

从『种啥啥不成』到草粮成浪

一株小草唤醒沉睡盐碱地

■本报见习记者樊晓丽



▲曹晓风（右二）、张佳宝（右一）及多位与会人员在通辽市科左中旗胜利乡田菁示范种植基地现场观摩。
▲挂着白色根瘤的田菁根系。
樊晓丽 / 摄

初秋的科尔沁草原腹地，风从西辽河方向吹来，夹杂着草香。在内蒙古自治区通辽市科左中旗架玛吐镇中新艾勒嘎查示范种植基地，连片田菁在阳光下翻涌成浪，长势挺拔。

很难想象，这片生机勃勃的田野曾是典型的重度苏打盐碱地——土壤 pH 值 10.5，含盐量 5%以上。站在地头，中国科学院院士、中国科学院遗传与发育生物学研究所（以下简称遗传发育所）研究员曹晓风弯腰拔起一株田菁，其根系上挂着一串白色根瘤。“那是固氮的‘工厂’，也是土壤变好的信物。”她向身旁的科研人员 and 基层农技人员介绍说。

据统计，我国现有约 15 亿亩盐碱地，其中约 5 亿亩具有开发利用潜力。

通辽市有近 400 万亩盐碱化耕地，深陷“种啥啥不成”的困境。2024 年，依托中国科学院盐碱地重大科技专项，曹晓风团队与通辽市农牧业科学院合作，在重度盐碱地上开启了一场与盐碱博弈的种植试验。团队的目标很明确：改良盐碱地，提升耕地质量，让荒芜碱滩变成沃土良田，为保障国家粮食安全贡献科技力量，同时为全国同类盐碱地区域探索可借鉴路径。

不久前，遗传发育所主办“田菁改良盐碱耕地及粮饲协同技术应用与示范观摩会”，曹晓风与中国工程院院士、中国科学院南京土壤研究所研究员张佳宝，以及通辽市委书记高世勤等百余人在基地田间围拢细看。

小草让盐碱地焕发生机

通辽地处世界黄金玉米带、坐拥“中国草原肉牛之都”美誉，盐碱顽疾却是始终绕不开的发展痛点。这里的苏打盐碱地又碱又黏、透气性极差。农作物根系扎进土里，如同被闷在不透气的塑料袋里。长久以来，当地人试过不少治碱法子：挖沟排盐、大水淋盐、撒施改良剂。部分措施虽能短期见效，但耗水多、成本高，还容易破坏水土，造成二次污染。

“盐碱地改良，最缺的就是低成本、可持续的生物质来源。”观摩会现场，张佳宝指出，破解之道需要的是长久治本之计。

为寻得适配盐碱地的“先锋作物”，曹晓风带领团队从 800 余种物种质资源中筛选出了田菁。“它耐盐、耐碱、耐涝，根系发达，能把板结的土层扎透；作为豆科植物，自带固氮天赋，能把贫瘠荒地养得肥沃松软。”遗传发育所研究员邓娴介绍。

种植试验之初，处处是难题。在科左中旗胜利乡西太平村，云通农业种植合作社负责人孙国祥的 200 亩地是最早一批试验田。孙国祥清楚地记得，第一年，土地硬板结块、盐碱厚重，“整地时动力小的拖拉机无法作业，播种机调改多次才种下去”。在曹晓风团队及通辽市农牧业科学院的科研人员指导下，他反复摸索，总结形成本土化改良方案，通过深耕深旋、起垄种植、滴灌淋溶，逐步疏松土层、降低幼苗根部盐碱

浓度，为田菁正常生长创造了有利条件。

田菁不需要大量底肥，管护投入也相对有限，每亩只需投放 2-3 公斤种子，就能产出两吨左右鲜草。过去白茫茫的盐碱滩，只有碱蓬顽强生长，如今水稗草、灰菜、马齿苋陆续破土而出，成为土壤改善最直观的信号。

土地的变化，也写进“90 后”承包户李会鑫的账本。他家 2000 亩盐碱地，用过土壤改良剂，灌水冲过碱，上过有机肥，试种过水稻、玉米，收成始终上不来，两年下来反倒亏损约 200 万元。去年，在曹晓风团队与通辽市农牧业科学院的支持下，他用 100 亩地试种了田菁，当时“没抱什么希望”。

仅一年光景，荒地就换了模样。100 亩田菁高过人头，密密匝匝铺满田野。家里的 500 只羊吃上了新鲜饲草。李会鑫蹲在地头，捏起一把土，松软、不板结。“土地是承包 30 年的，改良好了，往后年年都有收益。”看到希望的他笃定地说，来年要把 2000 亩地全种上田菁。

科左中旗巴彥塔拉镇，西辽河与乌力吉木仁河穿镇而过。沿岸低洼耕地常年受涝渍与盐碱双重夹击，近 10 万亩耕地连年减产。为此，当地引进节水抗旱稻，但又面临土地盐碱度高的阻碍。2025 年，在曹晓风团队“田菁 +”轮作技术模式指导下，该地构建了“田菁先锋改良 + 节水抗旱稻接续种植”新模式，实现了“田菁改土、旱稻增收”，破解了节水抗旱耕地力提升的难题。

不只改良土地，更是种养双赢的绿色宝藏

在曹晓风团队看来，田菁的价值远不止于治碱。初花期，其粗蛋白含量可达 20%，与苜蓿相当，是实打实的高蛋白饲草。作为农牧业大市，通辽主打青贮玉米，蛋白含量低，高蛋白饲草缺口巨大。

“我们国家养殖业最缺的就是蛋白，田菁刚好可以补上这个缺口。”长期在通辽蹲点的北京市农林科学院玉米研究所研究员成广雷说，玉米配田菁，能量与蛋白互补，饲草营养均衡、口感清甜，牛羊爱吃、长势更好。

在国家牧草产业技术体系首席科学家张英俊看来，田菁有着远超传统饲草的优势：不挑地、耐贫瘠，可以种在重度盐碱地，不与粮食争地，管护简单、产量稳定，一旦打通“种、收、储、加、用”全链条，可以替代部分高价进口饲草，成为饲草产业格局的重要组成部分。

“田菁和玉米同种、同收、同加工，通过配比调整，就能直接得到高蛋白粗饲料，既能补齐蛋白缺口，还能改善养殖场环境。”张英俊表示，产业技术体系正准备与多家大型牛场合作，将“豆不混作”作为重点模式示范推广。

中国饲料工业协会会长王宗礼介绍说，我国每年饲料产量超 3 亿吨，大豆进口量常年破亿吨，饲用蛋白对外依存度居高不下。若能用田

菁替代 30%豆粕，每年可减少约 3000 万吨进口需求，既能筑牢饲料安全、粮食安全防线，也能让边际土地实现价值最大化。

田菁带来的惊喜，还延伸到种养循环的生态价值上。养殖粪污、沼液处理，一直是畜牧企业沉甸甸的成本负担，而田菁可高效消纳畜禽粪污与养殖废水，为破解这一难题提供新思路。

“有乳业企业测算，处理一吨养殖沼液成本就要 80 元。一亩田菁能够消纳三四十吨养殖沼液，算下来，企业省下的治污开支甚至高于种植田菁本身带来的收益。”曹晓风举例说。

“我们种草其实是为了改地，让更多土地能够更好地被利用，同时产出高蛋白，让牛羊吃得更好，产更多的奶、更多的肉。”曹晓风说，“更重要的是生态价值和社会价值，要让老百姓从中受益。靠科技和自身努力致富，才是绿色可持续发展的根本。”

从试验田到大产业，政产学研用需形成合力

如今的通辽田间，田菁连片生长，绿意盎然，小范围试验已经交出亮眼答卷。但从零星示范种植基地走向全域规模化推广，还需跨过多不少现实门槛。

目前，田菁品种报审工作正在陆续进行，市场上缺少优质田菁良种；适配田菁的播种机、收割机设备配套不足，不少环节依旧依赖人工，效率低、成本高；饲草青贮、精深加工体系尚未完善，产业链条短、产品附加值低；加之农户缺乏标准化种植经验，大面积推广依旧存在阻力。

对此，来自山东省农业科学院的张晓冬建议，持续收集、引种、选育本土种质资源，筛选出最适配辽水土、气候的优质品系，让田菁真正扎根科尔沁，适配科尔沁。张佳宝补充说，要进一步解析田菁改良苏打盐碱地的内在机理，积累长期试验观测数据，推动田菁技术专家和养殖业专家、土壤改良专家深度协同，完善种养结合的整套模式，真正服务于苏打盐碱地综合治理。

产业做大，绝非科研一方的单打独斗，还需要地方政府、经营农户同向发力。曹晓风团队与通辽市农牧业科学院引进重度盐碱地，专挑条件最差的地块攻坚，反复打磨本土化种植与土壤改良成套技术。地方层面，通辽市专门拿出 200 万元专项经费，全力支持田菁示范推广与技术迭代；各旗县区农技人员下沉田间地头，同技术、学经验、解难题，着力打通技术落地的“最后一公里”。

曹晓风表示，未来团队将持续聚焦面向不同应用场景的种质创新、改良技术集成、饲草加工利用及基础研究，加快培育适宜该地区的田菁品种及“田菁 +”技术模式，为内蒙古盐碱地改良、草业高质量发展 and 生态安全提供坚实的科技支撑。

仅此一家，为 800 多部天气雷达做高精度“体检”

■本报记者 王昊昊

从湖南长沙城区驱车一路向西，经过岳麓区莲花镇，再沿莲花山路盘旋而上，40 多分钟后，几座超大白色球状天线罩映入眼帘。

这些“白球”就是长沙气象雷达标校中心（以下简称标校中心）的雷达标校阵地，依海拔分别命名为 314、126、348 阵地。在标校阵地里，技术人员带着测试设备穿行于塔楼与机房之间；山下的标校业务平台上，大屏实时跳动着全国不同波段、不同型号天气雷达的运行状态，哪部雷达功率异常、噪声温度超限，报警声随时可能响起。

近日，《中国科学报》记者跟随“高质量发展中国·新时代的气象万千”主题采访团来到这家全国唯一气象雷达高精度标校专业机构，实地探访技术人员为雷达“做体检”的日常。

800 多把“尺子”需统一刻度

标校中心为何建在主峰海拔 300 余米的莲花山上？

记者了解到，标校工作对天气条件有特殊要求，标校过程要用真实降水过程检验雷达在实际观测场景中的表现，这就需要足够多样化的天气样本。湖南是我国灾害性天气最多样的区域之一，暴雨、冻雨、大雾、强对流等 14 种灾害性天气均有出现，能为雷达动态标校提供多样化真实天气试验场景。莲花山区域地势相对较高，远离市区，可最大程度规避城市复杂电磁环境信号干扰。标校中心因此落地于此。

“标校中心位于全国五大国家综合气象观测试验基地之一的长沙国家综合气象观测试验基地，具备‘地基—空基—天基’三维完整气象观测基础设施，能为雷达标校工作提供基础设施支撑。”标校中心副主任袁首说。

目前，中国天气雷达网已建成覆盖全国的天气雷达监测网，800 余部雷达紧盯暴雨、强对流等灾害性天气，为发挥气象防灾减灾第一道防线作用、保障人民群众生命财产安全提供重要支撑。但雷达来自不同厂商、工作在不同频段、部署在不同地理环境中，长期运行会出现设备老化、性能漂移，可能出现同一场降雨，不同雷达观测结果不一致的问题，影响短临预报预警研判。

雷达“看不准”，最直接的后果是预报员面对矛盾数据时无法做出确定性判断。标校中心雷达保障科科长、高级工程师周旭辉说，比如同一片降水云团，一部雷达显示 30 回波强度（dBZ），另一部显示 50dBZ，预报员就会陷入矛盾：到底暴雨还是报小雨？如果 50dBZ 的回波持续半小时，可能意味着短时强对流、冰雹甚至山体滑坡风险，政府决策调度成本很高；如果只是三四毫米的“毛毛雨”，影响则完全不同。

做一次“深度体检”

800 多把“尺子”刻度不一，怎么校准？标校中心有套完整的“体检流程”。

我国天气雷达包括 S、C、X 等不同波段，S 波段波长较长、衰减较弱，主要承担



俯瞰标校中心的 314 标校阵地。

林城 / 摄

200 公里以上的大范围降水观测；C 波段主要部署在降水相对较少的西部区域；X 波段波长较短、功率较小，看的距离较近，主要用于山地丘陵地形复杂区域的补盲和精细化观测。

目前，标校中心的核心系统包括“三阵地—一平面”。三阵地分布在不同海拔高度，314 阵地是主阵地，主要承担 S 波段、C 波段天气雷达全系统标校，126 阵地主要承担 X 波段天气雷达和风廓线雷达的测试评估，348 阵地为 314 阵地被观测天线提供高精度的测试信号。国家级标校业务平台负责数据汇聚、分析和标校结果判定，是整套系统的数据处理中枢。

一部雷达从进入标校中心到完成标校，通常需要 3 至 5 个月。标校中心通过“静态标校 + 动态标校”两大阶段，6 个环节，逐项检验校准，包括机外仪表测试、信号处理算法检查、天线远场测试、金属球标校、同址对比观测和星地校验。

走进标校中心 S1 雷达机房，记者看到监测屏幕上实时显示着红黄相间的回波图，颜色越浅，天气通常越好；颜色越黄、越红，回波强度越大，意味着雨越大；到了红得发紫的颜色，往往意味着短时强降水、冰雹等强对流天气。

周旭辉介绍，标校中心还研制了基于机载有源雷达原位测试系统和无人机悬吊金属球标校系统等自主装备，创建了倒伏式避雷针、高分子超疏水涂层整体吊装天线罩，填补了国内天气雷达天线关键参数远场现场实测等空白。

传统雷达标校主要依赖机内信源源和机外仪表，参数覆盖有限。标校中心将标校参数从 21 项逐步提升至 62 项，涵盖反射率因子、径向速度、差分反射率、天线增益、波束宽度等关键指标，其中 3 项指标的测量精度达到国际先进水平。

体检对象则分两类。待列装新雷达，要开展全流程标校校验，合格后才能拿到入网许可证，投入全国气象业务网使用；业务在用雷达，则开展数据一致性检验评估，设备会老化、性能会漂移，需要定期“体检”，修正性能偏差，保障全国 800 多部业务雷达观测刻度统一，避免相邻雷达观测同一场降雨数据互相矛盾。

袁首介绍，标校中心还建立了从雷达进场到撤场七大任务监视闭环管理机制，实现标校全流程标准化管控；依托太阳源、地杂波等自然目标，开展全国雷达网运行质量主动监测预警，推动标校由被动

检测向主动预防转变。

给雷达“立规矩”

“深度体检”做完了，效果到底怎么样？记者看到，在标校业务平台的大屏上，各地业务雷达的运行状态一目了然。哪部雷达功率突然降低、发射功率不足，系统立即报警，工作人员随即打电话、发整改通知。

“过去是雷达出了问题，有人反映上来，我们再去查；现在是系统主动盯着全网，异常一出现就推着我们去处理。”周旭辉说。

自 2023 年业务运行至今，标校中心已完成 70 余部天气雷达标校与质量评估，促成 200 余项问题闭环整改；牵头对全国 242 部天气雷达开展星地校验，使全网新一代天气雷达反射率因子一致性偏差从 2.97 分贝（dB）降至 2.5dB 以下。

标校中心工程师吴树炎介绍，经标校的单部雷达，反射率因子测量精度优于 0.5dB，差分反射率因子测量精度优于 0.2dB，天线增益测量精度达到 0.5dB，其中 3 项指标达到国际先进水平。标校中心还首次实现对待标定雷达天线等 5 类关键指标的远场业务化实测和关键系统参数的全链路绝对标校，建立了涵盖 62 项参数的天气雷达标校体系。

“前述指标的下降，意味着相邻雷达对同一场降雨的观测结果更加接近，预报员拿到的不再是‘各说各话’的数据，而是一套经过统一校准、相互可比的观测结果。”吴树炎说，定量降水估测准确度因此提升了近一倍，雷达数据对降水预报的支撑更加可靠。

这把“标准尺”还在向更大范围延伸。2026 年，标校中心建立全网天气雷达实时监测评估与业务准入双重管控体系，对全国 276 部 S/C 波段业务运行天气雷达开展实时监测评估，全面承接全国天气雷达业务准入技术审查与测试工作，构建起了雷达设备端全链条质控体系。

“S、C、X 波段相互配合，S 波段扫一圈发现强对流，X 波段可对着风暴做精细化定点扫描，组网之后，一部雷达看不全的云系移动、台风螺旋结构，就能在几百部雷达的协同观测中看得更清楚。”袁首表示，标校中心将持续迭代天气雷达标校技术体系，完善多型号天气雷达标校能力与标准化建设，为全球监测能力提升、防灾减灾和气候治理提供技术借鉴。

在此基础上，团队将高可逆性 Sn⁴⁺/Sn⁰ 负极与溴（Br⁻/Br²）正极配对，构建锡溴液流电池。该电池在 40 毫安 / 平方厘米下能量效率达 89%，负电极液容量密度达 227 安时 / 升，对应能量密度达 205 瓦时 / 升。

相关论文信息：<https://doi.org/10.1038/s41557-026-02275-7>

相关信号分子进行跨细胞通讯的可能性。研究团队以腹侧海马—内侧前额叶皮层焦虑相关环路为研究对象，整合多种理工医技术手段，系统解析了应激条件下环路铁转运的动态变化及其与神经元兴奋性的因果关系。

该研究证实了脑铁代谢具备跨细胞社会协同属性，还揭示了环路下游终脑区产生病理信号、造成上游起点神经元功能异常这一“终点影响起点”的独特病理模式，为长距离环路脑疾病研究提供新的分析范式。

相关论文信息：<https://doi.org/10.1038/s41392-026-02921-z>