的台阶迈进。其中，“一系法”旨在通过无融合生殖技术固定杂种优势，实现“一次杂交，代代可用”，被视为杂交水稻育种的终极目标，吸引着全球科研力量的持续探索。

作为破解“一系法”难题的潜在

技术路径，人工合成无融合生殖技术的核心在于通过无融合生殖固定杂种优势，使优良杂种组合能够稳定遗传，从而为减少重复制种、缓解制种压力提供可能。直到 89 岁高龄，袁先生仍念念不忘这一研究方向。近年来，国内外多个研究团队在基础研究成果长期积累的加持下，通过将 MiMe（有丝分裂替代减数分裂）体系与孤雌生殖或单倍体诱导途径相结合，已在水稻中成功构建合成无融合生殖体系，相关研究都展示了其在生产应用中的广阔前景。中国水稻研究所、崖州湾国家实验室和湖南杂交水稻研究中心等单位正在围绕无融合生殖固定水稻杂种优势持续攻关。袁先生提出的一系法杂交水稻的科学设想，正由一代又一代科研工作者接续推进，逐步逼近现实。

袁先生最打动我的是他始终把科研同国家需要、人民需要紧紧连在一起。他研究杂交水稻，不是为了某一篇论文、某一项荣誉，而是因为他真正理解“吃饭”二字对于国家、民族和普通百姓的分量。他把科学问题写进稻田，把个人理想融入国家需求，把科技成果送到农民手中。

我们今天学习和弘扬袁隆平科技创新精神，就是要把袁先生的精神转化为推动杂交水稻高质量发展的实际行动。新时代的水稻育种，既要继续追求高产，也要重视优质、绿色、高效、抗逆和适应现代农业生产体系要求；既要依靠传统育种经验，也要更加重视基础研究和原始创新，运用基因组学、分子设计育种、基因编辑、人工智能等新技术，揭示规律、创制材料、服务生产。

站在袁隆平杂交水稻三系论文发表 60 周年这个重要节点上回望历史，我们更加清楚地认识到，真正有生命力的农业科技创新，必须重视基础、尊重规律、勇于原创，也必须扎根大地、服务生产、接受实践检验。我们要把种子攥在自己手里，把饭碗端得更稳，把更多论文写在祖国大地上，为保障国家粮食安全、建设农业强国贡献新的力量。

（作者系中国科学院院士、崖州湾国家实验室副主任、中国农业科学院研究员）