

# “地球第三极”如何应对气候变化

有着“世界屋脊”和“亚洲水塔”之称的青藏高原，对中国乃至全球的生态环境和气候变化影响巨大而深远。最新评估报告显示，数十年间，西藏生态保护取得显著效益，目前仍是世界上生态环境质量最好的地区之一。

日前，本报记者走进青藏高原上的生态监测台站，探访长年顶着烈日寒风、在缺氧环境中坚守的科学家，深入了解他们如何用智慧与执着守护这片生态屏障。



经过多年防沙治沙，雅鲁藏布江两岸的沙漠正逐步变为草地、树林，以及经济果园。

## ■本报记者 许琦敏

作为青藏高原的结构主体，“地球第三极”的核心，西藏是我国乃至亚洲的生态安全屏障。近百年以来，受全球气候变化和人类活动等影响，这里的脆弱生境正面临着草地退化、土地荒漠化、冰川退缩等一系列生态环境问题。

2009年，国务院批准《西藏生态安全屏障保护与建设规划(2008-2030年)》，决定用近5个“五年规划”期的时间，专项投入155亿元，基本建成西藏国家生态安全屏障。近年来，科学家们在青藏高原上经过艰苦调研，摸索出一套套生态保护的模式与路径，建起了一个个野外生态监测台站。

最近，在中国科学院组织的“科技支撑西藏生态安全屏障建设”主题采访活动中，中国科学院、水利部成都山地灾害与环境研究所(简称“成都山地所”)王小丹研究员透露，该所西藏生态环境与发展研究团队最新完成的“西藏自治区生态状况变化评估”显示，西藏生态保护在本世纪前20年已取得显著效益，目前仍是世界上生态环境质量最好的地区之一。

## 草原沼泽不再“凶险” 科学家却有些急

7月26日，红色草原阿坝藏族羌族自治州红原县下着淅淅沥沥的小雨。3500米左右的海拔高度，令人感受不到夏季的炎热，反有“倒春寒”般的阴冷。

这一天，中国科学院若尔盖湿地生态研究站全面投入使用，在我国野外台站建设中竖起了一块重要里程碑。

若尔盖高原位于青藏高原东北部，是我国高寒湿地的主要集中分布区，也是我国西部生态安全屏障的重要组成部分。“红原”的县名是周恩来总理在1960年命名的，意为“红军长征走过的大草原”。

经过考察，若尔盖科研团队发现，如今的这片草原已不像当年红军过草地时那么凶险——草原沼泽已在退化。上世纪六七十年代，在扩大放牧草场的需求下，若尔盖高原开展了较大规模的沼泽疏干排水工程，导致若尔盖高寒湿地的严重退化。

若尔盖生态站站长高永恒介绍，高海拔泥炭地是维护高原气候环境稳定的重要生态系统。当环境温度较低，在长期地表积水或过湿的环境中，沼泽植物残体的堆积量大于其分解量，泥炭地才能得以良好发育。

有统计数据表明，泥炭地以占全球3%左右的面积存储了全球约1/3的碳量，这一数值超过了全球生物的含碳量。中国科学院东北地理与农业生态研究所研究员于子成提到，南极冰芯研究发现，过去7000年，全球泥炭地所积累的碳量相当于将大气中的二氧化碳浓度降低了25ppm(百万分之一)。作为地球陆地生态系统中集中和最大的碳库，分布在气候敏感区域的泥炭地，在全球辐射平衡中一直发挥着“冷却”的效应。

然而，近年来气候变化和人类活动引起的土壤环境改变，将导致泥炭地深层土壤中有机碳的稳定性减弱甚至丧失——



若大量古碳释放，将对全球气候产生灾难性影响。例如，科研人员在退化的泥炭地中发现了蚯蚓，它们对土壤的翻动会加速土壤中二氧化碳释放到大气中。

作为我国最大的高原泥炭沼泽区，面积近300万公顷的若尔盖高原中，沼泽及沼泽化草甸的面积占1/4，沼泽泥炭蕴藏量高达30亿立方米。“高原泥炭地的形成十分缓慢，平均一年积累厚度不到1毫米。”高永恒说，若尔盖泥炭地平均厚度2—3米，那是经过了万年以上的积累，“如果这里的泥炭地持续退化，会造成严重的生态及社会问题”。

自2017年起，科研人员在若尔盖高原上建起了多个试验观测平台，为保护高原湿地提供科技支撑。位于若尔盖站日干乔样地的全球最深湿地深层增温模拟实验系统，土壤剖面深度达3米。通过采集不同深度的土壤样品，科研人员对土壤中碳氮等元素循环、土壤水热动态、微生物群落演变等增温的响应和适应机制进行更深入研究。

“目前，我们共建有3块长期试验样地，用于植物物候格局变化、大气气溶胶生态效应、植被功能群与土壤固碳、温度降水控制试验等研究。”中国科学院成都生物研究所副所长陈槐介绍，今年6月底，他们已安装上自动监测机，可3小时收取一次数据。

近5年来，若尔盖站已承担科研项目40余项，发表SCI论文90多篇，并与美国、俄罗斯、澳大利亚等国家的高校和科研机构以及国际山地中心等国际组织开展交流合作。高永恒介绍，通过长期研究，他们为阿坝州提供了合理放牧的科学指导建议，“适当强度的放牧有利于草地资源保护与可持续利用”。

如今，通过一系列生态保护措施，若尔盖高原的湿地生态正在逐步恢复。记者到达前几天，红原县刚下过几场大雨，草地上蓄起了大大小小深浅不一的水洼。近十年，这里原本濒临灭绝的黑颈鹤数量也大幅增加。在高永恒看来，这有利于湿地的恢复，虽然过程十分缓慢，可能要经过几十年、上百年才能重新开始泥炭质的积累。

在多年研究基础上，若尔盖科研团队还在世界上率先提出了“富碳湿地”的概念。成都生物研究所副研究员朱单已十多年坚持在若尔盖开展科研，甚至在一次取样时被溢出而爆炸的沼气意外炸伤。他说，高海拔泥炭沼泽与高纬度泥炭地的水热条件、元素循环方式存在较大差异，国际学术界对高寒泥炭地的研究主要集中在高纬度地区，而对高海拔泥炭湿地的了解不足，“我们要用更深入、扎实的研究，在国际上建立起若尔盖区域的科研范式”。

## 雅江两岸告别“沙爬坡” 绿色多了碳汇增了

从拉萨一路驱车，沿着雅鲁藏布江前往山南市，雅江两岸满目青绿。然而，倘若时光倒退回30年前，这里则是一片黄沙漫漫。

“过去，前往拉萨的航班常会因沙尘天气而返航，现在这种情况少多了。”成都山地所研究员王小丹从2000年起就跟随前辈科学家行走在青藏高原上，执



①中扎站高寒草原观测试验场 ②中扎站全剖面土壤碳过程观测点 ③中扎站高寒湿地湿度相关观测设备 ④成都山地所研究员带学生观察不同固沙植物的生长状况 ⑤中扎站不同二氧化碳浓度的模拟增温实验装置 (本版图片均许琦敏摄)



守着望着“世界屋脊”的生态安全。如今，他已是该所西藏研究室主任。

西藏具有从热带到寒带环境的各种土壤类型，以及森林、灌丛、草甸到草原、荒漠等多样化的生态类型。这里的自然环境极其脆弱，是全球气候变化响应最敏感的地区之一。经过多年努力，科研团队摸索出了一系列高寒地区生态恢复的新技术与新模式，并与地方部门共建了6个生态恢复示范区，示范面积2000公顷，相关技术在西藏的环保、农牧、林业、水利等部门得到广泛应用。

从海拔4500多米的山坡俯瞰雅鲁藏布江，蜿蜒而开阔的江面从巍峨的群山间穿过，沿江沙地上生长出一片片草地、树林、经济果园。这是成都山地所科研团队多年防沙治沙的成果。

“我们利用核素追踪，找到了沙源。”成都山地所研究员周萍为这里的防沙治沙投入了多年岁月，她与同事一起，通过对雅江流域中上游沙化土地的全面调研，结合气候、地形、土壤、植被、沙化程度等因素，确定了雅江流域山南段不同沙化程度沙地的治理要点。

他们的试验示范地就设在山南市扎囊县桑耶镇的一处河谷岸边。在沙地上隔出的一块块实验地中，分别种植着沙生槐、拉萨小檗、绒叶黄花木、巴东醉鱼

草等十多种植物。这里有自动气象站和土壤温湿度自动监测系统，科研人员可在此初选和繁育防沙治沙的种质资源。

值得一提的是，研究团队根据雅江河谷沙地特点，构建起了可操作、生态环保、经济性好的生态水土层，可有效改善微生境。周萍介绍，针对雅江河谷地下水深、降雨少的特点，他们在土壤上层构建无毛细孔隙的覆砂层，加速水分下渗并减少蒸发；在土壤下层铺设生态环保的保水材料，帮土地保持住水分，减缓下渗——这种“微型水库”为植物生长提供了更多水分。

随着雅江两岸的绿色逐年增多，这里的小气候也更加湿润，有利于人工林的繁殖。今年，成都山地所在山南市建成了西藏首个人工林碳汇监测示范基地。

“过去，由于缺乏令人信服的科研数据，青藏高原碳源-碳汇关系存在争议。”王小丹说，在中国科学院“应对气候变化的碳收支认证及其相关问题”战略先导科技专项(简称“碳专项”)和第二次青藏高原科考等项目支持下，国内多家科研机构联手构建了跨青藏高原的相关系统监测数据集，对这一问题进行了系统研究。科学家通过18个模式模拟表明，青藏高原的净碳汇能力还在提升，对碳固定的促进速率超过了冻土的释放速率。

2018年，国际权威学术刊物《美国科学院院刊》(PNAS)发表了该研究团队的系列科学发现。这为去年西藏完成的首笔碳交易提供了重要依据。据王小丹粗

略估算，西藏的碳汇价值可达数百亿元，“而且，西藏林草生态工程在气候暖湿化的大背景下还有持续提升碳汇的潜力”。

成都山地所的85后研究员魏达说，自己是跟随中国科学院的碳专项成长起来的。穿梭在青藏高原15年，他发现以往学者只注意到来自牛羊、冻土的碳排放，却忽视了高寒植被其实是“被低估的‘吸碳能手’”，它们对甲烷和二氧化碳等温室气体的吸收量是之前预计的3到4倍。

而且，有研究表明，海拔4000米左右的区域，可能是高原上净碳汇较高的地区。因此，量化气候变化和生态恢复下的碳汇动态，是青藏高原亟待解决的优先性科学问题之一。为此，科学家建起了青藏高原全剖面土壤碳过程观测网络。

“这个网络目前共有18个观测点，有的建在无人区。山南的观测点深度为1.2米，申扎站的达到5米，是最深的一个。”王小丹解释，生态系统碳汇的地下过程就像是一个黑箱，对这个过程进行观测，是打开“黑箱”的关键途径。“在成土过程中，碳周转的过程非常快。这些观测数据还将为青藏高原暖湿化之后的碳汇能力变化提供预测依据。”

## 最高海拔增温实验 原位模拟青藏高原的未来

作为“地球第三极”和“亚洲水塔”，青藏高原的高寒生态环境极其脆弱，生态安全屏障建设是一项系统复杂工程，

具有长期性和艰巨性。

根据国家《西藏生态安全屏障保护与建设规划(2008-2030年)》的要求，成都山地所创新性地提出了西藏生态保护-生态建设-支撑保障统筹的生态安全屏障构建新模式，以及保护、建设和支撑3大类10项工程。

其中，西藏生态安全屏障生态监测体系建设是支撑保护工程、评估工程实施效益的重要手段，该体系共将建立申扎、山南、林芝、昌都、定日、日喀则、那曲、阿里、改则、芒康等10个站网。位于那曲市申扎县申扎镇的申扎站就是首个纳入该监测体系的重点台站。

从西藏日喀则市出发，在峡谷和高原上驱车6小时，记者抵达世界上海拔最高的生态观测站——申扎高寒草原与湿地生态系统观测试验站，海拔4730米。2023年，它入选第一批国家生态质量综合监测站。

地处冈底斯山和西藏第一大湖色林错之间，蓝天雪山、草原湖光，高原腹地的夏日景色令人沉醉。就在漫漫草原上，科研人员架设起了近地层通量观测站、风蚀观测系统、温室气体通量观测系统、植物光谱分析仪等大量仪器设备。“我们的仪器在每次开机后都要做稳定性检测，以保证数据质量，将误差控制在1%以内，这样做出来的研究才有价值。”魏达说，青藏高原气压低、辐射强，这样的自然环境是实验室难以模拟的——只有走上高原，在真实环境中才能获得一手数据。

青藏高原的草地植被类型占了七八成，其中又以高原草甸和高寒草原为主，而申扎地区是最具有代表性的。早在上世纪80年代，成都山地所的科研人员就开始在这里采样。24年前，王小丹第一次来到这里，住的是自己带来的帐篷，吃的只有方便面。有一次下雨，道路中断，他和同行伙伴在这里等待救援，一等就是五天。一边忍受着高原反应带来的折磨，一边食物匮乏到只剩下几包方便面，这段经历让他从此再也不住帐篷、不吃方便面。

“现在全程公路已便捷很多。”王小丹说，当年从镇上搭乘大巴在土路上颠簸到监测点，就需要整整一天。由于这里人迹罕至，回程搭车往往要看司机是否聚集到足够的客源，等上个三五天是常事。

在草原上，一溜排开的开放式玻璃房内，正在进行模拟增温实验。“未来气候变暖究竟会如何影响青藏高原？我们在这里进行原位模拟实验。”魏达介绍，除了二氧化碳浓度，每个玻璃房内的条件都完全一致，包括日照、土壤、降雨、植物生长等——这在实验室里几乎无法模拟出来。他们从拉萨拉来装有二氧化碳气体的钢瓶，通过精准的浓度控制，释放到玻璃房内。

目前的初步实验结果是，至少在未来数年内，青藏高原的暖湿化有助于碳汇的提升。魏达解释，因为植物光合作用需要二氧化碳，而二氧化碳浓度升高就相当于给植物施肥，“对于青藏高原这样的苦寒之地而言，水热条件的改善会明显提升植物的生产能力”。不过，他也提到，长期苦寒环境适应，使得一些高原植物必须经历较长时期低温才能进行繁殖，这部分植物可能较难应对未来气候变暖。

“当年的青藏高原是耐寒动植物的‘训练营’，这里有很多古老的物种，各自怀揣着适应环境的秘密。”王小丹说，或许人们可能从中发现应对未来气候变化的方法。

这些年，申扎站的科研环境不断改善，新的市政配套设施正在抓紧施工，实验设备也在一批批安装更新。魏达说，要弄清高原上的物质循环，一阵阵刮过的大风、悄然掉落的草籽，乃至牦牛粪便，都在其中起着举足轻重的作用。他告诉记者，站上就设有植物凋落物分解实验，还有老师专门研究牦牛粪的生态作用。

王小丹表示，西藏生态安全屏障保护与建设是国家战略，未来的任务艰巨且长，只有迎难而上、持之以恒。他坚信，到2030年生态安全屏障工程完成之后，能够基本实现“有效保护、成功治理、稳定向好、生态安全”的总目标。