

高寒区地表过程与环境观测研究网络

High-cold region Observation and Research Network for Land surface processes & Environment of China (HORN)

2019 年报

Annual Report 2019



2020年02月 北京

目录

一、基本情况.....	1
二、发展动态.....	2
三、观测研究进展.....	5
1. 大气物理观测研究.....	5
2. 大气环境观测研究.....	10
3. 冰川/湖泊观测研究.....	13
4. 植被生态系统研究.....	29
5. 土壤/冻土观测研究.....	46
四、试验示范.....	55
五、公众服务.....	72
六、年度数据统计.....	83
1. 论著统计.....	83
2. 在研项目统计.....	84
3. 新增项目统计.....	86
4. 结题项目统计.....	87
5. 人才培养统计.....	89
七、大事记.....	90
八、组织机构.....	91
九、联系方式.....	92

一、基本情况

“高寒区地表过程与环境观测研究网络”（简称“高寒网”）以满足高寒区对全球和周边地区环境变化影响机制与模型研究的数据需求，满足高寒区区域环境变化过程与发展趋势研究的数据需求，满足高寒区资源合理利用与经济社会可持续发展的数据需求为科学目标，以构建中国科学院所属野外站为主体的国家级“高寒网”为发展目标。“高寒网”目前包括 20 个加盟野外站，分别是藏东南站、珠峰站、纳木错站、慕士塔格站、阿里站、那曲站（西藏大学-青藏所）、天山冰川站、格尔木站、祁连山站、若尔盖站（西北研究院（筹）、玉龙雪山站、那曲站（西北研究院（筹）、拉萨站、那曲站（地理所）、海北站、三江源站、贡嘎山站、申扎站、若尔盖站（成都生物所）、青海湖站。在“十二五”发展期间，围绕院“创新 2020”和“一三五”规划的总体目标和战略任务，根据院先导专项、科技部重点研发专项、科技基础性工作专项、国家自然科学基金委重大项目等重要研究任务的需要和青藏高原地球科学卓越创新中心的发展需求，“高寒网”野外站开展了青藏高原及周边地区的大气边界层过程、冰川-湖泊变化、高寒生态系统样地观测，建立了数据信息开放共享系统。

2019 年，“高寒网”在项目争取、成果产出、人才培养等方面继续取得新的进步。全体研究人员争取到来自国家自然科学基金委、科技部、中科院、地方政府支持的项目共计 114 项，经费总额为 34293.9 万元。科研成果持续产出，共发表论文和论著 557 篇，其中 SCI 引文 367 篇。

科研团队与人才建设继续发展，人才争取方面，依托青藏高原研究所纳木错站、藏东南站和那曲站，王小萍研究员荣获国家自然科学基金委国家杰出青年科学基金项目“持久性有机污染物区域循环”资助，高晶研究员和汪涛研究员获得国家自然科学基金委优秀青年基金项目资助。高寒网各野外站获得多项省级科学技术奖一等奖。此外，天山冰川站李忠勤研究员等 5 人参与的《西北干旱区水循环与生态水文研究集体》获 2019 年度中国科学院杰出科技成就奖；申扎站魏达副研究员获得中国青藏高原研究会青藏高原青年科技奖。各台站依托“高寒网”共培养研究生 475 人，其中博士研究生 246 人，硕士研究生 229 人。

二、发展动态

1. 科技部部长调研纳木错站

2019 年 9 月 5 日，科技部党组书记、部长王志刚，科技部党组成员、副部长李萌一行前往海拔 4730 米的中科院纳木错多圈层综合观测研究站进行考察调研。王志刚一行与第二次青藏科考队队员一一握手并合影。在湖边，调研组听取了第二次青藏科考队在纳木错开展的现代湖泊观测项目以及深钻计划。随后在中科院纳木错站上召开的工作汇报会上，调研组听取了纳木错站支撑第二次青藏科考情况以及浮空器观测研究计划。王志刚充分肯定了纳木错站开展的青藏高原高海拔野外观测工作，他强调，第二次青藏科考要继承好第一次青藏科考的精神和重要成果，要用系统的科学思维和科学方法开展多圈层相互作用研究，要更加注重高新技术的应用。

【http://www.itpcas.cas.cn/xwzx/tpxw/201909/t20190910_5382065.html】

2. 藏东南站为高空浮空艇垂直水汽和污染物传输观测提供支撑

2019 年藏东南站开展了联合相关课题组开展了大气汞浓度测量、生物进化策略观测以及两次高空浮空艇垂直水汽和污染物传输观测等短期监测和试验。鲁朗地处雅鲁藏布江水汽通道，位于印度季风传输水汽进入青藏高原的关键区。高空浮空艇垂直水汽和污染物传输观测是 2019 年重要科考项目，由第二次青藏科考和中科院丝路环境专项的共同支持。2019 年 1 月和 4 月，中科院青藏高原研究所和空天信息研究院的 40 多名科考队员组成的藏东南水汽传输科考队，在藏东南鲁朗展开了大气水汽传输观测实验。科考队使用新技术“浮空艇”，搭载科学观测仪器，以“极目”的视角研究亚洲水塔的水汽来源。第一次观测经过 15 个通宵作业，6 次升空观测，垂直上升到海拔 6204 米高空开展各项科学观测，2019 年 4 月“浮空艇”最终上升至海拔 6389m 左右，两次试验获得了重要的填补空白的水汽稳定同位素观测数据和污染物数据。同时，此次成功观测为“亚洲水塔”地区水汽传输三维观测体系的建立推进了坚实的一步。

3. “高寒网”执行“十三五”仪器设备修购项目

“高寒网”各野外站由于建站时间、发展速度、观测对象不同，在仪器设备的配置水平和类型上存在差异。为满足“高寒网”开展监测指标规范和数据质量控制体系建设，提高监测研究网络和野外站监测能力，实现数据集成与共享制度建设的要求，“高寒网”综合中心通过调查各野外站的监测研究定位和已有监测项目，分析依托野外站开展的重大研究计划需求，制订了“十三五”仪器设备修购规划。“十三五”期间，计划购置仪

器设备 64 台套，经费预算 1775 万元，建设高寒区大气环境长期监测网络平台，扩展水文过程长期监测能力，扩展植被生态与土壤长期监测与分析能力，以完善野外台站的综合监测能力，加强野外台站的样品预处理与基本分析能力，实现野外采集样品的快速、高效、高精度分析，充分发挥野外台站的研究平台作用，实现高寒网数据信息内容统一与数据共享。

高寒网“十三五”仪器设备修购规划分别于 2016 年和 2019 年实施。2019 年执行的修购项目（二期）从大气物理与大气环境过程、地表水体水文过程和水质变化、植被生态过程与土壤要素变化等方面对各站的仪器设备进行购置和更新。申报的项目包括：用于大气边界层观测的水汽通量涡动相关观测系统，用于土壤与生态过程长期观测与分析的生态样地自动气象站、多组分土壤呼吸及群落光合测定系统，用于河流湖泊过程长期观测与分析的水质自动测量无人船、超声波水位计、水体同位素分析仪，共 6 种 17 台套，总经费 585 万元。2019 年 4-5 月完成进口仪器的专家论证和审批，6 月在北京通过公开招标方式进行招标采购并完成合同签署，2019 年 12 月，采购仪器陆续到货，已部分完成安装调试及技术验收。

4. 冰川学研究成果荣获中国科学院杰出科技成就奖

李忠勤研究员、王飞腾研究员、王璞玉副研究员、李慧林助理研究员和徐春海助理研究员参与的《西北干旱区水循环与生态水文研究集体》获 2019 年度中国科学院杰出科技成就奖。主要科技贡献为：发展了山地冰川模拟预测模型，揭示了冰川变化机理，阐述了新疆冰川水资源未来变化时空格局及影响。该研究集体的研究成果对推动干旱区水循环和生态水文学理论的发展与创新做出了重要科学贡献，为国家在西北干旱区水资源利用与生态系统可持续管理的重大政策制定提供了重要科学依据。

5. 高寒网综合中心提交可可西里盐湖湖水上涨的原因、风险和对策分析评估

青海可可西里腹地的盐湖东距青藏铁路、青藏公路、青藏输油管线和兰西拉光缆不足 10 公里，中间只有相对高度数米的低矮分水岭。监测研究发现，该盐湖自 2011 年开始面积快速扩张，水位急剧上升，随着气温升高和降水增加，湖水在近 1-2 年可能漫过分水岭，淹没青藏铁路、青藏公路、青藏输油管线和兰西拉光缆所在的清水河盆地，对上述交通和通讯设施造成巨大破坏。建议调查以盐湖为尾间的串珠状湖泊群的水下地形和流域湖盆地形条件，实时监测区域的气温、降水、水面蒸发、入湖补给径流；优化湖泊水量平衡水文模型，准确评估未来不同气候条件下整个湖泊群的水量与水位变化及盐湖出现的外溢条件和溢流量；开展区域尺度精细冻土调查，判别多年冻土活动层和地下水/地下水储存变化，分析多年冻土活动层厚度变化和冻土稳定性；根据地形条件，在卓

乃湖溃决口进行工程措施，拦堵卓乃湖水外泄，削弱卓乃湖溃决后湖泊群的贯通程度，减少盐湖补给水量，防治湖水外溢的破坏。

6. 拉萨站完成的“藏北高寒草地生态系统对气候变暖的响应机制研究”

2019 年，由中国科学院拉萨站完成的“藏北高寒草地生态系统对气候变暖的响应机制研究”获西藏自治区科学技术奖二等奖。该项目以藏北高原高寒草地生态系统为研究对象，从点-线-面多角度出发，结合遥感技术、野外控制增温实验和整合分析等手段，探讨了藏北高原高寒草地生态系统对气候变暖的响应机理。揭示了高寒草地生态系统总初级生产力和土壤呼吸等对气候变暖的非线性响应，发现增温 3℃ 时，增温对总初级生产力的增幅最大；不同海拔梯度下，水分条件调节着高寒草地生态系统总初级生产力等对气候变暖的响应；在认识藏北高原高寒草地生态系统对气候变暖的非线性响应机制等的基础上，提出了气候变暖背景下藏北高原高寒草地生态系统动态分类管理方案，从而为气候变暖背景下的高寒草地生态系统的动态分类管理提供科学依据和理论基础。

三、观测研究进展

“高寒网”野外台站根据所处地理位置及观测研究特色在大气物理和大气环境监测、冰川/湖泊监测、植物生态研究和土壤/冻土监测方面开展连续监测及研究，取得的主要进展或创新点如下：

1. 大气物理观测研究

► 那曲站（西北生态环境资源研究院）

那曲高寒草地长时间序列通量特征及对青藏高原再分析地表热通量资料的评估：

利用中国科学院那曲高寒气候环境观测研究站 2002-2015 年自动气象塔（AWS_Tower）和 2011-2014 年涡动相关系统（EC）的观测资料，基于地表能量平衡组合法和涡动相关法计算那曲高寒草地下垫面湍流通量。利用涡动相关法对地表能量平衡组合法计算的感热通量、潜热通量进行校正，并将校正规律外推得到一个长时间连续的地表通量序列，分析那曲高寒草地下垫面感热通量、潜热通量的长时间变化特征以及地面热源与气候影响因子的关系。结果表明，该序列地表能量闭合度在春、夏、秋以及全年接近 1，而冬季辐射观测值偏小导致能量闭合度正偏差较大为 1.34。感热通量在年际变化上呈显著上升趋势；潜热通量呈减弱趋势。地面热源在近 14 年中呈减弱趋势，与风速、地表温度、土壤湿度以及净辐射通量资料的关系显著。其中地面热源全年对净辐射通量响应显著，对地表温度在春、秋以及冬季响应显著，与土壤湿度在春、夏以及秋季响应明显，与风速在春季响应特征较为突出。

大量研究表明，高原再分析通量的偏差主要来源于陆面过程参数化方案以及大气强迫状态的差异。然而，这类工作主要关注了高原再分析通量数值的差异，并且利用常规观测资料计算得到的地表热通量受制于地表特征参数的影响，其代表性不及涡旋相关获取的地表湍流热通量。本研究利用青藏高原多个观测站点的湍流地表热通量资料，对目前通用的五套再分析资料进行了评估分析，提出了一个综合考虑地表热通量数值及其变率偏差的评估指数 I_h ，该指数数值越小，再分析通量资料的适用性越高。结果表明，对于感热通量，JRA-55 和 ERA-Interim 资料的适用性较好，而对于潜热通量，NCEP2 适用性较好。NCEP2 资料产生的感热通量偏差主要来源于其地表风速的模拟偏差。本研究成果推动了那曲站在高海拔地区能水循环研究与区域气候变化研究方面的发展。【严晓强等. 那曲高寒草地长时间地面热源特征及其气候影响因子分析[J]. 高原气象, 2019, 38(2): 253-263.; Yang Yaoxian et al., Assessment of reanalysis flux products based on eddy covariance observations over the Tibetan Plateau [J]. Theoretical and Applied Climatology,

2019, 138(1-2): 275-292.】

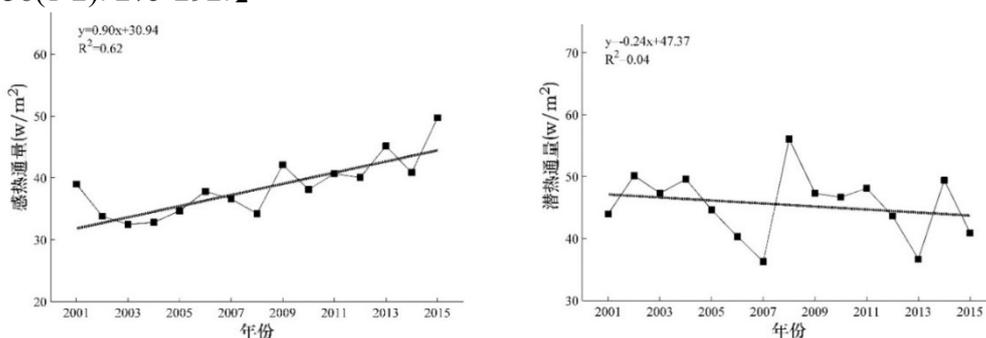


图 3.1.1 那曲高寒草地感热和潜热通量的年际变化

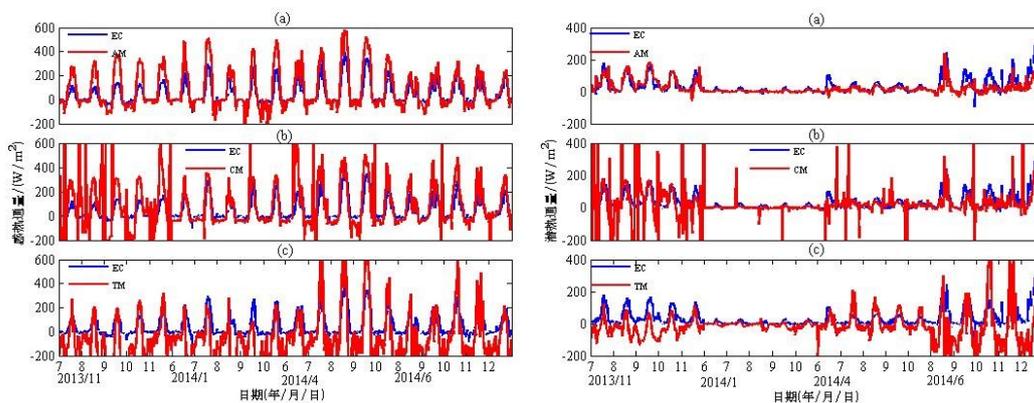


图 3.1.2 四种方法计算的那曲高寒草地感热通量（左）和潜热通量（右）

(AM:空气动力学法, CM:组合法, TM:总体输送法, EC:涡动相关法)

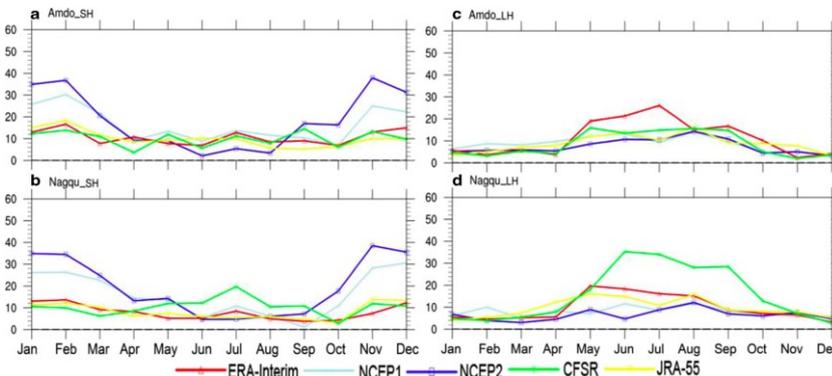


图 3.1.3 评估指数 I_h 的平均年循环特征 (单位, $W m^{-2}$)

高原季风的变化规律及其于东亚夏季风和南亚夏季风的时空关系： 通过计算动态高原季风指数 (DPMI)，统计分析 DPMI 与东亚夏季风指数 (EASMI)、南亚夏季风指数 (SASMI) 在指数层面上的关系，讨论其年际变化以及变化趋势的异同。结合 600hPa 位势高度场、风场、温度场的资料，讨论了高原夏季风、东亚夏季风以及南亚夏季风的季节变化过程，分析了温度变化对季风变化的影响。通过以上的的工作。得到的主要结论如下：(1) TPMI 和 DPMI 均具有明显的季节变化特征，但由于计算 DPMI 时，选取的中心点同高原季风的低压中心一致，会随着低压系统移动而不是固定的一点，所以 DPMI

比 TPMI 更能对高原夏季风的表征更加贴近事实。高原夏季风从 4 月开始逐渐形成, 暖性低值系统在高原上生成; 6 月份暖性低压系统形成并达到最强, 且高原夏季风的强度达到最大, 高原中部底层大气形成了一个强低压中心, 高原上空风场由西风控制转变为由气旋性环流控制; 10 月份以后暖性闭合低压系统向东北方向移动且强度也随之减弱并退出, 高原及周边地区又重新处于西风的控制之下。(2) DPMI、EASMI 和 SASMI 均具有明显的年代际变化, DPMI 在 30 年间总体呈略微上升趋势, 但 EASMI 和 SASMI 呈减弱趋势, 但 SASMI 的减弱趋势较大, 三个指数的整体变化波动保持一致性, DPMI 分别和 EASMI 及 SASMI 在关键年高原夏季风和东亚夏季风的强度表现一致。DPMI 同 EASMI 和 SASMI 之间的 Pearson 相关系数, 可知 DPMI 较 EASMI 超前两个月 (4 月-6 月) 时二者的相关关系最为显著, 而 DPMI 比 SASMI 滞后一个月 (7 月-10 月) 以及滞后两个月 (8 月-11 月) 的相关关系较为显著, 均通过了 0.01 的信度检验。可以看出高原夏季风爆发初期同东亚夏季风盛行期相关性较好, 而盛行期的南亚夏季风对减弱期的高原夏季风有较好的相关性。(3) 亚洲夏季风的爆发最先由于青藏的温度变化先引起高原夏季风的建立, 后东亚夏季风从东向西边的南亚夏季风开始依次爆发, 东亚夏季风发展缓慢但撤退迅速, 南亚夏季风则是爆发迅速但撤退过程较长, 高原夏季风也是爆发较迅速, 消亡缓慢。计算 DPMI 在夏季风盛行期同亚洲季风区 600hPa 高度的位势高度场的相关系数, 得到结果 DPMI 同西北太平洋地区的位势高度场呈正向的相关关系, 而同南亚夏季风影响区域的位势高度场却呈现负向的相关关系。但因为地形变化, 南亚夏季风因受到青藏高原高大地形的阻挡而和高原季风在喜马拉雅山脉有一个较为清晰的界限; 而由于我国中部和东部地势较为平坦, 没有高大地形阻挡, 高原夏季风和东亚夏季风在中国四川盆地及长江中下游平原有所交集和相互影响。(4) 温度场的变化和亚洲季风的变化紧密联系, 特别是东亚夏季风经圈环流受高原上的高温中心影响较大, 高原变热, 东亚夏季风经圈环流北移, 高原变冷, 东亚夏季风经圈环流向南回归。计算亚洲季风区在夏季风盛行期间温度场和位势高度场的相关系数, 发现在高原季风所影响的青藏高原、印度半岛及孟加拉湾北部, 以及我国东部至西太平洋区域, 温度场和位势高度场的相关系数各自形成闭合中心, 相关性非常显著, 所以温度场变化对季风的影响是非常直接、明显和重要的。本研究成果推动了那曲站在区域气候变化研究方面的发展。【王奕丹等.高原季风特征及其与东亚夏季风关系的探讨[J]. 高原气象, 2019, 38(3): 518-527; 王奕丹. 高原季风的变化规律及其与东亚夏季风和南亚夏季风的时空关系[D]. 兰州: 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所, 2019. (硕士学位论文)】

陆面过程模式 CLM 青藏高原风吹雪模拟评估: 青藏高原积雪是欧亚大陆雪盖的重

要组成部分，也是亚洲淡水资源的主要储存形式之一，该地区的积雪水文过程对高原局地乃至东亚地区的地-气相互作用过程、生态系统、天气、气候以及水文循环过程等均有重要的影响。风吹雪作为一种特殊的质能输运形式，通过对雪粒的输运以及输运过程中发生的风吹雪升华显著地影响地表积雪的时空分布，不仅加剧了积雪空间的不均匀分布，还重新改变了积雪区的雪面物质和能量平衡，极大地影响着水文循环和积雪的演变。然而，现有用于气候与生态水文过程模拟的陆面模式缺乏考虑风吹雪过程的影响，这也在很大程度上影响并制约了青藏高原积雪过程的模拟，导致青藏高原地区积雪及地-气相互作用过程模拟存在显著偏差。

基于陆面过程模式 Community Land Model version 4.5 (CLM4.5)，通过耦合风吹雪模型 PIEKTUK，发展了考虑风吹雪过程影响的风吹雪-陆面耦合模式，并利用包括 MODIS 积雪覆盖和积雪面积产品、IMS 逐日积雪产品、GLASS 地表反照率产品、MODIS 地表温度产品以及中国区域逐日积雪深度产品在内的一系列遥感产品，评估了耦合模式对于青藏高原积雪深度、积雪覆盖、地表反照率以及地表温度的模拟效果。评估结果表明，陆面过程模式中风吹雪过程的加入能够显著地改善模式对于青藏高原大部分地区积雪和地表能量关键要素的模拟效果，特别是昆仑山、可可西里以及青藏高原西南部等地的改善最为明显。陆面模式整体对于青藏高原积雪深度以及夜间地表温度存在普遍高估，而对于白天的地表温度则普遍低估，耦合模式对于夜间地表温度的模拟有明显的改善。在积雪模拟偏差减小的区域，考虑了风吹雪过程影响的耦合模式结果能够很好的反映出 MODIS 积雪覆盖率的月变化特征。风吹雪模型与 CLM4.5 的耦合，能够在一地程度上完善陆面过程模式中的高寒山区积雪水文过程参数化描述，对于提高模式高寒山区积雪过程以及地-气相互作用过程的模拟具有一定的促进作用。本研究成果推动了那曲站在寒区陆面过程与区域气候变化研究方面的发展。【Xie Zhipeng et al., Modeling blowing snow over the Tibetan Plateau with the Community Land Model: Method and preliminary evaluation [J]. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 2019, 124(16): 9332-9355.】

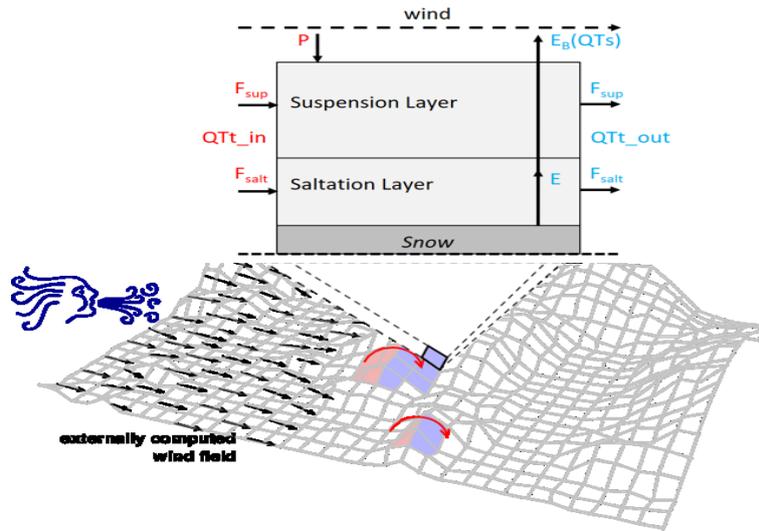


图 3.1.4 耦合模式风吹雪模块示意图

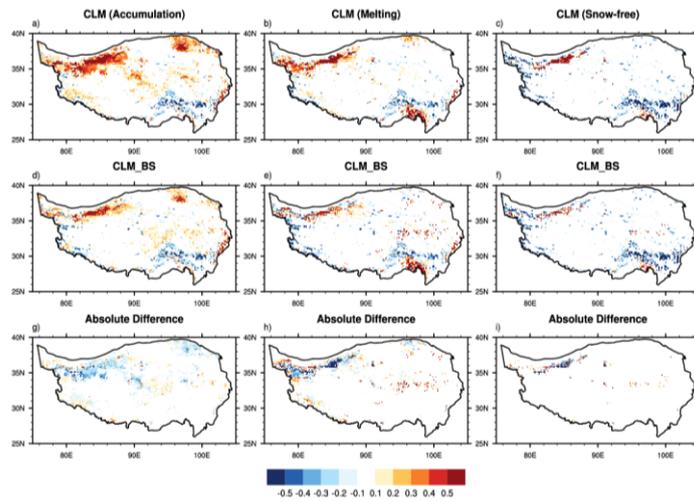


图 3.1.5 不同积雪期（积雪积累期、积雪消融期和无雪期）原始的 CLM 和考虑了风吹雪过程影响的 CLM_BS 模拟的青藏高原积雪覆盖率偏差及其差异（CLM_BS-CLM）的空间分布特征

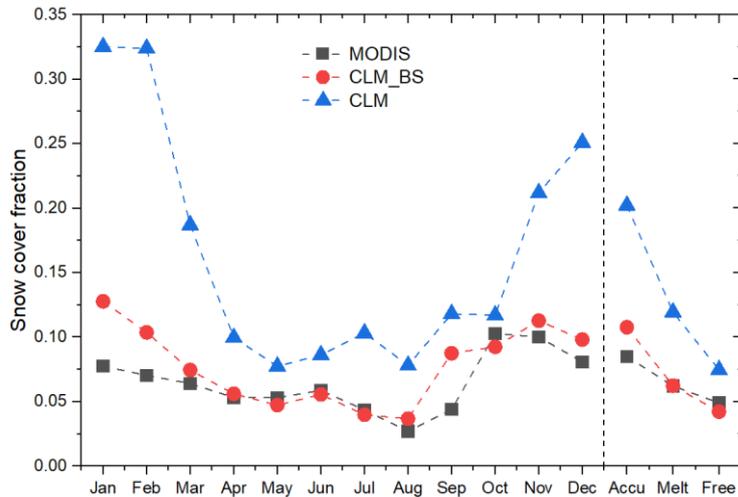


图 3.1.6 积雪模拟改善区域，原始的 CLM 和考虑了风吹雪过程影响的 CLM_BS 模拟的青藏高原月平均积雪覆盖率与 MODIS 积雪覆盖率产品的季节变化特征

➤ 珠峰站

青藏高原上空大气热源的变化：利用 ERA Interim 中 1979-2016 年资料，得出 3-5 月青藏高原主体为感热，6-8 月高原感热强度减弱，9-10 月感热与潜热强度相当。高原地表热通量的变化分析为下一步分析青藏高原上空大气热源的变化以及地表加热场如何影响大气环流奠定基础【Han, Y. , W. Ma*, Ma Yaoming, C.Sun, 2019. Journal of Meteorological Research】

2. 大气环境观测研究

➤ 藏东南站

青藏高原首次大气黑碳垂直分布观测研究：青藏高原具有接近大气背景的环境，而其周边则是黑碳气溶胶排放最为严重的区域之一。在青藏高原开展大气黑碳浓度廓线观测对研究黑碳气溶胶跨境传输过程和机制，评估其对青藏高原气候环境的影响具有重要的指导意义。以青藏高原第二次综合科学考察研究为契机，2017 年 11~12 月在位于青藏高原海拔 3300 m 的藏东南地区开展高空气球探测，进行大气黑碳浓度垂直廓线观测和分布结构的研究。观测结果显示，稳定大气边界层黑碳浓度为 $1000\pm 750 \text{ ng/m}^3$ ，生物燃烧源贡献为 $44\%\pm 37\%$ ；剩余层黑碳浓度为 $140\pm 50 \text{ ng/m}^3$ ，生物燃烧源贡献为 $16\%\pm 6\%$ ；自由大气黑碳浓度为 $120\pm 50 \text{ ng/m}^3$ ，生物燃烧源贡献为 $14\%\pm 5\%$ 。此外，本项研究表明稳定大气边界层和剩余层大气黑碳主要来源于局地排放，而自由大气黑碳则主要受西风急流长距离传输的影响。

➤ 慕士塔格站

从水汽来源探讨青藏高原内流区水量变化原因：青藏高原内流区约占整个高原面积的 1/3，拥有超过 66% 的高原湖泊总面积和 55% 的湖泊总数。近几十年，内流区水文状况发生了显著变化，主要表现为降水增加、湖泊扩张以及陆地水储量上升，而这些变化的驱动机制并不清楚。本研究从内流区大气水汽来源与收支变化的角度，探讨了其与降水、湖泊水量和陆地水储量变化之间的关系，期望对西风-季风协同作用下“亚洲水塔”变化及其影响这一问题的认识做出贡献。基于 3 套大气再分析资料(ERA-I、MERRA-2、JRA-55)，利用 WAM2 水汽追踪模型，追踪并量化了高原内流区 1979–2015 年的水汽来源。结果表明：(1) 陆源水汽主导了高原内流区的水汽输入(52%–54%)，而内循环(Local recycling) 占水汽总输入量的 17%–22%；(2) 内流区 1979–2015 年降水的增加主要源于夏季印度洋水汽贡献的增加，且水汽主要通过研究区西、南边界输入；(3) 高原内流区

的净水汽收支控制着区域陆地水储量和湖泊水量的变化。研究结果在一定程度上解释了青藏高原内流区降水、湖泊水量和陆地水储量变化的驱动机制，为全面理解气候变化对青藏高原区域水循环、水资源的影响提供参考。

第三极地区西风和季风主导流域源区降水梯度特征研究：以青藏高原为核心的第三极地区是长江、黄河、澜沧江、怒江、雅鲁藏布江、印度河、阿姆河、锡尔河和塔里木河等主要大江大河的发源地，为下游 20 多亿人口提供水安全，同时也是地球上两大环流—季风和西风交汇碰撞并严重影响人类生存环境的区域。降水是水循环的关键组成部分，也是水文模型模拟陆面水文过程的重要输入。模型结果的可靠性很大程度依赖于降水等气象输入的准确性。第三极地区海拔高、地形复杂，长时间序列的气象观测站点稀少且主要集中在东部低海拔地区，为该区域水文模拟研究带来很大挑战。已有研究表明，利用降水梯度将低海拔站点数据插值到高海拔区域，是反演高海拔区域降水数据的一个有效方法。然而，第三极地区地形复杂，高原热力作用、大尺度环流及高原局部环流等机制并存，降水的地形效应在不同地区也有所变化。因此，认识西风-季风作用下第三极流域源区降水和地形的关系及其影响机制，是通过降水地形校正来准确推算高海拔区域降水从而进行第三极流域水文模拟的前提。

针对以上问题，研究人员利用位于第三极东南部受季风主导的长江、黄河、澜沧江、怒江上游和雅鲁藏布江流域，以及位于西部受西风主导的叶尔羌河、印度河、阿姆河和锡尔河上游流域源区 256 个气象站和雨量筒的降水数据，分析了各流域降水随海拔变化的梯度关系；基于 ERA5 数据，通过分析水汽含量、对流有效势能和抬升凝结高度与各流域内海拔的变化关系，探讨了不同气候系统主导的流域呈现不同梯度特征的原因；通过水文模型模拟径流反向验证降水梯度校正方法在推算高海拔山区降水时的可行性。研究发现：（1）位于季风区的长江上游、黄河上游、澜沧江、怒江和雅鲁藏布江流域降水随海拔增加而降低，主要由水汽含量随海拔增加而减少所致，地形效应仅在小尺度呈现；西风主导的叶尔羌河、印度河、阿姆河和锡尔河上游流域降水随海拔增加而增加，地形效应明显，主要受抬升凝结高度降低和对流有效势能增加的影响。（2）位于西风区的叶尔羌河上游和位于季风区的雅鲁藏布江日喀则子流域的水文模拟反向验证结果表明（图 7），在降水地形效应明显的流域，地形校正是提高从低海拔站点推算高海拔区域降水可靠性、提高水文模拟精度的一个有效途径。

► 玉龙雪山站

对流层气溶胶立体结构研究：牛贺文副研究员在地球环境科学领域权威学术期刊 *Environmental Pollution* 发表了题为“Vertical Distribution of the Asian Tropopause Aerosols

Detected by CALIPSO”重要研究成果。该成果利用四年的（2007-2010）CALIPSO 气溶胶激光雷达数据，揭示了季风期亚洲对流层气溶胶层及其立体和垂直结构。从各种纬度-高度横截面和经度-高度横截面结果显示，波长 532 nm 和 1064 nm 处的气溶胶消光系数、532 nm 的后向散射系数、气溶胶颗粒态偏振率率（532 nm）表明季风季节时期，在北阿拉伯海、印度、孟加拉湾北部、赤道印度洋、以及青藏高原的东南部，大量的气溶胶垂直传输到对流层顶（12 公里）。与亚洲夏季风相关的对流传输是控制对流层气溶胶垂直分布的一个重要因素。532 nm 处气溶胶散射系数的演变表明，季风期在赤道印度洋至南亚地区，存在一个向上且倾斜的气溶胶层。因此，在评价区域或全球气候系统时，增强的对流层气溶胶在未来的研究应该予以考虑。为了准确的诊断这层可能源于人为排放的气溶胶层，深入的气溶胶卫星观测反演和现场观测迫切需要。

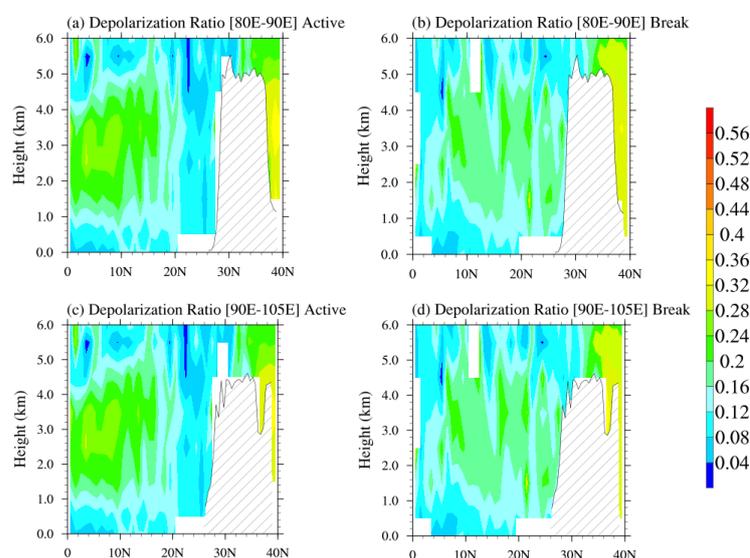


图 3.2.1 季风活跃期和间断期气溶胶颗粒态去极化率的空间分布（80-90E, 90-105E）

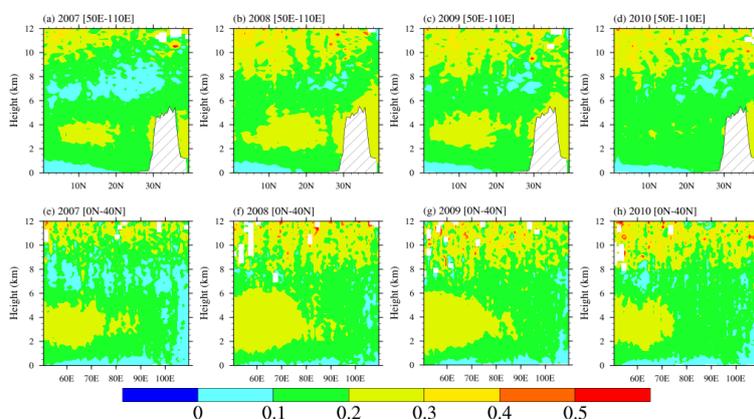


图 3.2.2 2007-2010 年亚洲季风期 532nm 处气溶胶去偏正率的年度分布

3. 冰川/湖泊观测研究

➤ 纳木错站

湖水温度长期监测及研究进展：通过在纳木错进行连续水温观测，结果表明纳木错为典型的双季对流混合型湖泊。纳木错主湖区从6月初开始分层，分层现象一直持续到11月初，分层时间超过5个月。夏季分层期间，表层湖水温度能达到 12°C ，混合发生之前温跃层持续变深，底层湖水温度维持在 3.4°C 左右。11月至次年5月，纳木错整层湖水发生翻转从而形成混合水体，水温下降，结冰期混合的湖水温度最低为 0.5°C 左右。通过对纳木错不同湖区两个监测点的对比研究，发现不同水深区水温变化具有显著的差异，东部浅水区春季水温增加及分层建立时间大约比主湖区提前一个月；主湖区表层水体日均温与气温高度相关但存在38天的滞后效应。

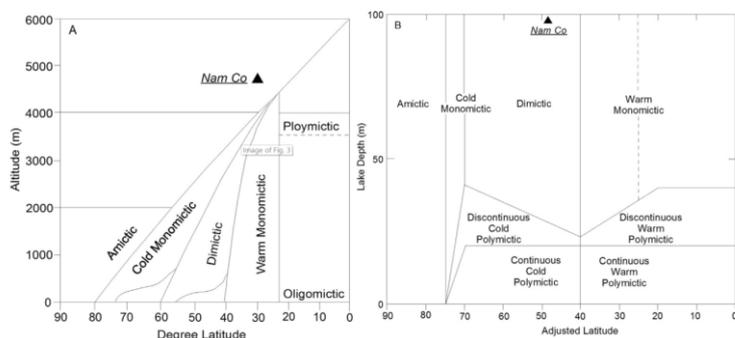


图 3.3.1 纳木错在两个不同的湖泊热力分类方案中的位置

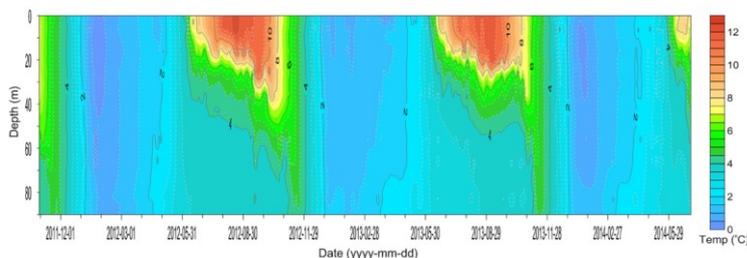


图 3.3.2 纳木错水温廓线图

纳木错位于较低的纬度 (30°N) 和极高的海拔 (4730m)，其太阳辐射强烈 (最大日均辐射近 400 W/m^2) 而年均气温只有 0°C 左右，导致纳木错的热力平衡过程不同于其他地区的双季对流混合型湖泊 (多位于高纬度低海拔地区)。通过对纳木错热量平衡的计算，结合湖水稳定度、表层湖水温度与最大密度温度 ($T_{\text{md}}=3.65^{\circ}\text{C}$) 的关系、结冰期及水体热通量等特征，将纳木错的热力分层变化划分为六个阶段。研究发现辐射强迫加上风力驱动引起纳木错秋季湖水混合时间变长，造成更多的湖泊热量损失，使得湖水最低温度能够下降到 1°C 以下，远低于 T_{md} ；同时在冬季结冰期间，太阳辐射穿过湖冰使

湖水获得的热量超过损失的热量从而持续加热湖水，导致纳木错湖水持续变暖并维持混合状态直至结冰期结束分层重新开始。该研究揭示了高海拔低温环境下冬季湖泊的变冷与相对强烈的太阳辐射穿透冰层导致湖水变暖的两个过程的相互作用，这与处于高纬度低海拔地区同样具有长时间结冰期的双对流湖泊具有显著的不同，丰富了物理湖泊学的研究成果，研究结果大大加深了对高原湖泊现代过程变化及机理的理解，对于深入理解湖泊与大气的相互作用具有重要的意义。

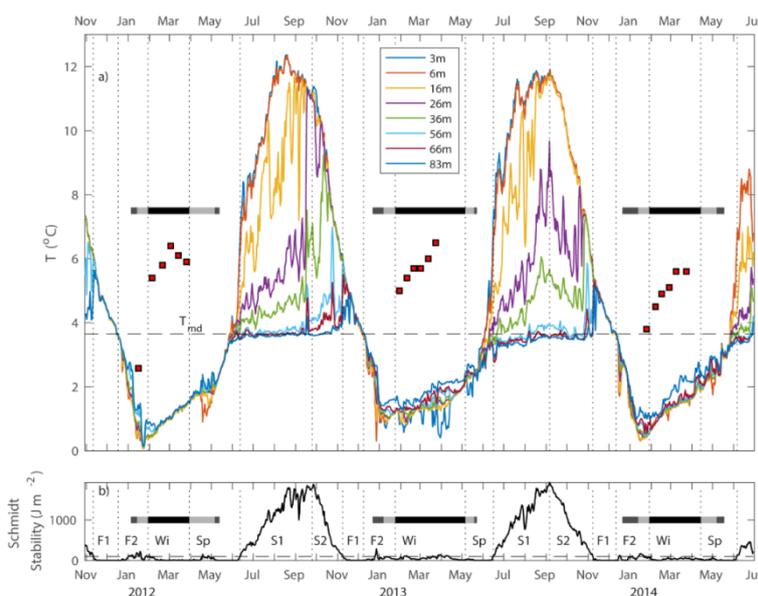


图 3.3.3 (a) 2012 至 2014 年，纳木错主湖区不同深度的水温记录及不同的热力分层阶段（以竖虚线表示）， T_{md} 代表纳木错湖水最大密度所对应的温度（ 3.65°C ），横杠代表湖冰覆盖，黑色代表完全结冰，灰色代表部分结冰，红点代表观测的湖冰厚度（以分米为单位）；(b) 根据湖泊垂直密度分布计算的 Schmidt 稳定度，大于 100 表明湖水分层。

研究成果分别以“Spatial and temporal variations in water temperature in a high-altitude deep dimictic mountain lake (Nam Co), central Tibetan Plateau”和“Seasonal stratification of a deep, high-altitude, dimictic lake: Nam Co, Tibetan Plateau”为题发表在 *Journal of Great Lakes Research* 和 *Journal of Hydrology* 上。

青藏高原湖泊水量变化的时空差异及原因研究新进展：朱立平研究员课题组结合 Landsat 影像和 SRTM 估算了 1976-1990，1990-2000，2000-2005 和 2005-2013 四个时段内共 317 个湖泊的水量变化，结果表明青藏高原湖泊水量从 1976 年到 1990 年减少了 23.69 km^3 ，从 1990 年到 2013 年增加了 140.8 km^3 。增加的湖泊水量主要集中在青藏高原的中部(区域 A)和北部(区域 B)，且发现 2000-2013 年区域 B 增加的湖泊面积(1981.6 km^2)比区域 A (1869.1 km^2)多，但区域 B 增加的水量却只有区域 A 的一半，表明由于湖泊周边地形的差异，湖泊的水量变化才能真实代表湖泊的变化情况。我们的结果还发现，尽管湖泊水量变化 ($7.19 \text{ km}^3/\text{y}$)与陆表水储量变化量 ($7 \pm 7 \text{ Gt}/\text{y}$)一致，但是两

者表现出明显的空间差异。

通过趋势分析表明 2000-2013 年减少的湖面蒸发对区域 A、区域 C 和区域 D 的湖泊水量变化的贡献量分别为 1.5%、2.5%和 1.7%。通过对青藏高原不同区域冰川物质平衡变化的资料收集, 经过粗略的估算表明 2000-2013 年冰川融水对区域 A、区域 B、区域 C 和区域 D 的贡献分别为 22.2%、39.8%、50.6%和 100%。该研究结果表明青藏高原西北部由于处于极度干旱、寒冷且降水少的气候条件, 冰川融水是湖泊水量变化的主要原因, 而位于青藏高原中部和北部等区域, 由于降水量多, 降水是湖泊水量变化的主要原因, 冰川融水的增多对湖泊的扩张起到一定的促进作用。【Qiao, B.J., Zhu, L.P., Yang, R.M. Temporal-spatial differences in lake water storage changes and their links to climate change throughout the Tibetan Plateau. Remote Sensing of Environment, 2019, 222:232-243】

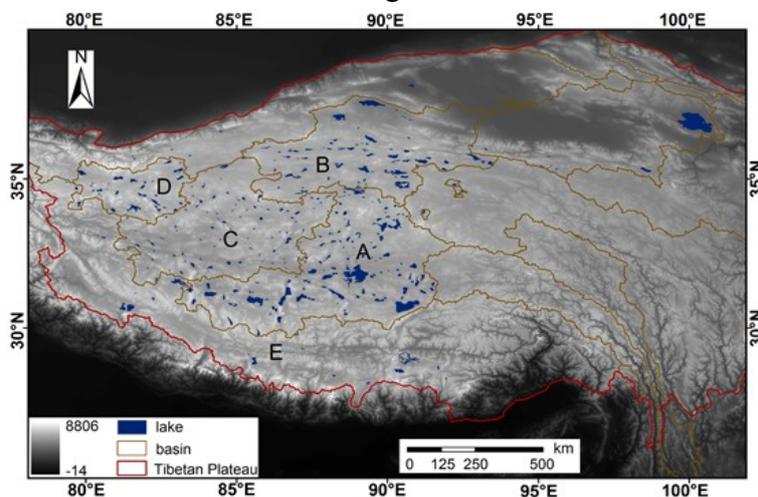


图 3.3.4 研究区域的位置、湖泊分部及区域划分情况

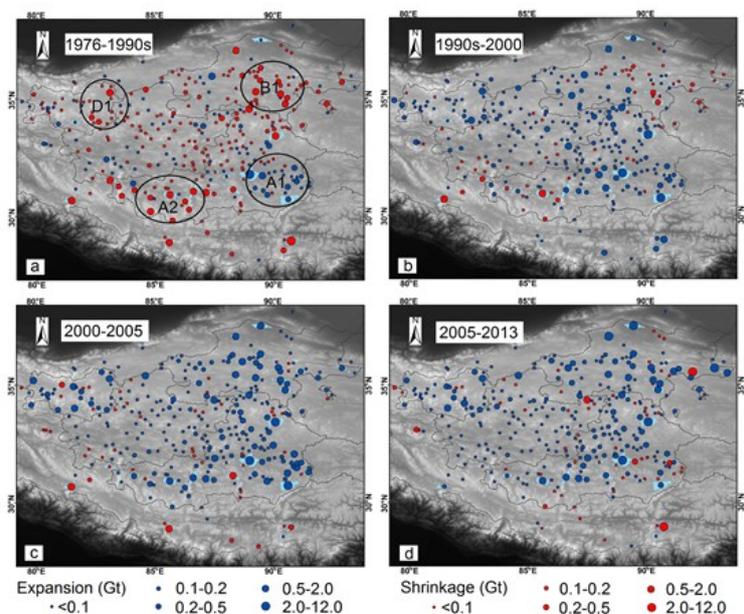


图 3.3.5 不同区域 1976-2013 年不同时期的湖泊水量变化情况

➤ 贡嘎山站

高寒生态地区河流碳输移规律及调控因素：河流是连接陆地、大气和海洋碳库之间重要界面和通道，对于碳在各个碳库之间的交换过程有重要作用。利用长期的采样与分析研究了长江上游典型高寒草地流域河流碳输移规律及调控因素。研究结果发现典型小流域风火山流域溶解态碳以 DIC 为主，活动层冻融过程对于河流 DIC 和 DOC 浓度及通量均有显著影响。在融化期，DIC 浓度随着融化深度的加深而增大。随着融化深度增加，DIC 和 DOC 通量增加。活动层变化直接影响河流碳浓度并且通过影响径流间接影响碳通量。河流溶解碳输出的季节性变化高度依赖于活性层融化和冻结过程，反映了多年冻土区特殊的河流碳输出过程。

基于稳定碳 ^{13}C 同位素方法发现长江源区的 DIC 以地源 (Geogenic) 为主，生源 (Biogenic) 占次要位置。DIC 主要来自蒸发盐岩和硅酸盐岩风化及溶解过程，而碳酸盐风化来源较少，并利用不同数据源得到验证。这一结果与北极冻土流域 DIC 来源不同，显示了青藏高原特殊的岩性和气候特征。在空间分异上， $\delta^{13}\text{C-DIC}$ 同位素值从上游到下游逐渐富集 (增加)，这一过程主要受到河流 CO_2 沿流程排放的分馏过程导致，同时也受到冻土覆盖度和植被的影响。季节性温度、径流以及活动层冻融过程也会影响 $\delta^{13}\text{C-DIC}$ 同位素值，这主要是由于融化过程导致 DIC 的来源发生变化导致的。这些结果增加了对青藏高原河流碳循环的认识，对于区域碳平衡有重要意义。【Chunlin Song, Genxu Wang, Tianxu Mao, Kewei Huang, Xiangyang Sun, Zhaoyong Hu, Ruiying Chang, Xiaopeng Chen, Peter A. Raymond. Spatiotemporal Variability and Sources of DIC in Permafrost Catchments of the Yangtze River Source Region: Insights From Stable Carbon Isotope and Water Chemistry. 2019,55:DOI: 10.1029/2019WR025343】

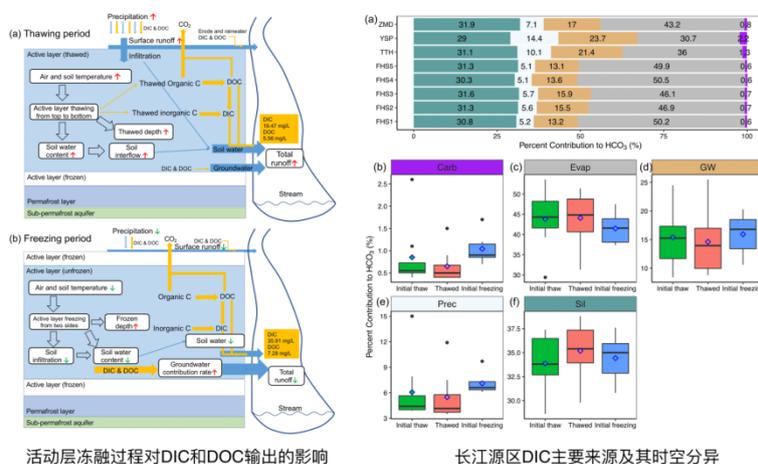


图 3.3.6 长江源高寒生态系统河流碳输移规律及调控因素

三峡库区沉积物中重金属的时空变化特征：三峡水库蓄水后，反季节水位的消长、库区上游来沙减少、以及库区气候变化和人类活动等已经影响到沉积物中重金属的累积过程。研究发现，2014年库区下游河段沉积物重金属的累积相对较高，而2016年库区中、上河段的累积水平增加。在垂直分布上，消落带沉积物中重金属没有明显变化，水下沉积物中镉和锌变化不明显，铜和铅随深度减小呈上升趋势。沉积物中镉具有较高的生态风险水平，但对水生生物毒性风险较低。矿物开采及冶炼、化石燃料燃烧、农业面源污染和大气沉降等是沉积物中重金属的重要来源。近些年水库周期性和反季节的流量调控、独特的地貌特征、泥沙属性和人类活动等是重金属时空分布发生变化的重要因素。将来，需要对沉积物中镉的生物有效性和迁移特征开展研究，尤其针对反季节水位调控模式下镉的迁移过程及机制进行深入研究。【 <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969718333722> ；
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969719304954>】

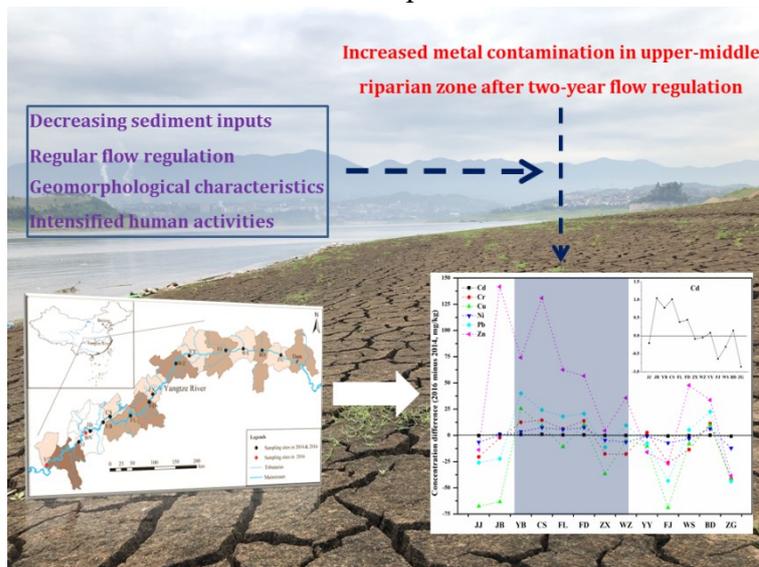


图 3.3.7 三峡水库消落带沉积物重金属的时空变化特征

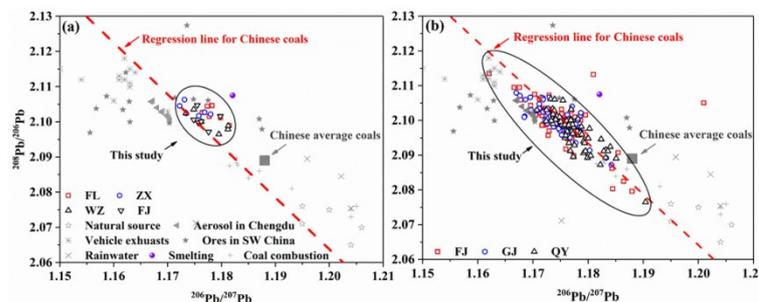


图 3.3.8 三峡水库沉积物铅的同位素比值揭示了铅的主要来源

➤ 天山冰川站

冰川过程、机理和模拟：推动了我国山地冰川物质平衡观测研究水平，开展了基于

地基三维激光扫描技术的物质平衡观测研究；重建了山中段奎屯河流域哈希勒根 51 号冰川长序列物质平衡；对冰川表面反照率和表碛覆盖两个影响冰川物质平衡的关键参数进行了量化研究；与德国洪堡大学合作开展冰川能量—物质平衡模拟研究，揭示冰川变化的物理机制及对气候变化响应过程。通过运用冰川动力学模式对我国典型山地冰川开展模拟预测。对乌源 1 号冰川流域径流及其组分长期变化以及对气候变化的响应进行了系统研究，并分析了月尺度、日尺度和小时尺度的径流变化特征和原因。以上研究成果在 *The Cryosphere*、*Journal of Glaciology*、*Global and Planetary Chang* 等期刊上发表并出版专著一部。此外天山冰川对南疆冰川资源状况进行了详细调查，对冰川近期变化对水文水资源的影响进行了评估，研究成果形成报告一份并提交给当地水利部门。

(1) 冰川物质平衡：1) 基于地基三维激光扫描技术的物质平衡观测研究：2018 年天山冰川站启动中国科学院野外站重点科技基础设施建设项目，建立面向我国西北干旱区 6 条参照冰川的观测网络，引入国际先进的 Riegl VZ-6000 地基三维激光扫描系统，开展冰川物质平衡观测研究。目前在天山乌鲁木齐河源 1 号冰川的研究已取得突破性进展。研究发现，基于地基三维激光扫描技术的大地测量法冰川表面高程变化值与冰川学法获取的同名点的高程变化值相关。大地测量法冰川物质平衡与冰川学法冰川物质平衡在冰川大部分区域空间差值的绝对值很小，两种方法计算出的物质平衡线高度十分接近。这一结果表明采用地基三维激光扫描技术开展年度或年内物质平衡观测研究具有巨大潜力，是传统冰川学物质平衡观测的最佳替代。

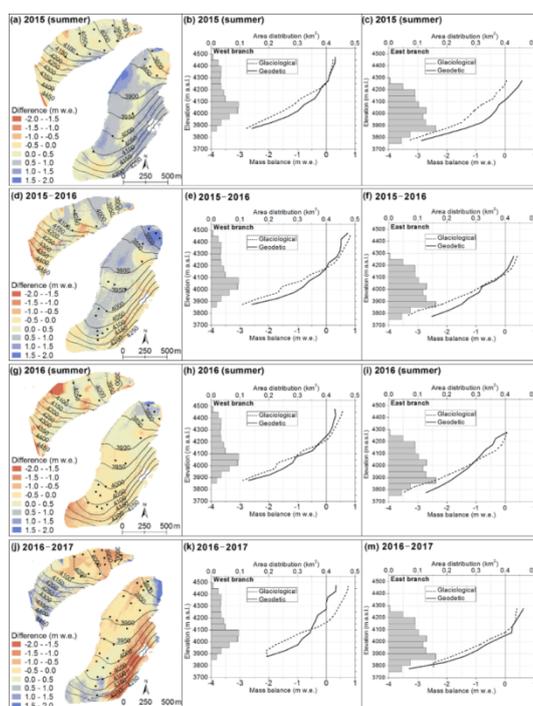


图 3.3.9 基于 Riegl VZ-6000 的大地测量法和冰川学法冰川物质平衡的空间差值 (a, d, g, j) 及海拔梯

度的对比 (b, c, e, f, h, i, k, m)

2) 长序列物质平衡重建: 天山冰川站于 1998 年开启天山中段奎屯河流域哈希勒根 51 号冰川的物质平衡观测工作, 但资料尚不连续。近期的研究基于该冰川 7 年的物质平衡实测资料, 结合冰川表面气象资料和再分析数据, 利用冰川物质平衡模型重建了该冰川 1999-2015 年的年物质平衡和季节物质平衡, 并揭示了其变化规律和控制因素, 为中亚地区冰川物质平衡观测增添了珍贵的长序列数据。

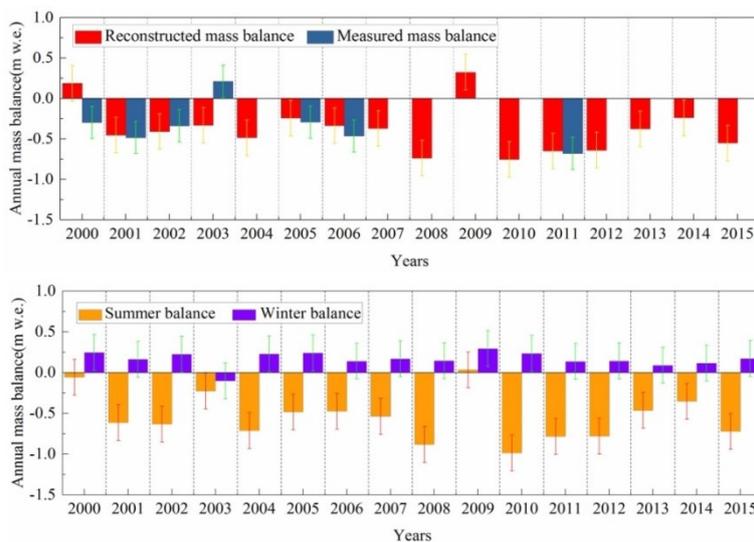


图 3.3.10 天山奎屯河流域哈希勒根 51 号冰川 2000-2015 年物质平衡重建

3) 物质平衡关键参数的观测研究: 冰川表面反照率和表碛覆盖是影响冰川物质平衡的两个关键参数。针对乌源 1 号冰川的反照率遥感反演研究表明, 消融初期, 冰川表面反照率值很高, 平均在 0.7 以上, 空间变化不明显。随着消融的进行, 反照率逐渐降低, 至消融中后期降至最低, 在 0.3 左右, 空间上呈现随海拔升高而增大的趋势, 且物质平衡线附近增加最快。冰川反照率的这种时空格局除了受入射辐射 (云量和太阳高度角) 影响外, 冰川表面特征 (积雪、裸冰范围及吸光性物质的含量等) 是决定其变化的主导因素。围绕天山托木尔峰青冰滩 72 号冰川的研究, 通过对气候变化、冰川响应延迟、冰川地形特征和表碛覆盖影响的综合分析, 揭示了随气候持续变暖, 表碛范围和厚度增大, 对冰川消融抑制作用增强, 表碛覆盖型冰川退缩会有所减缓的响应规律。

4) 冰川能量—物质平衡模拟研究: 冰川能量—物质平衡能够在一定程度上揭示冰川变化的物理机制及对气候变化响应过程和机理。围绕乌源 1 号冰川的研究结果表明: 造成冰川消融的能量主要来源于净短波辐射。与降水相比, 物质平衡对气温和雪面反照率的变化更加敏感。研究还发现, 冰川物质平衡对气候变化的敏感性在不同地区存在明显差异, 这主要是由消融季固液态降水量比例、净短波辐射能量及降水季节性的差异造

成的。此外，基于乌源 1 号冰川东支海拔 4025 m 处自动气象站的观测数据和同期物质平衡数据，与德国洪堡大学 Christoph Schneider 教授团队合作利用 COSIMA 模型对该冰川东支 2018 年消融期单点能量-物质平衡模拟显示：物质平衡模拟值与实测值具有非常好的一致性，相关系数达 0.96。造成冰川消融的能量主要来源于净短波辐射(84%)、感热通量(16%)；冰川能量支出主要为净长波辐射(55%)、冰川消融耗热(32%)、潜热交换(7%)及地热通量(6%)。受能量收支影响，模拟物质平衡主要取决于表面消融和固态降水。与我国已有不同区域大陆型冰川研究结果比较发现，乌鲁木齐河源 1 号冰川物质损失较为显著，能量通量主要取决于海拔高度以及气候条件，再冻结和固态降水显著小于羌塘 1 号冰川和扎当冰川，推测与单条冰川所处大气环流有关。

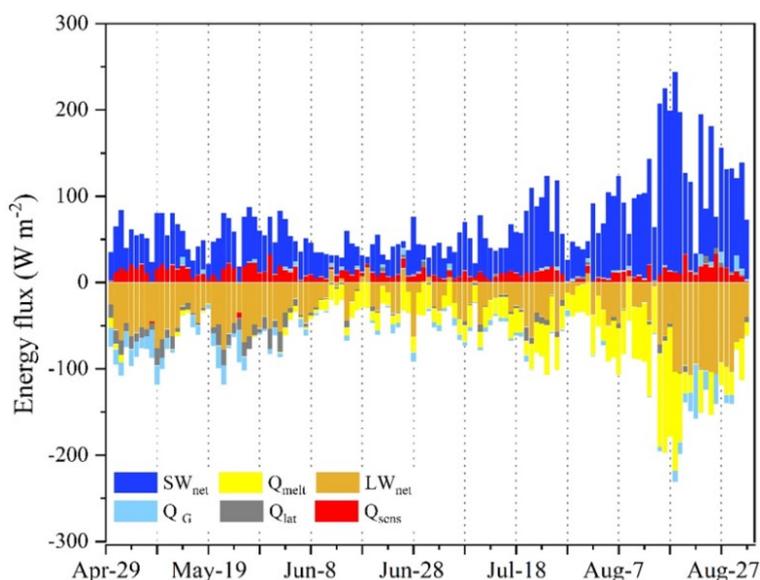


图 3.3.11 乌源 1 号冰川东支消融期日均能量分量

(2) 山地冰川动力过程、机理与模拟：通过运用冰川动力学模式对典型山地冰川的模拟预测得出：冰川体积及其变化过程的控制因素主要为物质平衡。物质平衡主要取决于冰川区的气候和地形条件。区域气候及地形地势等决定了该区域冰川总体规模（体积），而区域内部地形条件决定了冰川个体规模。冰川的规模是冰川物质平衡和地形条件的综合反映，而冰川补给高度在所有地形要素中最为重要。冰川面积和长度的变化过程，以冰川“退缩”和“减薄”两种变化形式的交替为特征，每一次变化形式的改变，都会在面积和长度的变化过程中形成“拐点”。而控制这两种变化形式的主要因素是冰川冰量（厚度）的分布状况。对中国境内以夏季为积累期的冰川来说，降水增加，对其未来变化的影响作用有限，保护性不强。而对于全球范围以冬季积累、夏季消融为特征的冰川来说，降水的变化，对冰川未来变化有明显影响。上述系列成果于 2019 年出版《山地冰川物质平衡和动力过程模拟》专著一部。

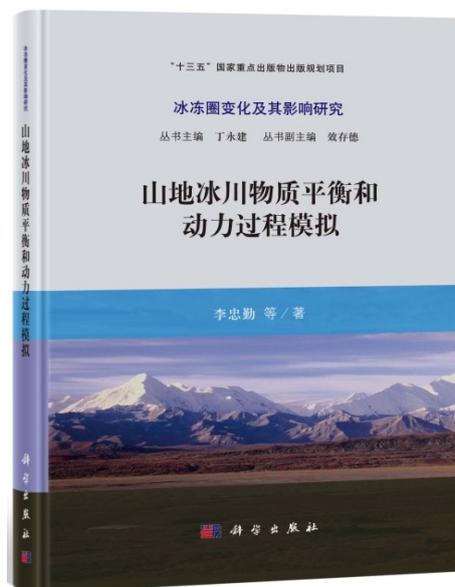


图 3.3.12 《山地冰川物质平衡和动力过程模拟》

(3) 冰川资源变化及影响研究：1) 天山乌鲁木齐河源区冰川水文研究：气候变化对冰川及其径流的影响研究是目前国内外关注的热点和前缘领域之一，目前的研究主要以模拟为主，实测资料十分有限且不确定性很大。天山冰川站围绕乌鲁木齐河流域上游建立的冰川水文观测系统开启了我国的冰川水文学研究。基于乌河源区 1959-2017 年观测数据，对乌源 1 号冰川流域径流及其组分长期变化以及对气候变化的响应研究表明：1 号冰川流域径流冰川径流和非冰川区降水径流各占 70%和 30%，其中冰川径流包括冰川区降水径流和冰川融水径流，各占 44%和 26%。59 年间，冰川径流呈上升趋势，在 1992 年之后出现了一个阶梯式的上升，与气温升高和降水的增加有关，1997-2007 年达到高峰，2008 年以后出现波动下降趋势，其原因除了与该时段的降水有所降低之外，冰川面积减小的影响也不可忽视。

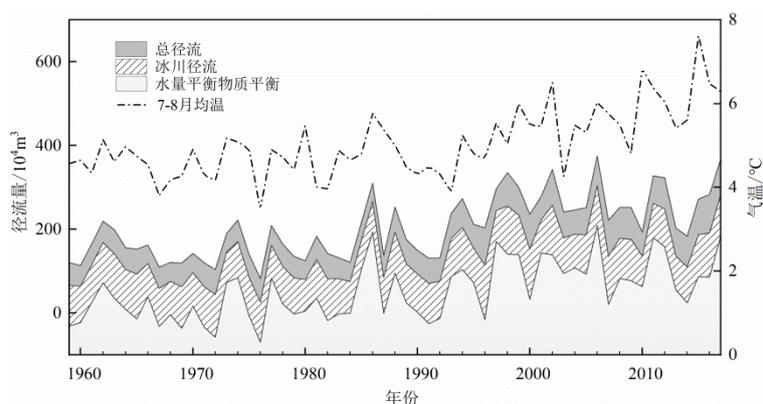


图 3.3.13 乌鲁木齐河源 1 号冰川水文径流分割图

对乌源 1 号冰川月尺度、日尺度和小时尺度的径流变化特征分析表明：月尺度径流呈上升趋势，并在 1996 年之后径流呈高位波动态势，径流峰值一般出现在 7 月，1996

年后 6-8 月经流增加最明显；日尺度径流主要受控于正积温变化，90 年代径流主要在 6-7 月增加，到 2000-2009 年转为 8 月增加显著，在 21 世纪，尽管日气温有增加，受日降水减少影响，年代际间日径流增幅减小；小时尺度径流除 5 月外，6-8 月昼夜变化明显，日最大流量出现在 15:00-17:00，最小流量在 7:00-9:00，排除降水影响下，最大流量滞后最高气温约 0-5 h。

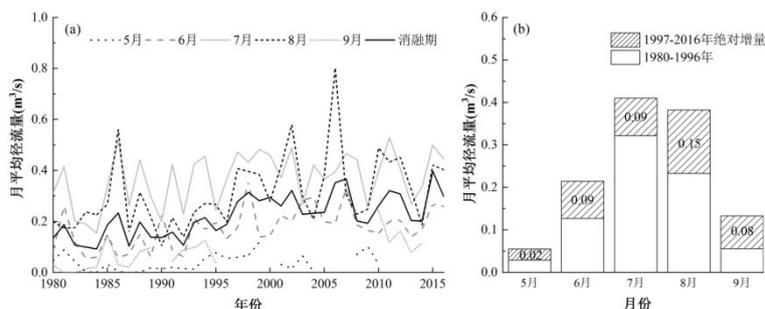


图 3.3.14 乌源 1 号冰川区月尺度径流变化趋势 (a) 及其在不同时期的变化 (b)

2) 南疆地区冰川资源调查及影响：应新疆维吾尔自治区地质矿产勘查开发局第二水文工程地质大队委托，中科院天山冰川观测试验站对喀什地区和克孜勒苏柯尔克孜自治州的冰川发育特征、20 世纪 60 年代至 2009 年间冰川面积和储量等变化，以及冰川变化对该区主要水系水资源影响进行了全面系统的研究梳理。结果表明，喀什行政区和克孜勒苏柯尔克孜自治州共发育冰川 4850 条，面积 7540.9 km²，冰储量 800.22 km³，分别占全疆的 23.4%，33.3%和 36.7%，面积>30 km² 的冰川达 27 条，以大冰川为主。冰川变化主要反映在面积退缩和厚度减薄上，20 世纪 60 年代至 2009 年该区冰川面积从 9027.03 km² 减少至 7540.87 km²，退缩率为 16.5%；储量从 950.12 km³ 减小到 800.22 km³，减小为 15.8%；同期冰川条数减少了 37 条。冰川面积退缩率远低于同时段中国境内阿尔泰山地区(35.8%)、祁连山地区(30.4%)，与天山、青藏高原西南部的相当(17.1-20.4%)，高于青藏高原腹地的冰川的面积退缩率(8%)。

冰川融水带来了充裕的水资源，对河川径流过程产生重要的有益调节作用。据估算，喀什行政区冰川主要作用流域—喀什噶尔河流域冰川融水对喀什噶尔河径流贡献率约为 25-35%，克孜勒苏柯尔克孜自治州冰川主要分布流域—叶尔羌河流域冰川融水对叶流域径流的贡献率为 55-75%，高于新疆天山阿克苏河(40%)，并远高于我国西北干旱区的黑河(4-8%)、石羊河(<10%)、布尔津流域(7.7%)、天山北麓诸河(13.5%)和伊犁河(19.2%)等流域冰川融水径流贡献率。可见，冰川水资源对该区具有举足轻重的作用，未来 20-50 年间，随着未来气温的升高，大型冰川消融旺盛，冰川融水径流量仍有望增加，并对气温的依赖性增强，除非气温有大幅度升高，否则不会出现融水峰值。一些以小冰川为主的流域，随着冰川的不断退缩消亡，会对河川径流产生影响。与我国

其他冰川冰川作用区不同的是,该区降水对河流的补给很少,一旦大多数冰川消失殆尽,将导致径流锐减,最终处在一个较低的水平,对该区水资源将产生灾难性影响。此外,冰川带来充沛的水资源补给的同时,也易诱发各种冰川灾害(如冰川泥石流、冰雪消融型洪水、冰湖溃决洪水、冰川跃动产生的洪水)。

针对该区冰川的特征,首先应该加强冰川和水资源变化观测,以准确掌握未来冰川及其水资源变化过程,尤其是径流降低拐点出现时间的预测。其次是通过各种方式提高水资源变化调控和适应能力。此外,应该防范由于冰川剧烈消融而引发的冰川灾害和次生灾害,加强冰川灾害方面的预警工作,研究其产生机理。上述系列成果形成《喀什地区及克孜勒苏柯尔克孜自治州冰川状况调查报告》一份。

冰川与其它圈层相互作用:在全球气候变暖背景下,我国西部冰川不稳定加剧,冰雪灾害频发,对社会经济和人类生产生活产生了重要影响。为此,中科院西北研究院天山冰川观测试验站联合中科院青藏高原研究所、西北大学城市与环境学院等单位,开展冰川与其它圈层相互作用方面的研究。上述成果在《科学通报》中英文版上相继发表。

(1) 全球气候变暖对冰川稳定性影响研究:对乌源1号冰川的研究表明过去30年冰川内部温度整体上出现加速升高的趋势。冰川“变暖”对其自身稳定产生了很大影响,表现为融化加剧、冰川跃动事件增加和冰川湖扩大。未来即使气温不再升高,一些冰川还会继续退缩,跃动冰川的条数也会持续增加。可见冰川“变暖”无疑会寒区水文、生态和工程的稳定性产生重大影响。

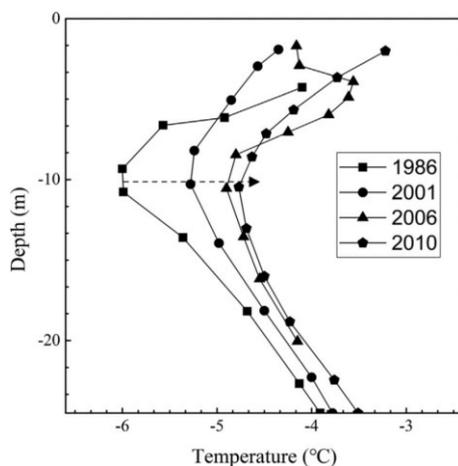


图 3.3.15 近 30 年乌源 1 号冰川海拔 3840 m 处冰川温度剖面变化

(2) 冰川状态与灾变风险研究:研究发现青藏高原及周边地区冰川整体处于缓慢退缩状态,但这种状态在 20 世纪 90 年代以来发生了根本变化。以东帕米尔-喀喇昆仑-西昆仑地区冰川相对稳定甚至部分冰川前进为特征的“喀喇昆仑异常”是青藏高原及周边地区冰川状态失常的一种表现形式;而青藏高原东南地区冰川加速退缩则是这一地区

冰川失常的另一种表现形式。高海拔地区的异常升温是青藏高原及周边地区冰川状态失常的重要驱动力。另外，这种冰川状态失常还与气候变暖背景下的西风和季风大气环流过程有关。随着全球变暖的加剧，冰川状态失常直接导致冰崩、冰湖溃决等灾变风险的增加。应对青藏高原及周边地区冰川状态失常的不利影响，需要进一步加强冰川变化监测与研究，加大冰川灾害防范力度。

雪冰化学与环境：对兰州市污染物进行了系统研究，揭示了污染物排放减少及气象条件的改善是兰州市空气质量变好的主要原因。对兰州市挥发性有机物（VOCs）的研究发现甲醇含量最高，与其他城市相比，兰州的氧化性 VOCs（OVOCs）较高，芳香烃较低。上述成果在 *Science of the Total Environment*、*Environmental Science and Pollution Research* 等期刊上发表。

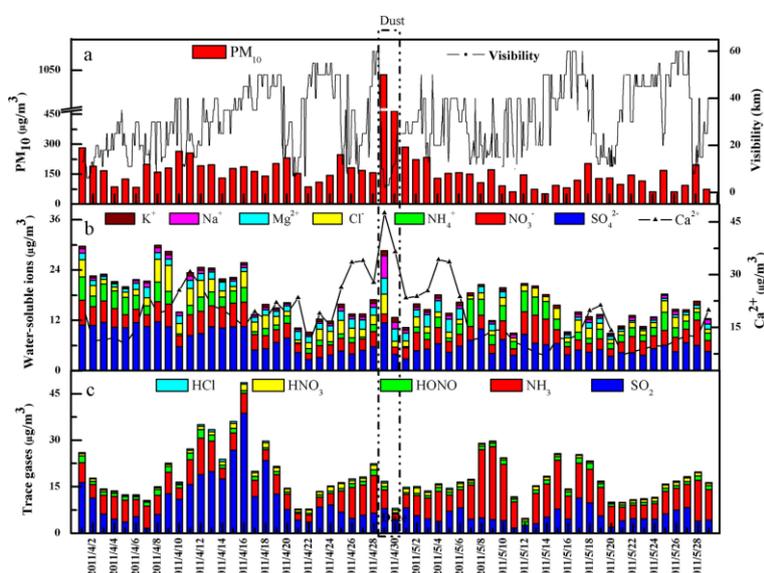


图 3.3.16 整个监测期间 PM10、能见度、水溶性离子和痕量气体的时间序列

由于经济及人口快速的的增长，中国各大城市空气质量发生了不同程度的恶化，并对人体健康了严重极大危害。研究城市空气质量变化成因，对空气污染治理及相关政策的制定具有重要意义，尤其是在具有沙尘出现的西北干旱区。针对以上问题，中科院天山冰川站雪冰化学研究团队以兰州市为例，研究发现 2013-2016 年来兰州市 SO_2 、 $\text{PM}_{2.5}$ 和 PM_{10} 浓度呈下降趋势， NO_2 、 CO 和 O_3 浓度呈上升趋势，但颗粒物污染年均值超过二级标准， NO_2 和 O_3 的升高将使兰州空气污染由煤烟型污染转变为复合型污染。兰州市污染物浓度冬季比夏季高，但 O_3 夏季比冬季高，且颗粒物在春季也有较高值；污染物在上午 10 时至 12 时左右为最高浓度值，下午 16 时左右浓度最低，但 O_3 正好相反；相比全国的空气污染状况，兰州市 NO_2 污染较其他城市更为严重， PM_{10} 、 CO 次之。兰州市的污染物的主要来源为地壳源、燃烧源和光化学源，远距离输送主要来自新疆沙漠

戈壁。兰州市污染物排放减少及气象条件的改善是兰州市空气质量变好的主要原因。首先通过气态前体物和水溶性例子时序分析，重要污染物的特征比和后向轨迹分析探究了兰州市沙尘期和非沙尘期气态前体物及其对应的水溶性离子之间的关系；其次，利用 PMF 模型对沙尘期和非沙尘期中水溶性离子进行了源解析；最后，使用浓度权重分析对兰州市春季粗颗粒物中水溶性离子的潜在来源进行了详细的了解。

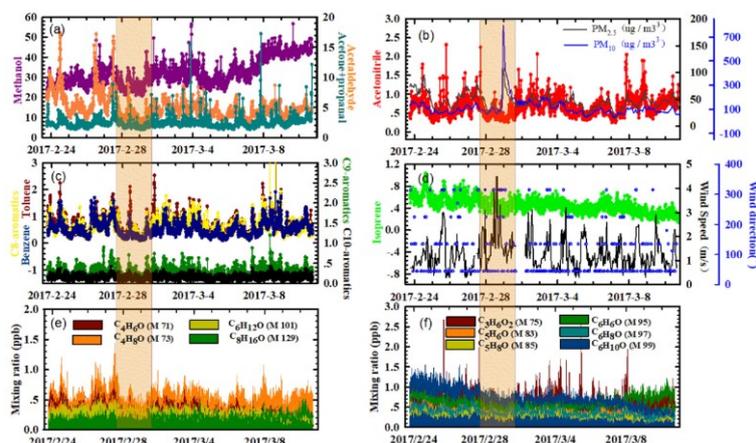


图 3.3.17 兰州市春季 VOCs 的变化特征

对兰州市挥发性有机物 (VOCs) 的研究发现: VOCs 为甲醇>乙醛>乙酸, 与其他城市相比, 兰州的氧化性 VOCs (OVOCs) 较高, 芳香烃较低。PMF 模型解析出 8 种污染来源, 包括工业过程-煤炭、二次形成、工业过程-燃油、住宅生物燃料使用和废物处理、溶剂使用、汽车尾气、生物源和生物质燃烧。PSCF 和 CWT 模型解析了其潜在源区, 并表明当地排放对 VOCs 总量的贡献达 65-71%。OVOCs 占臭氧生成潜势的 43%, 住宅生物燃料使用和废物处理、工业过程-燃油和溶剂使用是 O₃ 生成的主要来源, 而溶剂使用和汽车尾气是 SOA 形成的主要因素。

► 若尔盖站 (西北研究院)

青藏高原湖泊冻融过程关键影响因子研究: 青藏高原湖泊对气候变化的响应非常敏感。大量的研究已聚焦于高原湖泊水量面积变化及其对气候变暖的响应。同时, 伴随观测能力的提升, 非冻结期的湖泊大气相互作用也被逐步揭示。非冻结期的湖气相互作用, 不仅受到同期湖泊热力与大气过程的影响, 而且对于前期冰盖和积雪的变化也非常敏感。但是, 目前仍很少有研究关注高原湖泊的冻融过程及其关键影响因子。本研究利用包含水热传输以及生物地球化学循环过程的一维湖泊模型 LAKE2.0, 结合黄河源区鄂陵湖流域的长期观测资料, 通过 216 组数值模拟试验, 评估了湖冰与积雪反照率、湖冰和水体消光系数对鄂陵湖湖冰物候、水温和湍流交换的影响。结果表明: 冻结期水温随着湖冰消光系数以及湖冰反照率的增大而显著下降; 与潜热相比, 感热通量对于这两个参数的

响应更为敏感。当湖冰消光系数处于 2.5 至 5.0 m^{-1} 时，四个变量（湖冰厚度、水温、冻结日数和积雪日数）都随着消光系数的减小而显著增大；当消光系数小于 2.5 m^{-1} 时，湖冰厚度的增加不再显著。在冻结期积雪较少时，湖冰消光系数对其的影响不显著。上述四个变量对于水体消光系数的变化不敏感。与湖冰反照率相比，积雪反照率对于冻结日数的影响更大，尤其是在积雪反照率处于 0.5 至 0.75 区间时。

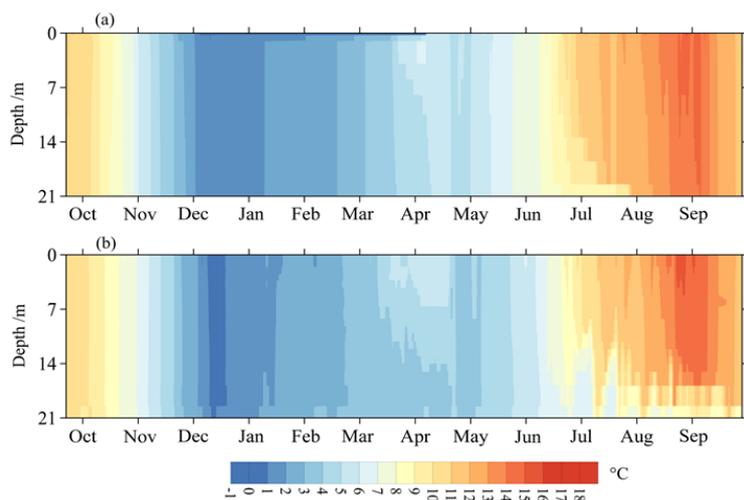


图 3.3.18 控制试验模拟的 (a) 和观测的 (b) 2015 年 9 月至 2016 年 9 月的鄂陵湖水温廓线

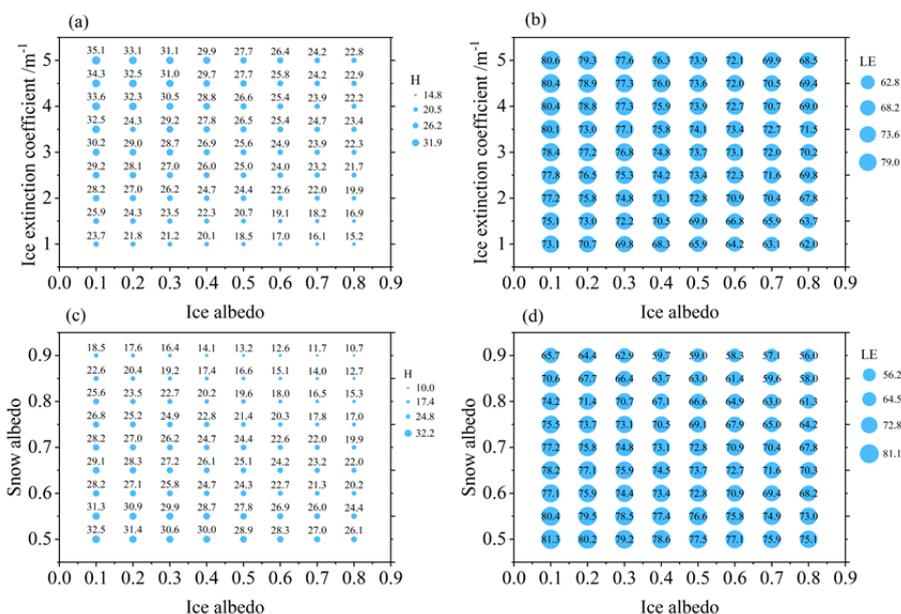


图 3.3.19 不同的试验模拟的年平均的鄂陵湖感热与潜热通量（单位： $W m^{-2}$ ）

高原湖泊对气候变暖响应的数值研究：利用 FLake 模式研究表明 FLake 模式对高原湖泊具有较好的模拟能力，能够模拟出青海湖热力状况及季节性变化。模拟结果表明随着全球气候变暖，青海湖表面温度呈增加趋势，与气温以及向下长波辐射有较好的相关性，而与风速负相关，气温的升高是湖表面温度上升的主要原因，同时风速的下降进一

步促进了湖面温度的上升。湖泊混合层温度的升高导致湖泊热力层结稳定性加强，使得湖泊底层水温呈微弱下降趋势。青海湖湖面年平均净短波、净长波辐射、感热通量以及潜热通量均成下降趋势。

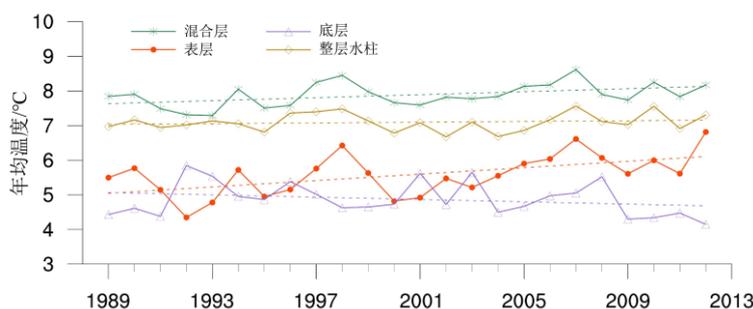


图 3.3.20 模拟的青海湖不同深度湖温年变化

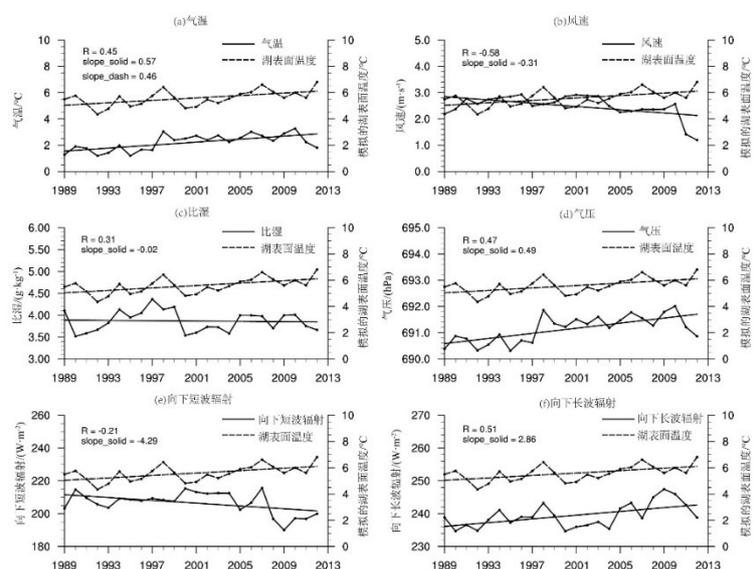


图 3.3.21 1989-2012 年 Flake 模拟的湖表面温度与 ITPCAS 驱动数据各变量年际变化趋势及相关性分析

➤ 藏东南站

冰崩威胁亚洲水安全：我站科研人员在 Nature 发表冰崩威胁亚洲水安全的科学评论文章文章分析了气候变化对“第三极”固态水库的威胁及其对该区域河流、湖泊变化的影响，强调了在已建成的全球最大地表水汽稳定同位素观测网的基础上，继续沿西风-季风传输路径拓展高精度三维（地表至高空）水汽稳定同位素观测的重要性。为了清楚认识该区域水循环，服务于“一带一路”国家绿色发展，在“丝路环境”专项（Pan-TPE）和“第二次青藏科考”（STEP）的支持下，由姚檀栋院士任主席的 TPE 国际计划和青藏高原研究所致力于在泛第三极地区沿西风-季风传输断面建立气象和三维水体稳定同位素观测网络，并在三个热点地区（帕米尔山脉（西风主导）、喜马拉雅山脉（受印度季风影响）和横断山脉（东亚季风盛行））开展海拔、大气环

流和水汽相互作用的加强观测研究，同时，推动适用于全球和区域气候模型的数据共享，研发能够实现第三极多圈层相互作用的新一代地球系统模型，以评估人类活动和气候减缓策略的区域影响，从而帮助社会各群体制定相应的风险控制和适应策略。文章还呼吁全球从气候学到社会科学的多学科科学家必须通力合作，科学应对全球变暖在第三极的链式影响和响应。该文章发表于 *Nature*, 2019, DOI: 10.1038/d41586-018-07838-4.

➤ 阿里站

冰冻圈水循环加速：以青藏高原为核心的“第三极”是除南极和北极以外冰川储量最大的地区，被称为“亚洲水塔”。第三极地区正经历着快速变暖，导致“亚洲水塔”发生以失衡为特征的剧烈变化：冰川加速退缩，湖泊整体显著扩张，冰川径流增加等，总体上体现为第三极地区冰冻圈水循环过程加速。“亚洲水塔”失衡变化导致青藏高原及周边地区水资源和水灾害风险增加，伴生出现相应的灾害甚至灾害链，如冰崩、冰川跃动、冰湖溃决洪水、冰川泥石流等，尤其是极大陆型冰川和海洋型冰川均出现了冰崩灾害，可能表明第三极地区冰川整体上已处于不稳定状态。为了清楚认识气候变暖背景下的第三极地区水循环过程，理解第三极地区冰川状态失常原因，构建聚焦水问题的观测和地球系统模型新体系，服务于“亚洲水塔”的水安全战略和水资源管理。相关成果发表于中国科学院院刊。【姚檀栋 等, 2019; 王宁练 等, 2019; 邬光剑 等, 2019)、科学通报 (姚檀栋 等, 2019; 高晶 等, 2019)、*Bulletin of the American Meteorological Society* (Yao et al., 2019) 和 *Nature* (Gao et al., 2019)】

冰川物质平衡变化：阿里地区处于西风-季风交汇影响区，大气环流强弱变化影响着青藏高原冰川变化的时空差异。阿里地区的季风影响区的冰川和西风影响区的冰川物质平衡表现出显著的不同，相比于季风影响区强烈消融的纳木那尼冰川，西风影响区的古里雅冰川观测结果显示冰川呈现微弱的物质负平衡状态，2015/2016 年度物质平衡仅为 -0.193 m 水当量。物质平衡模拟表明，古里雅冰川物质平衡对降水和水汽变化更敏感，而对温度变化敏感性相对较弱，冷湿气候组合导致冰川物质正平衡状态。这一观测研究结果也在一定程度上说明“喀喇昆仑异常”现象在昆仑山西部也有不同程度的表现。相关研究成果发表于 *Cold Regions Science and Technology* (Li et al., 2019) 和中国科学院院刊 (王宁练 等, 2019)。

➤ 玉龙雪山站

青藏高原冰冻圈现状及变化研究：杨梅学研究员、王学佳副研究员等，在国际地学领域顶级期刊 *Earth-Science Reviews* 上发表题为“The Tibetan Plateau cryosphere:

Observations and model simulations for current status and recent changes”的论文，阐述了基于观测与模拟的青藏高原地区冰冻圈的状态与变化的最新研究进展，对未来冰冻圈及其与气候相互作用的研究前景进行了展望。研究指出，青藏高原在过去半个多世纪呈现出大面积的变暖和变湿趋势，过去 50 年气温已升高 1.5-2°C，为同期全球增温的 2 倍之多。青藏高原大部分冰川发生了显著的退缩，并表现出明显的区域差异，最小退缩率发生在高原内部，由内向外逐渐增加。冰川的模拟相对较少，仍处于发展阶段。积雪是冰冻圈高度敏感的要害，自 1960s 到 2010s 总体上呈现减少趋势，但具有很大的年代际变化。积雪的模拟主要集中于积雪异常和气候、大气环流的相互反馈上。野外观测和模式的结果表明，随着冻土温度增加，多年冻土退化、季节冻土的季节冻结深度减小。在未来气候变暖下，青藏高原的冰冻圈要素都将会持续萎缩。青藏高原是全球变化研究的关键地区之一，具有全球变化研究的独特性和优越性，但缺乏长期的、系统的、高质量的观测数据。目前，观测资料的缺乏是青藏高原研究面临的重大挑战。为应对这些问题，综合使用可靠的原位观测、遥感测量以及改进的数值模式对于青藏高原冰冻圈及其与气候的相互作用研究取得突破至关重要。

4. 植被生态系统研究

➤ 藏东南站

树轮记录的青藏高原东南部 1340 年以来的冬季温度变化：梁尔源研究员课题组利用 2007-2016 年期间采集的树木年轮样本重建了青藏高原东南部地区公元 1340 年以来的冬季（11-2 月）最低温度变化历史。该冬季温度历史记录揭示：（1）青藏高原东南部地区冬季温度变化与太阳活动有关。例如在 Spörer Minimum（1450-1550 年）和 Dalton Minimum（1790-1820 年）太阳活动极小期，该地区冬季温度约-16.0°C和-15.8°C，较最近 30 年（-15.1°C）低约 0.9°C和 0.7°C。但是，太阳活动和冬季温度的关系并不稳定。例如，在另一个 Maunder Minimum 这个太阳活动弱的时期，该地区温度反而偏暖。（2）1815 年印度尼西亚 Tambora 火山的爆发不仅引起了夏季温度的降低，也造成了研究区冬季的极端低温。该研究成果由黄茹博士生为文章第一作者发表于 *Climate Dynamics*, 2019: 1-13.

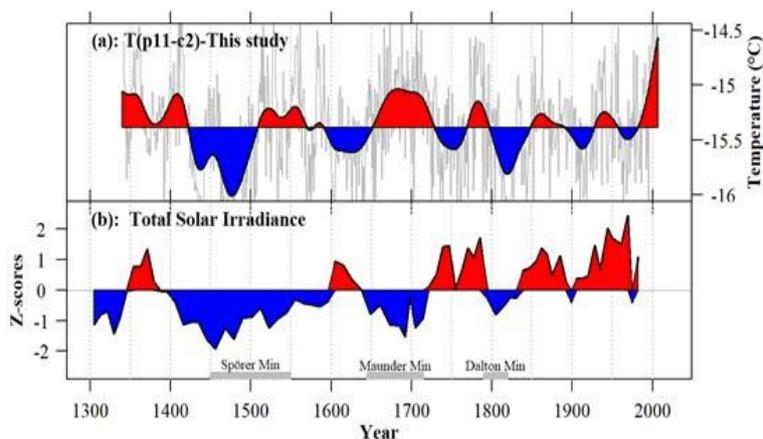


图 3.4.1 重建的冬季温度序列 (a) 与太阳活动 (b) 序列的对比。A 中灰色线表示重建原始序列 (1340-2007)，阴影表示重建序列 51 年样条函数序列 (低频变化)

► 纳木错站

增温可促进高原鼠兔对针茅草原的取食活动：高原鼠兔为青藏高原的特有物种，数量大，多栖息在土壤较为疏松的坡地和河谷地带。因被认为是草场退化的元凶，一直当作灭杀的对象。青藏高原拥有全球海拔最高、面积最大的高寒草地，但是其草地生态系统却面临严重的退化压力。过度载牧、气候变化与高原鼠兔活动是其三个重要驱动因子。研究表明：过度放牧造成的植被盖度下降为高原鼠兔创造了更加有力的生存环境，使其种群数量激增，从而进一步加速草地退化。但是关于气候变暖与鼠兔活动的交互作用对植物生长的影响却鲜有报道。鼠兔活动对植物的影响能否被气候变暖放大以及降水增加是否会减缓草地动植物对增温响应的敏感性，这些我们都不得而知。如何解释这些问题对我们认识全球变化背景下草地生态系统退化原因具有重要意义。

为此，中国科学院青藏高原研究所高寒生态重点实验室罗天祥课题组基于纳木错增温增雨控制实验平台，解析了增温(+2°C)与增雨(15%,30%)对高寒草原优势植物生长和鼠兔取食活动的综合影响。结果发现：1) 增温显著降低了植物生长速率，增雨则明显促进植物生长；2) 增温显著促进高原鼠兔对紫花针茅的取食频度、强度和，而增雨可显著降低鼠兔的取食强度；并且鼠兔对两大优势种的取食存在明显差异，这可能与紫花针茅和大花嵩草的叶性状相关。3) 增雨、增温及鼠兔取食交互对植物生长具有净正效应，鼠兔取食会强化增温对植物生长的负作用。研究结果表明，增温可促进高原鼠兔对针茅草原的取食活动，增雨会缓和这一负效应。这对正确评估鼠兔在草地退化中的作用，以及全球变化背景下生态系统的管理提供了重要科学依据。研究成果以 *The effect of pika grazing on *Stipa purpurea* is amplified by warming but alleviated by increased precipitation in an alpine grassland* 为题发表于 *Plant Ecology* 杂志。论文链接：<https://link.springer.com/article/10.1007/s11258-019-00920-5>

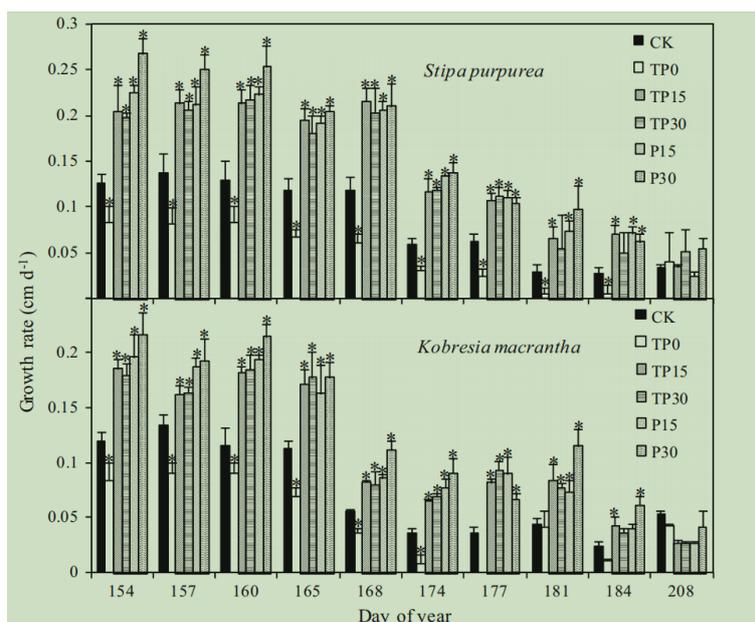


图 3.4.2 生长季增温增雨对植物生长速率的影响

➤ 贡嘎山站

高寒生态系统生物地球化学应对全球变化的响应及机制：贡嘎山站长期定位实验开展了垂直带谱森林土壤呼吸监测、森林应对氮沉降响应实验。在贡嘎山海螺沟流域海拔 2017 米至 3665 米范围内选取了 8 个森林生态系统，对土壤呼吸及其组分（自养呼吸和异养呼吸）进行连续 2 年的观测，评估了地下碳利用效率的海拔变异规律。研究表明，土壤呼吸、自养呼吸、异养呼吸和异养呼吸占土壤呼吸的比例均随海拔的升高而降低；异养呼吸约占土壤呼吸的 66%-86%；异养呼吸对于温度的响应较自养呼吸更为敏感。土壤微生物碳利用效率和植物根碳利用效率表现出不同的海拔变异规律：从中海拔到低海拔和高海地区，微生物碳利用效率逐渐降低；而从中海拔到高海拔区，植物根碳利用效率逐渐升高。从中海拔到低海拔区，更高的异养呼吸速率和更低的土壤微生物碳利用效率使得更多的有机碳被消耗；从中海拔到高海拔区，异养呼吸速率和土壤微生物碳利用效率同时降低，因此在高海拔区固存更多的有机碳；从中海拔到低海拔区，自养呼吸的增大消耗更多的植物根碳，而从中海拔到高海拔区，较低的自养呼吸速率和较高的植物根碳利用效率使得更多的植物根碳被固存。总之，由于异养呼吸占土壤呼吸的比重较大，同时异养呼吸对于温度的变化比自养呼吸更为敏感，因此在研究土壤呼吸是如何应该温度变化时，应更多地考虑异养呼吸；从环境适宜的区域（适宜的温度和降雨）到高温少雨地区，更多的地下碳（包括土壤有机碳和植物根的碳）将会被消耗，而从环境适宜区到低温多雨的地区，更多植物根的碳将被固存。

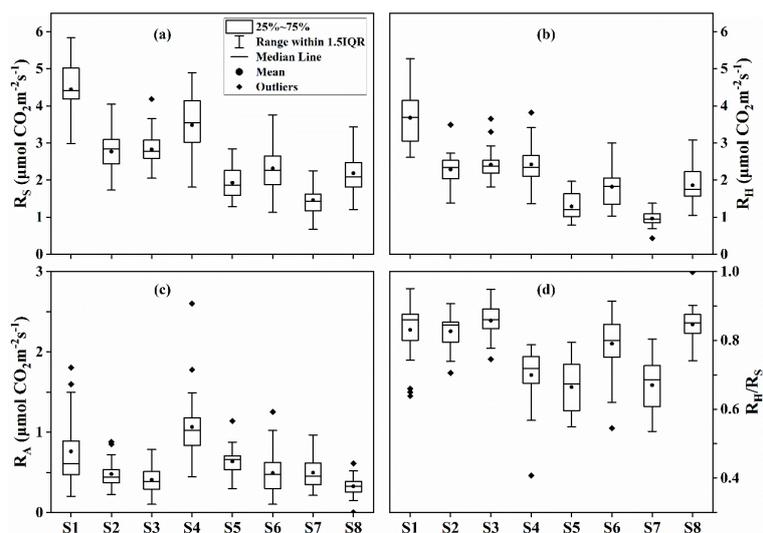


图 3.4.3 8 个森林观测样地 (a) 土壤呼吸速率、(b) 异养呼吸速率、(c) 自养呼吸速率和 (d) 异养呼吸速率占土壤呼吸速率比例

同时，我国高寒地区也面临着大气活性氮沉降快速增加的影响，高寒生态系统应对氮沉降增加的响应是全球变化研究关注的焦点之一。研究认为氮沉降增加可促进森林土壤碳积累，其解释机制可能包括三个方面，一是氮沉降可通过抑制森林土壤木质素酶等酶活性而降低木质素等物质分解速率，从而增加土壤碳积累；二是氮沉降一般会造成土壤酸化，抑制土壤微生物生长及其对土壤碳的分解；三是氮沉降下矿质土壤对淋溶碳吸附增强，进而促进碳积累。针对上述问题，依托贡嘎山亚高山针叶林长期氮沉降实验平台，阐述了上述三种机制在森林土壤碳积累中的作用，并基于观测结果提出新的机制认识。

研究表明，短期氮添加可促进表土团聚体碳的积累，但对全土碳储量影响不大。团聚体碳积累与氮添加下土壤呼吸抑制有关，而矿质土壤对淋溶碳的吸附作用在短期氮添加下没有明显变化。氮添加下土壤呼吸的抑制与微生物降低有关，而与过氧化物及酚氧化酶活性的关系不大。土壤 pH 在短期氮添加下并没有显著降低，也就是微生物的下降与土壤酸度变化没有直接关系。此外，在基于土壤团聚体分析的基础上，研究发现表征团聚体在氮沉降下较快形成在一定程度上抑制了土壤呼吸，并且团聚体中来源于植物的新碳显著增加。因此，氮添加促进团聚体形成及由此对新碳保护作用增强可能是森林土壤碳在短期内积累的一个重要机制。【Hu, Zhaoyong, Wang, Genxu, Sun, Xiangyang, Wang Jian, Chen Xiaopeng, Song, Chunlin, Song, Xiaoyan, Lin, Shan. Variations in belowground carbon use strategies under different climatic conditions. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2019, 268: 32-39.; Chang Ruiying, Wenjun Zhou, Yunting Fang, Haijian Bing, Xiangyang Sun, Genxu Wang. Anthropogenic nitrogen deposition increases soil carbon by enhancing new carbon of the soil aggregate formation. *Journal of Geophysical Research*:

Biogeosciences, 2019.124,572-584】

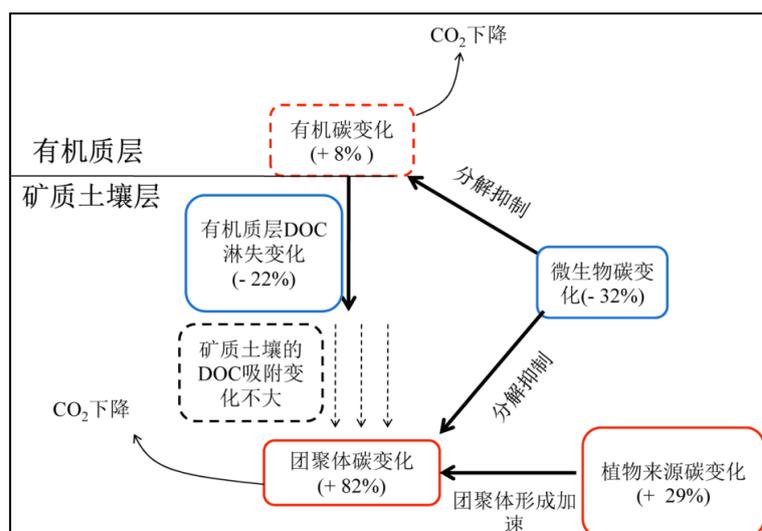


图 3.4.4 亚高山森林土壤有机质积累响应氮沉降的机制

➤ 拉萨站

青藏高原高寒生态系统对全球变化的响应和适应机制：青藏高原作为全球最高的和最独特的地域单元，生态战略地位十分重要。在气候变化和人类活动双重影响下，青藏高原高寒生态系统变化强烈。量化与分析全球变化对青藏高原高寒生态系统的影响具有重要意义。基于原位控制实验、整合分析和模型模拟等技术手段，从多个尺度（点尺度、景观尺度以及区域尺度）采用多个指标（物候、生产力、微生物多样性、群落组成和土壤呼吸等）量化了高寒生态系统对气候变化的响应机制，重点揭示了高寒生态系统的温度敏感性和降水敏感性的时空变异。1) 植被生产力、土壤呼吸和微生物群落组成和多样性对气候变暖的响应是非线性的，它们的温度敏感性随着增温幅度、年均温、年降水和海拔等的变化而变化。2) 植被物候的温度敏感性存在空间异质性：植被所处地理位置的不同，其物候温度敏感性本身存在差别。3) 藏北高原植被降雨敏感指数表现两端高中间低的空间格局，与生长季降水量呈U型曲线响应关系。4) 西藏草地物种丰富度对夏季降水变化的响应不一致：西北部地区相对稳定，中东部地区则变化较大。

基于不同的土地利用方式，利用原位控制实验、实地调查数据与模型构建等手段，从样点到样带尺度系统量化了人类活动干扰下高寒生态系统的响应及生态系统服务功能的变化。1) 揭示了放牧通过降低水分消耗有助于高寒生态系统抵御极端干旱事件影响，进而保持较高生产力的机制。干旱引起的生态系统功能减弱并不阻碍生态系统快速恢复和再生，这在一定程度上弥补了干旱的损失。2) 揭示了不同生态系统服务间的增益、拮抗或协同关系；探讨了山区不同生态系统服务空间异质性的主要影响因素；构建了山区保护和适度发展情景，提出了不同保护和适度发展情景下典型山地土地多功能权

衡,从土地资源结构与功能优化视角阐明了未来发展与保护情景对土地多功能权衡的影响机制。3) 在揭示高寒生态系统对养分输入的响应机制和氮输入饱和阈值的基础上,通过品种筛选和人工草地建植等技术手段,建立了藏北高寒地区退化草地人工恢复技术体系。4) 探讨了利用牧草复种和人工草地补饲情景下的发展模式,提出了农牧耦合新的发展模式:耕地收获后牧草复种的海拔主要集中在4000m以下,海拔在4000-4500m的耕地需要采用冬播模式才能满足牧草生长积温需求,4500米是耕地牧草轮作的上限,在此以上海拔农作物收获后已无法满足牧草生长的积温需求。5) 围绕隆子县黄牛改良产业标准化、规模化发展对草牧业全产业链技术需求,建立了研企融合创新长效机制。

提出青藏高原适应气候变化的农牧业发展模式:青藏高原是世界上气候变暖最为强烈的地区之一。变暖带来的极端气候事件增加,雪灾等自然灾害频发,高原农牧区生产、生态、生活问题突出,绿色发展面临严重挑战。党中央历来高度重视青藏高原的保护与发展,习近平总书记在青藏高原第二次科考贺信中明确指示要着力解决青藏高原“绿色发展途径”等方面的问题。近年来,在国家科技计划的支持下,我国在青藏高原生态治理模式与技术等方面取得了重要进展。拉萨站科研人员建议在现有工作基础上,构建适应气候变化的农牧系统耦合创新技术体系与模式,探索青藏高原绿色发展的新途径,促进适应气候变化、生态保护和脱贫攻坚的多目标协同发展。2019年相关咨询报告被中办采纳。2019年,拉萨站张宪洲、何永涛等人撰写的咨询报告“青藏高原农牧业面临极端气候威胁,亟需构建适应气候变化的发展模式”被中办采纳。

藏北高寒草地生态系统对气候变暖的响应机制研究:以藏北高原高寒草地生态系统为研究对象,从点-线-面多角度出发,结合遥感技术、野外控制增温实验和整合分析等手段,探讨了藏北高原高寒草地生态系统对气候变暖的响应机理。揭示了高寒草地生态系统总初级生产力和土壤呼吸等对气候变暖的非线性响应,发现增温 3°C 时,增温对总初级生产力的增幅最大;不同海拔梯度下,水分条件调节着高寒草地生态系统总初级生产力等对气候变暖的响应;在认识藏北高原高寒草地生态系统对气候变暖的非线性响应机制等的基础上,提出了气候变暖背景下藏北高原高寒草地生态系统动态分类管理方案,从而为气候变暖背景下的高寒草地生态系统的动态分类管理提供科学依据和理论基础。

2019年2月26日,西藏自治区人民政府公布了关于2018年度西藏自治区科学技术奖励的决定(藏政发[2019]5号)。由中国科学院拉萨站完成的“藏北高寒草地生态系统对气候变暖的响应机制研究”获西藏自治区科学技术奖二等奖。

► 三江源站

三江源农牧交错区一个种植周期人工草地 CO_2 通量变化特征: 建植多年生人工草

地已成为生态环境保护和恢复工程的重要措施之一，探究多年生人工草地生态系统 CO_2 交换的变化特性，有助于准确评估和预测人工草地碳收支状况及其生态服务功能。利用 2012—2016 年，5 年的涡度相关系统观测的数据，分析了三江源农牧交错区垂穗披碱草 (*Elymus nutans*) 人工草地的净生态系统 CO_2 交换 (Net ecosystem CO_2 exchange, NEE)、总初级生产力 (Gross primary productivity, GPP) 和生态系统呼吸 (Ecosystem respiration, R) 等参数在一个种植周期的变化特征及其控制因子。结果表明：(1) 在一个完整种植周期内 (5 年)，三江源农牧交错区垂穗披碱草人工草地随着种植年限的增加 CO_2 通量先增加后减小，累计固碳 $180.4 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ ，是一个弱的碳汇，其中，除了种植第 1 年表现为碳源 ($47\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$)，其他年份均为碳汇，第 3 年碳汇强度达到最强 $-128.3 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ ；(2) GPP 主要由空气温度、植被多样性指数 (Simpson 指数) 和生长季长度共同控制 ($r^2=0.92$)，植被多样性指数 (Simpson 指数) 直接影响着生长季 NEE ($r^2=0.80$)；(3) 管理措施 (播种和收割时间) 影响着生长季的长度，而生长季长度影响非生长季 R 和生长季 NEE 的比值 (R/NEE) (96%)，进而影响着 NEE 的年际变异 (92%)，管理措施影响着人工草地 NEE 的年际变异。不论是生产功能还是生态功能，每 5—6 年重新翻耕人工草地是“生产-生态”的双赢模式，人工草地更新是三江源农牧交错区一个生产和生态相结合的有效产业发展模式。【贺福全，等.(2019)，三江源农牧交错区一个种植周期的垂穗披碱草人工草地 CO_2 通量变化特征】

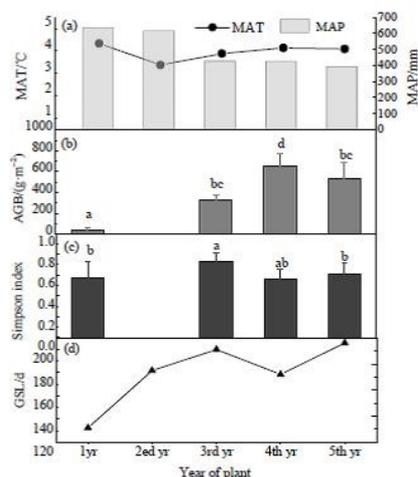


图 3.4.5 一个种植周期年均温 (MAT, °C, a)、年降水量 (MAP, mm, a)、地上生物量 (AGB, $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$, b)、辛普森多样性指数 (Simpson index, c) 和生长季长度 (GSL, days, d) 变化特征

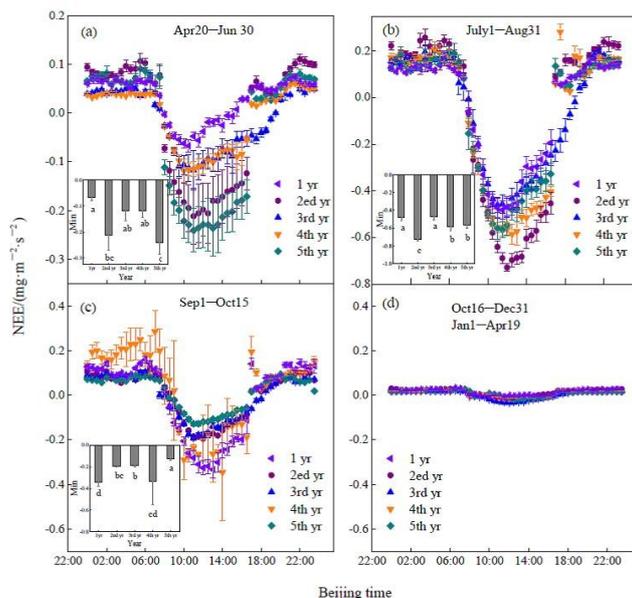


图 3.4.6 一个种植周期人工草地不同季节净生态系统交换 (NEE) 有效数据的平均日变化趋势

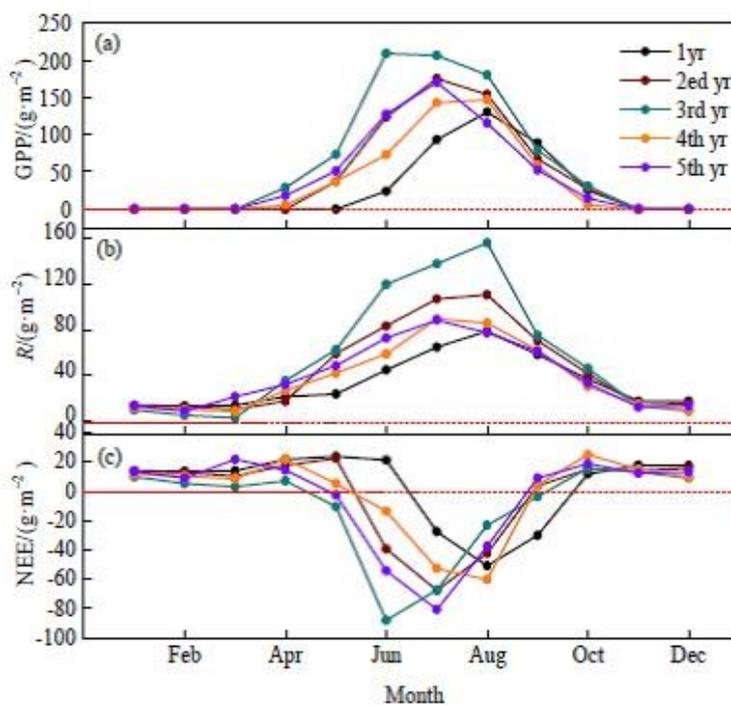


图 3.4.7 一个种植周期人工草地生态系统总初级生产力 (GPP, a), 生态系统呼吸 (R, b) 和生态系统净 CO₂ 交换量 (NEE, c) 的季节变化

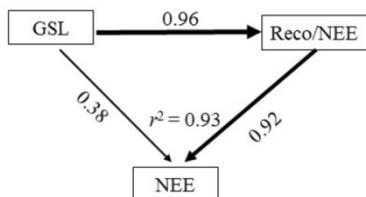


图 3.4.8 生长季长度 (GSL) 对非生长季呼吸与生长季净生态系统 CO₂ 交换比值 (R/NEE) 对年际 NEE 影响的结构方程模型

青藏高原高寒草甸不同牧草生长期牦牛瘤胃微生物多样性: 反刍动物的瘤胃微生物群对纤维的消化起着至关重要的作用, 环境因素影响其群落结构。牦牛 (*Bos grunniens*) 是青藏高原 (QTP) 海拔 3000-5000 米地区的主要家畜, 对牦牛全年在 QTP 上放牧的瘤胃细菌群落进行了调查, 评价了瘤胃细菌群落与饲用植物营养成分三个阶段的关系。本研究对在 QTP 高寒草甸的 10 头全放牧牦牛瘤胃原核生物多样性进行了监测。采用细菌 16srna 基因的高通量测序方法, 测定了牧草生长的 3 个阶段: 返青期 (REGY)、盛草期 (GY) 和枯萎期 (WGY) 的营养成分。结果表明, 高寒草甸的营养成分随季节变化: 春季粗蛋白 (13.22%) 含量较高, 冬季中性洗涤纤维 (59.00%) 含量较高。微生物多样性和丰富度在返青期最高, 30 个样品的操作分类学单元平均为 4470 个。微生物组成以类杆菌为主 (51.82%), 其次为硬壁菌 (34.08%), 在三个牧草生长阶段, 微生物相对丰度都发生了变化。未加权均匀距离 PcoA 显示, REGY、GY 和 WGY 之间的细菌群落结构存在差异。此外, 在这三个阶段中, 分类组在性别方面没有差异。瘤胃微生物群具有丰富的功能潜能, 这些潜能与 ABC 转运体、双组分系统、氨酰 tRNA 生物合成、嘌呤、嘧啶、淀粉和蔗糖代谢有关。牦牛瘤胃微生物的组成、多样性和功能在不同生长阶段存在显著差异。这表明瘤胃中微生物的变化取决于饲料营养成分的变化。这些发现为牦牛瘤胃微生物多样性的 QTP 研究提供了依据。

➤ 申扎站

青藏高原地区沼泽湿地甲烷排放量估算: 青藏高原高寒湿地贡献了我国天然湿地的 30% 以上, 科学界普遍预期这里是重要的甲烷释放区。近日, 成都山地所王小丹研究组在环境科学权威期刊 *Global Change Biology* 发表了题为“Overestimation of China's marshland CH₄ release”的评论文章, 该研究认为前人关于青藏高原地区沼泽湿地甲烷排放量的估算明显偏高。该研究认为, 造成科学界估算偏高的原因主要有两个: (1) 对中国沼泽湿地面积估算明显偏高; (2) 对青藏高原甲烷释放率的估算明显偏高。如: X2019 应用的全国沼泽湿地面积为 21.7Mha, 该数据是基于第二次全国湿地普查得到的结果 (2009-2013 年), 然而该普查数据已经显著高于近些年一些研究得到的结果。至少有以下证据表明第二次全国湿地普查关于沼泽湿地面积结果估算过高: (1) 第一次全国湿地普查 (1995-2003) 结果报告中国沼泽湿地总面积为 13.7M ha, 在不到十年的时间里湿地面积增加 58.4% 是几乎不可能的; (2) 在青藏高原, 几乎所有研究结果 (包括作者所在研究组过去 20 年调查的结果) 均表明湖泊的面积要显著大于沼泽湿地的面积; X2019 估算的甲烷排放量为 0.69MgC/ha/Year, 该估算结果显著高于其他研究, 特别是在青藏高原。因为青藏高原平均海拔高于 4000m, 这就意味着该区域气温显著低于温带及北方区

域。然而自从 2000 年开始，由于降雨的增加以及冰川融化，青藏高原的沼泽湿地增加了近 10%。Niu 等对全国沼泽湿地面积进行的统计认为青藏高原沼泽湿地面积已经达到了全国的 40% (Niu et al., 2012)。而另外一个重要的原因是青藏高原的多数“沼泽湿地”实际上是“湿草地”(78%; Wei et al., 2015)，特别是在海拔高于 4000m 的区域，“湿草地”的甲烷释放率很低，甚至会吸收甲烷，这就导致该整体区域具有较低的甲烷释放率。因此，在探讨区域甲烷排放率的时候，该区域的空间异质性特征就不能被忽略。然而之前一项研究结果中关于青藏高原的 11 个观测点中就有 8 个观测点位于海拔低于 4000m 以下，这就直接导致青藏高原甲烷释放率的估算过高。基于以上几点原因，我们认为 X2019 由于过高估算了青藏高原和我国的甲烷排放量。【Da Wei, Tingting Li, Xiaodan Wang* (2019) Overestimation of China's marshland CH₄ release. *Global Change Biology*, 25(8): 2515-2517, 该成果入选 Wiley 出版商精选论文】

青藏高原地区沼泽湿地甲烷排放量估算：发现青藏高原冻融交替期间植物根系维持较高的活力和氮素利用效率，阐明除气态和淋溶方式外，植物吸收也是该阶段土壤氮素输出的重要途径，揭示冻融作用下根系在土壤氮循环中的关键作用，研究成果发表在土壤学 Top 杂志 *Biology and Fertility of Soils*。青藏高原是世界上中低纬度面积最大的高海拔冻土区，冻结、消融交替现象（即冻融过程）是该区基本自然特征之一，一定程度上也是该区的主导自然条件。近年来，随着气候变暖，青藏高原冻土加速融解、呈现退化趋势，其稳定性下降、活动层厚度增加、季节融化层加速、冻融区扩大、冻融交替作用更为广泛和频繁。土壤水热条件发生改变会影响理化性质、微生物活性、生物地球化学过程、植被生理生态过程、以及温室气体排放等环节。目前研究普遍认为冻融循环交替会加剧土壤 N 库的损失，途径主要有两个：1) 冻融循环会增强土壤的释水性和渗透性，土壤全 N、无机 N、硝态 N 等 N 素淋溶和径流损失严重；2) 融化过程中液态水增加，厌氧环境导致土壤以反硝化过程为主导，N 素气态损失加剧 (N₂O)。冻融交替期间，由于气温低，植物地上部未返青或者已经枯黄，因此以往研究基本默认植物在该阶段 N 素需求很低，根系活力和养分吸收速率不高，由植物吸收造成的土壤 N 素输出在该阶段可以忽略不计。而通过 ¹⁵N 同位素示踪和微根窗原位监测技术研究高寒植物根系在不同冻融阶段的 N 素吸收速率的结果显示，藏北高寒草原植物在融化期和冻结期(0°C 波动)根系会大量吸收 N 素（返青前或者枯黄后），冻融交替期 N 素吸收速率可达到完全融化期的 66%-87%，证明植物在非生长季也具有较高 N 素吸收利用的需求，特别是融化期植物吸收的 N 素为后期萌芽提供养分，而冻结期植物需要吸收养分为冬季休眠储存物质。此外，微根窗根系原位监测结果也显示，高寒草原植物根系萌动提前于地上部

返青，而根系在地上部枯黄后，仍保持较高的活力。研究进一步发现完全融化期由于土壤硝化作用较强造成土壤 $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ 比较低，植物 NO_3^- 吸收速率较高；而融化期和冻结期很大程度上受到降雪作用的影响，积雪融化过程中土壤中易淋溶的 NO_3^- 损失严重，同时由于低温限制土壤硝化作用，植物表现为相对较高的 NH_4^+ 吸收速率。研究发现冻融交替期间植物根系维持较高的活力和 N 素利用速率，阐明了除气态和淋溶方式外，植物吸收也是该阶段土壤 N 素输出的重要途径，丰富了对高寒冻融区土壤 N 素循环的认知。【Jiangtao Hong, Xiaojing Qin, Xingxing Ma, Xin Xu, Xiaodan Wang*. Seasonal shifting in the absorption pattern of alpine species for NO_3^- and NH_4^+ on the Tibetan Plateau. *Biology and Fertility of Soils*, 55 (8) :801–811.】

➤ 那曲站（地理所）

基于多模型和多元数据进一步量化植被物候对气候变化的响应：采用非对称高斯法、双逻辑斯蒂法、分段逻辑斯蒂法分别分析了青藏高原不同时间分辨率 MODIS NDVI 数据集在提取高寒草地物候上的差异。结果表明，与 MOD13A2 NDVI (16d) 相比，基于 MOD09A1 NDVI (8d) 数据集获取的物候参数具有相对较晚的春季物候、较早的秋季物候、较小的变化速率，与地面观测结果一致性更好。使用、双逻辑斯蒂法可以减小两套数据集的春季物候或秋季物候提取结果的差异，而非对称高斯法法则可更好地减小两套数据集间植被生长季长度计算结果的差异，这主要是由于不同方法的原理差异导致。

针对 Wolkovich et al. (2012) 汇总了全球 17 个观测站点上 1600 多种植被物种的长期物候观测数据，以及 37 个加温试验站点的实验数据，计算发现加温试验可能低估了植物物候应对温度变化的响应程度。研究根据作者提供的站点坐标，从遥感数据中提取对应的 NDVI 时间序列，并利用本研究使用的五种植被物候的计算方法，同样计算了观测站点和试验站点对应的植被物候的温度敏感性。结果发现，在同样的数据条件和同样的方法下，植被物候的温度敏感性同样出现上述结论。可见，由于植被所处地理位置的差别而导致的植被物候温度敏感性本身存在差别，即植被物候的温度敏感性存在空间异质性。

目前已有大量研究分析植被物候对气候变化的响应，但是始终无法得出一致性结论，其中原因众多，例如，物候数据源及提取方法的差异性等，针对以上问题课题组成员使用多方法、多数据源提取并比较不同方法及数据源的差异，对以后物候的研究提供新的思路，并在一定程度上降低研究结果的误差。【Zhu, Y., Zhang, Y*, Zu, J., Wang, Z., Huang, K., Cong, N., & Tang, Z. 2019. Effects of data temporal resolution on phenology extractions from the alpine grasslands of the Tibetan Plateau. *Ecological Indicators*, 104: 365-377; Cong,

N., Shen, M., Zu, J., & Zhang, Y. (2019). Spatial sampling inconsistency leads to differences in phenological sensitivity to warming between natural and experiment sites. *Science Bulletin*, 64(14), 961-963.】

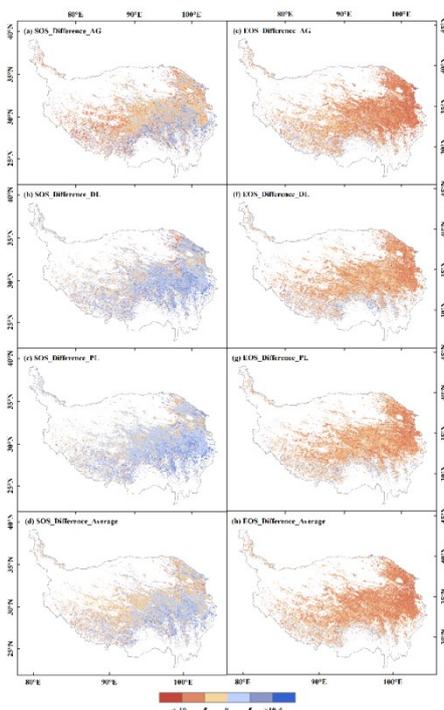


图 3.4.9 三种提取方法下两套不同时间分辨率数据 2000-2015 年间青藏高原草地物候结果差异(像元值 = MOD09A1 - MOD13A2)

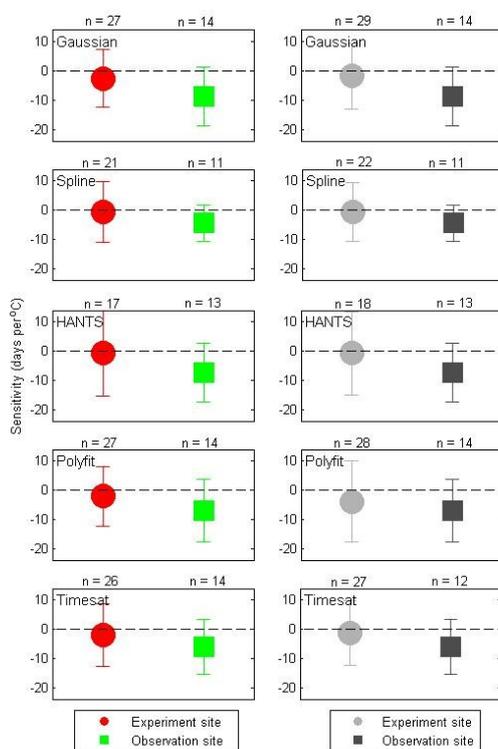


图 3.4.10 基于 5 种物候提取方法计算春季物候的温度敏感性，彩色图是非常绿植被的均值，灰色是所有植被的均值

揭示高寒生态系统对极端干旱事件的响应：陆地生态系统碳吸收可以抵消全球三分之一化石燃料排放的二氧化碳，但其强度对于干旱事件高度敏感。据预测，在全球气候变化的背景下，干旱事件的频率和强度不断加剧，因此亟需我们提高对于干旱事件的认识。基于那曲站通量数据表明在干旱时期，放牧通过降低地上植被叶面积，减少水分消耗，导致草毡层以下土壤水含量高于禁牧实验样地。放牧实验样地较高的土壤水分可在干旱时期帮助植被抵御水分胁迫，进而保持较高生产力。在干旱年份，放牧提高了生产力对湿润时期土壤水的敏感性，因此在干旱之后草地生产力能快速恢复。

从点尺度、景观尺度以及区域尺度来共同揭示生态系统的抗性和生态系统弹性的关系以及对高寒草地生态系统生产力的影响。研究发现高寒草地生态系统对于干旱的抵抗力较弱，相对于历史平均值，干旱降低点尺度、景观尺度和区域尺度的 NPP/NEP 分别为 25.4 g C m^{-2} , 48.6 g C m^{-2} 和 14.2 Tg C 。但干旱之后的降雨使得高寒草地生态系统生产力迅速恢复，研究发现三种空间尺度夏季干旱生产力损失的 39.0 %、17.3 % 和 10.6 % 被干旱之后的“二次生长”所抵消掉。因此，干旱引起的生态系统功能减弱并不阻碍生态系统快速恢复和再生，这在一定程度上弥补了干旱的损失。【Chen, N., Zhang, Y*, Zu, J., Zhu, J., Zhang, T., Huang, K., ... & Tian, Y. 2020. The compensation effects of post-drought regrowth on earlier drought loss across the tibetan plateau grasslands. *Agricultural and Forest Meteorology*, 281: 107822; Zhang, T., Xu, M., Zhang, Y*, Zhao, T., An, T., Li, Y., ... & Yu, G. 2019. Grazing-induced increases in soil moisture maintain higher productivity during droughts in alpine meadows on the Tibetan Plateau. *Agricultural and Forest Meteorology*, 269: 249-256.】

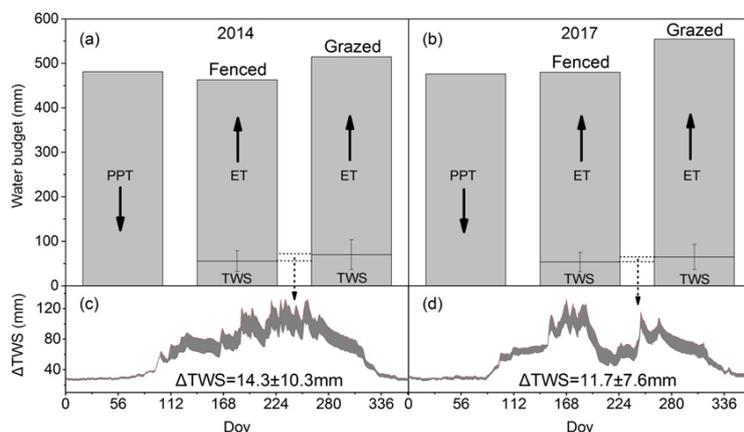


图 3.4.11 2014 年和 2017 年禁牧与放牧实验样地的水分平衡。ΔTWS 表示禁牧和放牧的 TWS 间的差异

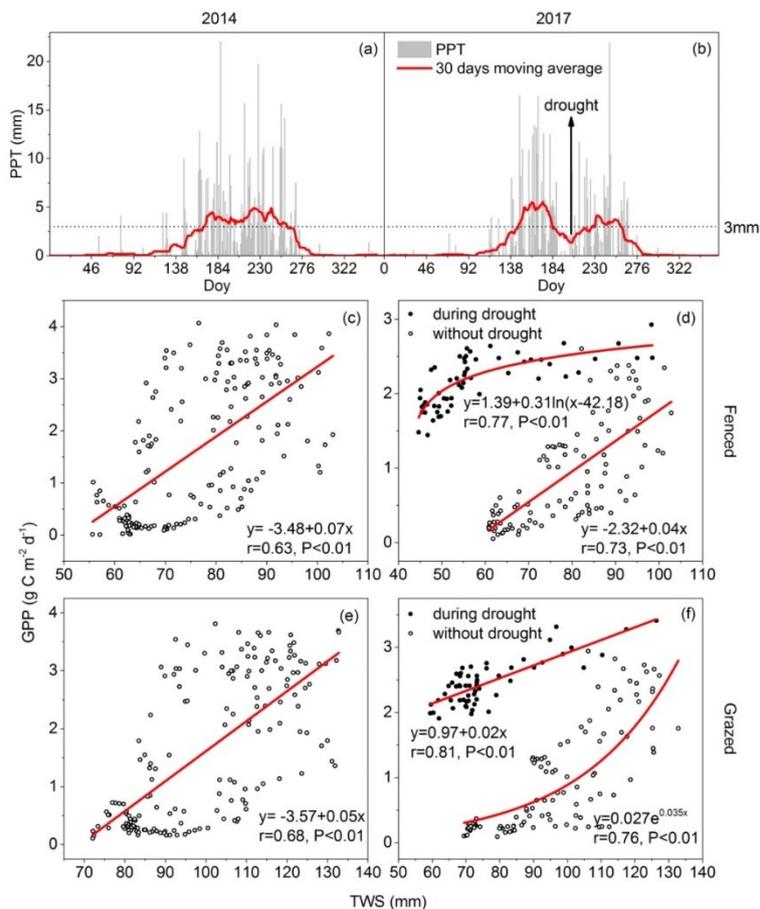


图 3.4.12 2014 年（湿润年）和 2017（干旱年）的禁牧与放牧实验样地中 TWC 与 GPP 的拟合关系

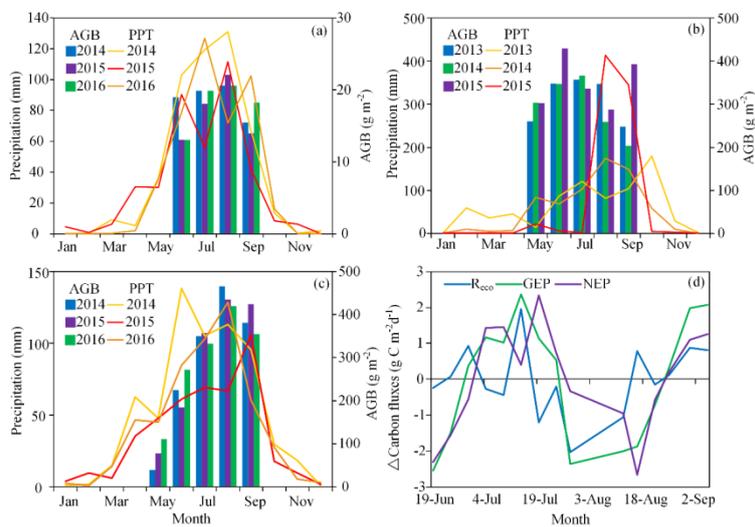


图 3.4.13 与基准值相比，2015 年当雄 (a)，尕海 (b) 和海北 (c) 的地上生物量和降水变异，以及 2015 年生长期那曲碳通量相对于季节平均值的动态变异 (d)

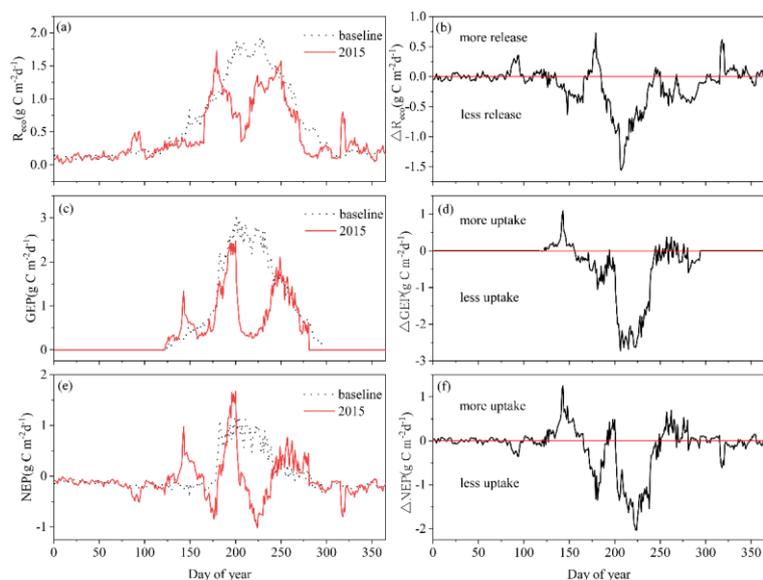


图 3.4.14 基于景观尺度通量观测的 2015 年生态系统碳通量与历史平均值的差异

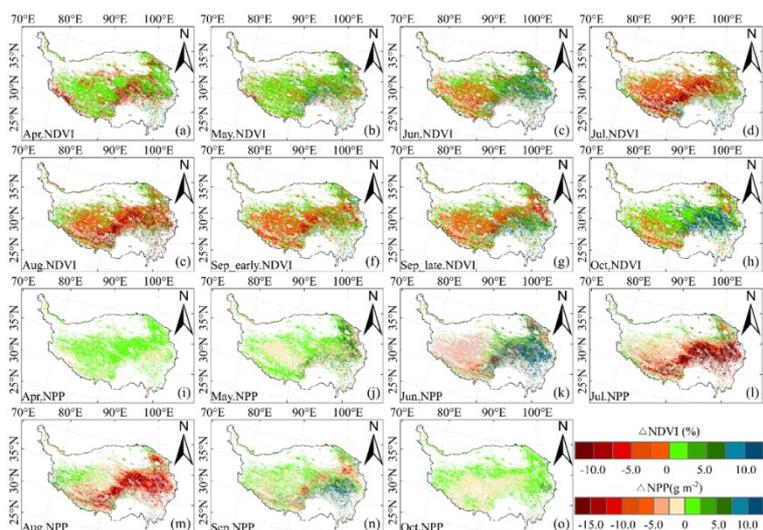


图 3.4.15 基于区域尺度遥感观测的 2015 年 NPP 及 NDVI 与历史平均值的差异

➤ 那曲站（青藏所）

过去三十年植被生长海拔梯度格局时空变化：朴世龙研究员团队，利用全球植被指数遥感数据和地面物候观测数据，分析了三十余年以来全球植被生长季绿度、春季和秋季物候的海拔梯度格局变化。研究发现，尽管植被生长季绿度和物候都有着清晰海拔梯度变化，但在时间维度上，并未发现不同海拔植被生长季绿度均匀化和物候同步性提高的普遍现象。上述发现为深入理解气候变化对植被生长垂直分布规律的影响提供了重要支撑。该成果发表于 Nature Communications。

➤ 珠峰站

植被指数数据集：建立了青藏高原 15 年植被指数数据集（1999-2014），揭示了高原增温的同时，伴随着生态状况好转，高原总体呈现植被指数增加的趋势，显著增加区域

面积约占高原总面积的 7.63%。且植被指数增加主要是由于自然气候因子的变化造成，人类活动的影响较小（Zhong and Ma*et al., 2019,JGR:Atmospheres）

➤ 祁连山站

高原鼠兔扰动和斑块破碎化对高寒草地碳循环的影响研究：高寒草地约占青藏高原面积的 2/3，是全球陆地生态重要的碳和氮库。受多年冻土退化、畜蹄践踏、小型哺乳动物的扰动、土壤侵蚀等因素的影响，导致高寒草地斑块破碎化。斑块破碎化加剧了下垫面土壤和植被碳、氮的空间异质性分布，引起高寒草地生态系统碳、氮储量估算的不确定性，同时也可能改变生态系统呼吸的排放格局。

在每个采样点，设置 3 个 30m×30m 的样地，在每个样地选择三种下垫面类型：原状草地、大斑块(>9m²)和中斑块(1-9m²)。采用样方法调查原状草地、大斑块和中斑块地上、地下生物量；同时采集地上和地下植物样品分析植被碳氮。同期，挖取土壤剖面，用环刀获取 0-100cm 土壤样品，分析土壤碳氮。无人飞机在 20m 的高度获取的航拍图片可以覆盖下垫面的范围为 26m×35m；沼泽草甸和高寒草甸破碎化程度较低，原状植被和斑块镶嵌共存；草原化草甸和高寒草原破碎化程度高，植被呈点状分布，斑块已贯通。沼泽草甸和高寒草甸破碎化程度低，植被盖度分别为 75.85%和 60.12%；草原化草甸和高寒草原破碎化程度高，大斑块分别为 60.54%和 62.99%。沼泽草甸和高寒草甸破碎化程度低，植被盖度分别为 75.85%和 60.12%；草原化草甸和高寒草原破碎化程度高，大斑块分别为 60.54%和 62.99%。

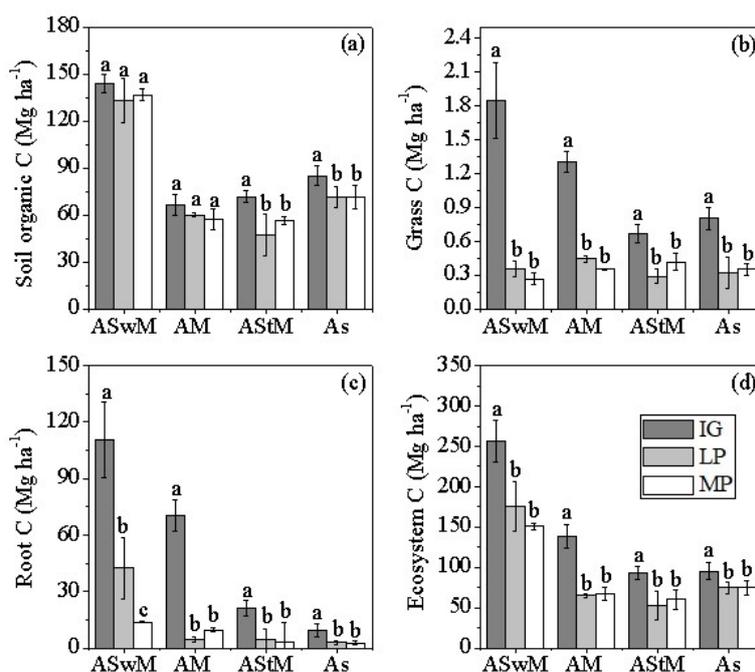


图 3.4.16 不同下垫面土壤有机碳(a)，地上植被碳(b)，地下植被碳(c)和生态系统碳储量(d)；IG, LP 和 MP 分别表示原状植被、大斑块和中斑块

土壤碳和生态系统碳储量均表现出由亚稳定和过渡型冻土区到季节冻土区减少的特征。土壤氮和生态系统氮储量也表现出由亚稳定和过渡型冻土区到季节冻土区减少的特征。不考虑斑块会导致对土壤、生态系统碳、氮和系统呼吸估算结果过高的估计。高原鼠兔扰动和斑块破碎化导致土壤温度较原状植被增加量了 1-3 °C,但是土壤水分减少了 5-10%。高原鼠兔扰动和斑块破碎化导致地上和地下生物量较原状植被减少了 30-289%。连续植被土壤有机碳(SOC)和全氮(TN)密度较鼠兔洞道减少 52.45 %和 59.14 %, 较鼠丘和裸地斑块增加量 9.69-30.12 % 和 22.47-109.62 %。高原鼠兔的挖掘活动和斑块破碎化减少了呼吸底物供应和土壤含水量,从而导致高寒草地碳排放减少。不同草地类型裸地斑块占整个下垫面的比例要远高于鼠丘。高原鼠兔的扰动并没有引起生态系统碳排放的直接增加,只是加快了地下碳从鼠兔洞道扩散的速率。

► 青海湖站

一种生态监测 IPv6 传感网负载均衡方法及系统: 1) 采用无线传感器网络作为生态环境监测网络,并为该生态环境监测网络配置一任播地址; 2) 各代理节点将该任播地址初始化为自身的任播地址; 3) 每一收集器节点使用任播向其中一代理节点发送注册报文进行注册,并定期向该代理节点发送收集器节点信息; 4) 当传感器节点需要发送数据时,使用任播向任意一代理节点发送请求通信报文,请求一收集器节点;接收该请求通信报文的代理节点将当前负载最小的收集器节点的 IP 地址返回给该传感器节点,并记录两者之间的绑定; 5) 该传感器节点根据收到的收集器节点的 IP 地址,向该收集器节点传输数据。本发明能更好地进行负载均衡。

探索重建基于兴趣区域的叶绿素荧光数据的方法: 太阳诱导叶绿素荧光数据是反映全球植被总初级生产力的关键指标,对于监测全球或地区性的植被生产力变化和气候变化的影响具有重大意义。然而,目前为止仍没有高分辨率和全球覆盖的可用原始数据集。虽然存在一些全球性的重建数据集,但一般存在区域特异性不够明显等问题,从而一定程度上限制了该数据在特定的兴趣区域上的可用性。为了探索重建基于兴趣区域的叶绿素荧光数据的方法,本研究综合遥感数据处理技术,机器学习方法和生态学原理,对原始轨道碳观测者二号卫星所提供的叶绿素荧光数据集和 MODIS 地表反照率数据建模.重建数据集基于兴趣区域内原始数据的时空特征而建,具有连续的空间覆盖和更高的空间分辨率,经过验证,该框架可以为特定区域提供有效的有针对性的的叶绿素荧光数据,可为兴趣区域的与叶绿素荧光数据有关的研究提供数据支持。详细分析结果的论文已发表于 2019 年《兴趣区域高分辨率叶绿素荧光遥感数据集重建框架》。

5. 土壤/冻土观测研究

➤ 格尔木站

阐明了青藏高原多年冻土区土壤热导率的变化规律及其控制因子：利用青藏高原北部连续多年冻土区唐古拉综合观测场土壤热通量及温度梯度观测资料确定了该地导热率，研究了导热率的变化规律，探讨了土壤水分温度等因子对导热率的影响。研究结果显示：活动层冻融过程不同时段导热率波动幅度不同，从冻结到时融化及从融化到时冻结转换过程中导热率波动较大，波动值达 $0.743 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ ，活动层完全冻结阶段导热率波动次之，波动值为 $0.621 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ ，完全融化阶段导热率波动较小，其值为 $0.504 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ 。导热率呈现显著的日变化及季节变化特征。就日变化而言，导热率小值出现于北京时间 8 点左右，大值出现于午后 17 点左右，导热率日变化强烈地依赖于活动层表层土壤水分变化。就季节变化而言，导热率表现为冷季小，暖季大。活动层融化期间与活动层初始冻结期间含水量的差异是导热率冷季出现小值的主要原因；实数据与经典方案对比结果显示，唐古拉活动层表层土壤临界饱和度约为 0.37，临界含水量约为 $0.195 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ ；在平均含水量相似的情形下，活动层表层导热率随着冻融循环次数数据的增大而减小；平均状况下，活动层表层导热率随着温度及土壤含水量的增大而增大，土壤含水量是活动层表层导热率的控制因子；此外给出日平均导热率的估算模型，独立检验结果显示，导热率可表示为地表温度气温及水汽压的函数。【Li et al., 2019, Agricultural and Forest Meteorology】

揭示了青藏高原气温和土壤温度的变化特征：利用不同下垫面类型高寒沼泽草甸、高寒草甸、高寒草原、高寒荒漠草原和高寒荒漠观测场 2011-2015 年不同站点气温日均值数据评估了五中不同气温再分析资料在青藏高原多年冻土区的适用性。结果表明，ERA-Interim 气温温度再分析数据产品在所有站点总体表现最好，但是对气温有高估的现象。利用各站点 2013-2015 年气温观测资料，对 ERA-Interim 再分析气温产品进行校正，并对校正后的气温利用 2011 和 2012 年观测值进行了验证。利用校正后的 ERA-Interim 再分析气温数据，分析了各站点 1980-2015 年气温的变化趋势。结果表明，在 CN06，QT04 和 QT08 站点春季、夏季和冬季气温年际变化趋势非常相似而 CN04 和 QT09 较为接近。所有站点平均气温都有变暖趋势。平均升温速率在 QT08 站点最高，在 CN04 站点最低。此外，CN06 站点年平均气温升温速率与 QT04 和 QT09 接近。可以看出，1980-2015 年平均气温呈现变暖趋势，在 QT08, CN06, QT04, QT09 和 CN04 站点分别为 0.0466, 0.0385, 0.0308, 0.0286 和 0.0255 $^{\circ}\text{C}/\text{年}$ 。【Hu et al., 2019, Theoretical and Applied Climatology】

利用不同下垫面类型高寒沼泽草甸(CN04)、高寒草甸(QT09)、高寒草原(QT04)、高寒荒漠草原(QT08)和高寒荒漠(CN06)观测场 2011-2015 年不同深度土壤温度日均值数据评估了 CFSR, ERA-Interim 和 GLDAS-NOAH 再分析土壤温度资料在青藏高原多年冻土区的适用性。总体而言, CFSv2 再分析土壤温度产品在不同站点表现均较好。利用各个站点不同深度 2013 - 2015 年的观测的土壤温度日均值建立了 CFSv2 土壤温度产品校准模型, 并利用 2012 年进行了观测数据的验证。利用校正后的再分析数据, 分析了各站点 1980-2015 年土壤温度的变化趋势。结果表明, 在 CN04、CN06、QT06、QT08、QT09 的第一、二、三、四层年平均土壤温度从季节和年尺度上均有变暖趋势。第一层土壤平均变暖速率最大值在 QT06 和最低值在 CN04。1980 - 2015 年年平均土壤温度变暖趋势从 QT08 到 CN04 站点逐渐降低。在 QT08, CN06, QT06, QT09 和 CN04 站点分别为 0.0599, 0.0468, 0.0438, 0.0282 和 0.0145°C/年。【Hu et al., 2019, Geoderma】

探究了青藏高原多年冻土地下冰的主要补给来源: 使用基于稳定同位素技术的二元混合模型对风火山、可可西里和五道梁融化期内降水对活动层水的比例做了探究, 结果发现: 1) 降水是活动层水、上限附近地下冰和多年冻土水的主要补给源, 其中, 风火山活动层水的主要补给源是 8 月份的降水, 五道梁和可可西里则 9 月份的降水起主导的补给作用。同位素数值的深度变化表明不同深度活动层水的水分来源存在一定的差异。2) 五道梁 0-50cm 的活动层水存在显著的蒸发分馏特征, 蒸发强度自 6 月底至 9 月底逐渐减弱。前期降水事件与 0-50cm 活动层水的同位素数值存在密切的关系, 降水事件的降水量越大, 这一关系越显著。3) 降水中相对较高的 d-excess 数值表明研究区的局地再循环水汽对当地降水有着较大的补给比例, 而活动层水、上限附近地下冰和多年冻土水中 d-excess 数值表明在降水下渗补给以上三个水体的过程中存在着同位素分馏。4) 可可西里一次 8.1mm 的降水事件对 0-10cm 和 10-20cm 深度区间活动层水的补给比例分别是 49%±7.1%和 30.8%±3.6%, 但是受蒸发分馏的影响, 没有得到较长时段的累积降水对活动层水的补给比例。【Wang et al., 2019, Science of the Total Environment】

➤ 海北站

高寒草甸对于土壤增温的响应: 利用海北站的长期增温实验平台, 解析高寒草地不同土层土壤碳库响应气候变暖的分子机制, 发现增温显著改变底层土壤碳周转过程。

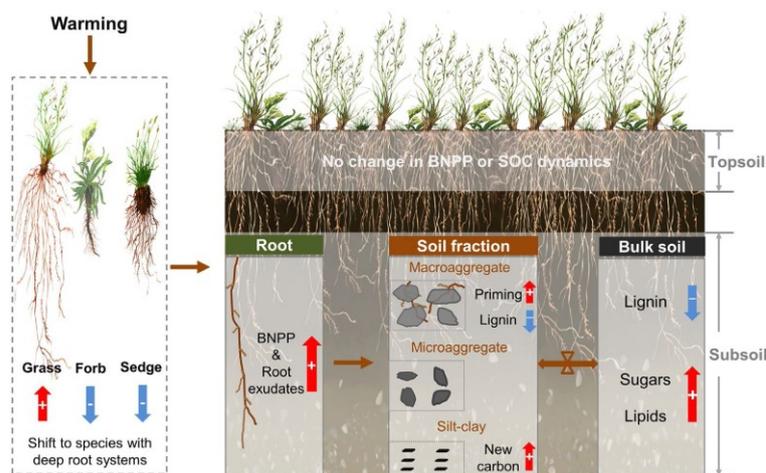


图 3.5.1 高寒草甸对于土壤增温的响应

底层（即深度超过 20 cm）土壤储存了全球一半以上的土壤碳库，传统认为底层土壤碳较表层更稳定，不易受到全球气候变暖的影响。因此，以往研究主要集中在表层土壤碳对增温的响应，而增温对底层土壤碳周转过程的影响研究较少。本研究借助海北站的长期增温实验平台，发现增温 5 年显著改变了底层土壤碳的周转，但未影响表层土壤有机碳的分子组成及周转过程。即增温引起的植物群落组成变化显著增加底层土壤中根系生物量以及脂类、糖类的含量，并激发了土壤中生物大分子木质素的降解。进一步将土壤有机碳区分为与不同粒级团聚体相结合的碳，并测定不同粒级的 ^{14}C 和生物标志物含量发现，周转较快的大团聚体中木质素的降解是导致土壤木质素含量降低的主要原因，且增温有利于新碳在底层土壤慢速周转库中的积累。以上结果表明，高寒草地底层土壤对增温的响应比表层更强烈。全球气候变暖背景下，底层土壤碳周转过程需要给予更多的关注。该结果（Jia et al. 2019）已发表于 *Global Change Biology* 期刊上。

高寒草甸退化对土壤持水能力影响：随着高寒草甸退化程度的增加，地上和地下生物量逐渐减小，浅层土壤质地无显著变化，但增加了深层土壤黏粒的含量，土壤紧实度随着退化程度的增加逐渐减小；轻度和中度退化浅层土壤容重显著低于原生和重度阶段；随着高寒草甸退化程度的增加，土壤总孔隙度无显著变化，但增加了重度退化草地深层的土壤毛管孔隙度。

随着退化程度的加剧，0-10 cm 土壤持水能力表现为先增加后减小趋势，最大值发生在中度退化，这主要是由于该阶段草毡层较厚，土壤有机质丰富，而 20-40 cm 土壤持水能力在重度退化阶段达到最大。统计结果表明高寒草甸草地土壤持水能力与土壤有机质、土壤总孔隙度、毛管孔隙度和砂砾含量呈显著正相关，与土壤容重、黏粒和粉粒含量呈显著负相关，非毛管孔隙度对土壤持水能力无显著影响。

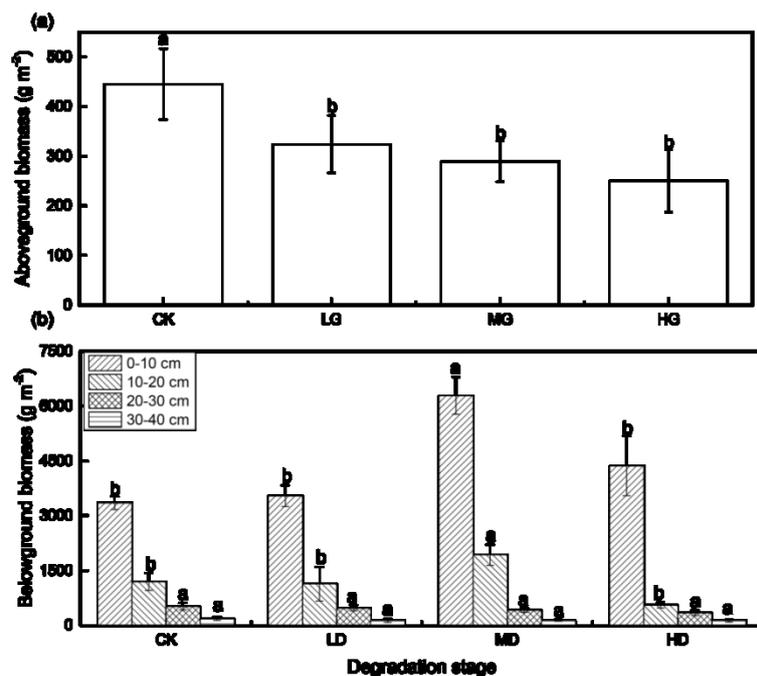


图 3.5.2 高寒草甸不同演替状态下地上和地下生物量变异特征

高寒草甸深层土壤水分渗漏季节动态及其调控因子：青藏高原被誉为“中华水塔”，深层土壤入渗作为高寒草甸水文过程重要过程之一，在调节高寒生态系统水的平衡和循环过程中发挥着重要作用，一般认为土壤水分的渗漏主要降水调控，即降雨强度越大，土壤水分入渗的强度越大，然而在高寒生态系统，这种土壤水分入渗与降雨强度是否同样具有较好的相关关系仍不明确。对于广泛分布季节性冻土高寒生态系统，土壤水分的渗漏由于受到冻土冻结与消融影响，显然不同于无冻土地区的土壤水分的渗漏。截止目前为止，由于高寒地区环境的恶劣，尽管过去也有报道了关于高寒地区土壤水分渗漏的研究，但多数研究多基于浅层土壤入渗研究，对于高寒地区深层土壤水分渗漏季节动态及其调控机制尚不清楚。

该研究通过大型 Lysimeter 系统长期监测数据，首次揭示高寒生态系统深层土壤水分渗漏的季节动态，明晰了季节性冻土的冻融过程和不同降雨强度对土壤水分深层渗漏的影响，研究表明，降水对土壤水分深层渗漏影响较小，且降水主要影响到 40 cm 土层内的土壤水分含量，冻土的季节消融对土壤水分深层渗漏具有显著影响，当土壤冻结时，无渗漏发生，而当土壤消融时，土壤渗漏量显著增加。该研究更新了土壤水分渗漏主要受降水影响的传统认知。因此，在研究高寒草甸土壤水分的渗漏时，应考虑草毡层对土壤水分深层渗漏的影响，且在全球降水格局发生改变背景下不会加剧高寒生态系统养分淋溶的发生。成果发表于水文学期刊 *Journal of Hydrology* (Dai et al., 2019).

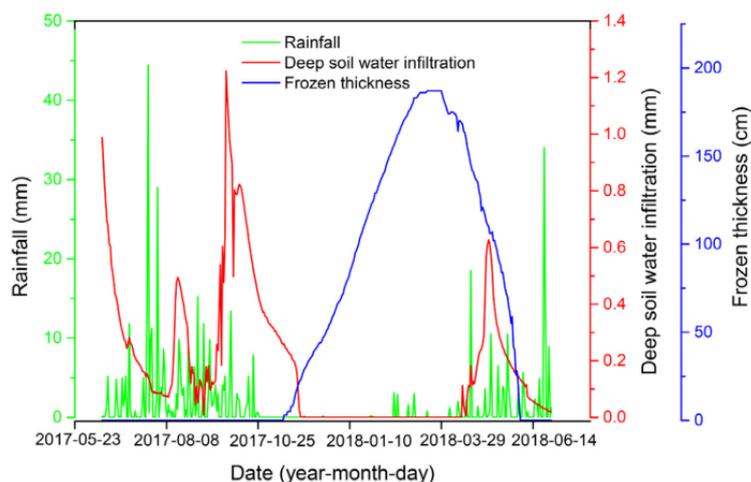


图 3.5.3 2017-2018 年海北站高寒草甸生态系统降水、深层地下水入渗和冻土层变化特征

硝化-反硝化耦合机制主导贫氮生态系统氧化亚氮脉冲排放：土壤氮转化过程影响生态系统生产力及土壤氮素损失途径和潜力，微生物硝化和反硝化过程产生氧化亚氮(N_2O)释放到大气，使土壤成为大气 N_2O 的主要来源，一般认为自然土壤则为弱排放源。然而，温带至寒带自然生态系统在冬春转换期被广泛观测到脉冲式排放，导致自然土壤在全球 N_2O 排放源的贡献率大幅增加。截至目前，冻融期自然土壤爆发排放的机制尚不明确，大多数研究认为该时期土壤环境有利于反硝化过程主导 N_2O 产生。

稳定同位素稀释技术被广泛应用于土壤氮转化过程研究，该技术的应用难点在于添加同位素标记物会激发贫氮生态系统微生物同化作用，因此大幅高估微生物固持速率。该研究利用双标记物稳定同位素稀释技术，创建了针对贫氮自然系统土壤微生物固持速率的定量方法即改进差值法，从而能够准确表征土壤氮循环的完整动态；通过年尺度土壤总氮转化速率、无机氮库大小和 N_2O 排放动态的综合监测，首次揭示出硝化-反硝化耦合机制主导青藏高原放牧高寒草甸冻融期 N_2O 脉冲排放。该研究更新了反硝化过程主导冻融期 N_2O 产生的传统认知，即硝化速率的抬升为反硝化过程提供关键底物，耦合机制而非单一微生物过程主导了冻融期 N_2O 的产生，成果发表于农林科学期刊 *Soil Biology & Biochemistry* (Hu et al., 2019)。

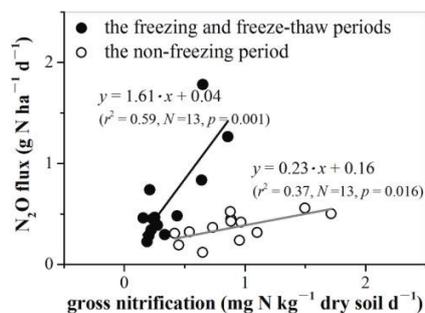


图 3.5.4 高寒草甸硝化作用速率和 N_2O 排放速率相关分析

微生物温度适应降低了气候变暖情形下青藏高原高寒草甸土壤碳损失：气候变暖情形下土壤碳库的响应过程及其机制对于预测气候变化和土壤碳库的反馈关系具有重要意义。通过实验室的模拟实验，研究温度增加后土壤有机质分解及微生物群落特征的响应规律，研究结果将帮助我们更好地理解气候变暖情形下土壤碳循环过程，提高气候变化模型的预测精度。当前大量的研究表明温度增加后土壤呼吸并不是长期持续的增加。随着增温时间的延长，土壤呼吸增加的程度会逐渐降低，使得我们对未来气候变化和土壤碳库反馈关系的预测存在很大的不确定性。该研究通过交叉培养实验发现青藏高原高寒草地土壤呼吸在增温的初期显著增加，但是随着增温时间的延长土壤呼吸增加的程度又逐渐地降低。这种降低是由于土壤中易分解有机质含量的降低和微生物的温度适应共同导致的，这两者的对土壤呼吸降低的贡献随着土壤类型的不同而异。在有机质含量较低的高寒荒漠草甸土壤，易分解有机质含量的降低，是土壤呼吸降低的主要原因。而在有机质含量相对较高的高寒草甸和高寒草原土壤中，易分解有机质含量的降低和微生物的温度适应共同导致了土壤呼吸的降低。长期增温后土壤微生物对增加的温度产生适应而降低了其有机质分解活性。所以，未来气候变暖情形下由于微生物的温度适应，青藏高原高寒草地土壤碳库的损失将会显著低于预期水平，尤其是在高寒草甸和高寒草原等有机质含量相对较高的土壤。成果发表于农林科学期刊 *Global Change Biology* (Li et al., 2019)。

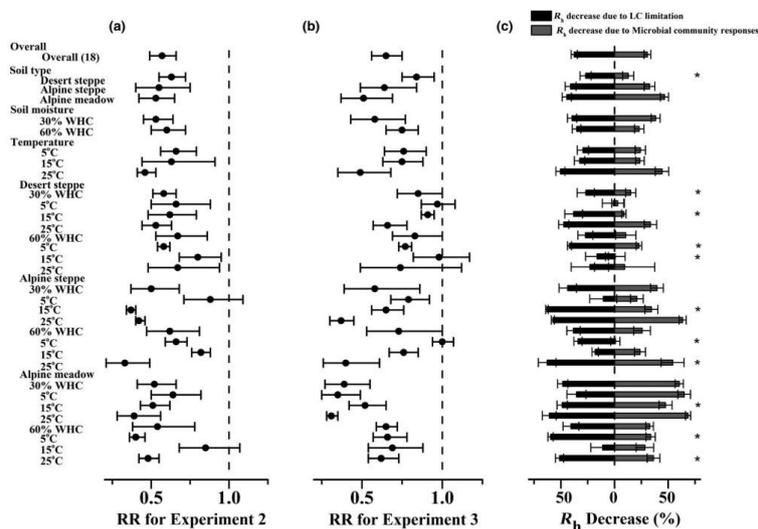


图 3.5.5 壤呼吸降低的贡献 (a) 和微生物温度适应对土壤呼吸的贡献 (b)

➤ 若尔盖站（成都生物研究所）

若尔盖高原不同深度泥炭土壤厌氧矿化对温度的响应：通过培养实验，发现增温促进了土壤有机碳的厌氧矿化，但不同形态及不同深层土壤碳的响应有差异。表层有氧层

土壤在厌氧矿化中， CO_2 和 CH_4 排放均增加；在深层土壤中， CO_2 排放增加，但增加量相对表层降低， CH_4 排放降低。深层土壤中大量的难分解有机碳降低了土壤 CO_2 的增加量，改变了 CH_4 产生途径。土壤基质组成随深度的异质性是土壤有机碳厌氧矿化随深度变化的主要原因。表层土壤含有大量易分解的简单有机碳和高的微生物及酶活性，对温度变化敏感，深层土壤厌氧矿化的敏感性低，但在整体厌氧矿化中占主体地位。【Liu L., Chen H* et al. Geoderma, 2019】

明晰若尔盖高原泥炭地近 5 年净 CO_2 交换特征：研究结果表明，在 2013-2017 年的研究期间，即使在干旱年份，日干乔泥炭地的年际 CO_2 净交换也表现出汇的状态，年均 CO_2 吸收量达到了 $171 \text{ g C m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ ，并且由于环境因素的变化，年际波动较大。光合有效辐射（PAR）和土壤温度（ T_s ）对于 CO_2 通量的昼夜和季节动态至关重要，而生长季的水分条件是该泥炭地年际 CO_2 净交换强度的重要决定因素。尽管数据显示 CO_2 吸收在干旱气候增加，但这种高额吸收状态在后续的年份迅速下降。监测结果表明，泥炭地生态系统的固碳能力不仅单纯取决于年均 CO_2 吸收量，还取决于长期气候变化下土壤碳库的稳定性。

阐明若尔盖高原不同历史时期温室气体排放特征：本研究通过通量塔和模型方法计算了若尔盖高原不同历史时期若尔盖高原泥炭地碳通量，包括近现代，中世纪和远古冰期。研究发现若尔盖高原在近现代的净碳通量为 $189.3 \pm 33.0 \text{ g C m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ ，中世纪的碳通量为 $80.6 \pm 13.5 \text{ g C m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ ，远古冰期的碳通量为 $33.5 \pm 5.5 \text{ g C m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ 。在过去 50 年和 100 年的碳积累速率分别为 $117.2 \pm 14.2 \text{ g C m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ 和 $94.3 \pm 12.3 \text{ g C m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ 。本研究说明环境因子在一定程度上影响土壤平衡，其中温度为主要的因子，水位是中世纪和冰期主要的影响因子。

➤ 那曲站（青藏所）

温度诱导的土壤冻融交替模式的变化对高寒草甸全年生态系统呼吸的影响并不显著：汪诗平研究员团队在西藏那曲通过 2 年 4 个增温梯度（0、1、2 和 4°C）和增水（50-100%）的野外控制试验研究表明，高山嵩草草甸生态系统呼吸主要受土壤水分的控制。特别是与北极地区不同，青藏高原冬季的生态系统呼吸只占到全年生态系统呼吸的 8-15% 左右（而北极能达到 56% 左右），所以，冬季很低的生态系统呼吸比例也限制了由于增温而诱导的土壤冻融交替模式的改变对全年生态系统呼吸影响的程度，为深入认识青藏高原冻土区域气候变化对生态系统碳循环关键过程提供了机制性解释。该研究结果发表于 *Global Change Biology*。

青藏高原冻土碳库：汪涛研究员团队整合了近 40 年间青藏高原 11 次野外考察、共

计 1114 个样点的土壤调查资料，探讨了青藏高原冻土发生与发展过程中关键历史时期即末次冰期和全新世大暖期的气候条件对现代冻土碳库格局的影响。结果显示：古气候对于现代冻土碳库格局形成的影响大于现代气候，且其重要性随土层的加深而逐渐增强；本研究提供了青藏高原古气候变迁对现代冻土碳库格局影响的有力证据，首次评估了古气候对不同深度冻土碳库影响的重要性。该研究也是目前为止青藏高原冻土碳库最为系统全面的一次评估，相关结果对于未来气候变暖背景下青藏高原冻土碳库的脆弱性评价具有重要意义。该成果发表于 *Nature Communications*。

➤ 贡嘎山站

早期成土过程中土壤有机磷形态转化与有效磷之间的关系：随着成土作用的进行，土壤中的原生矿物磷含量因风化作用逐渐降低，有机磷则逐渐积累，成为生态系统有效磷的一个重要来源。土壤中的有机磷以多种形态存在，不同形态有机磷的生物有效性差异较大，然而，成土早期土壤有机磷的形态组成、转化及其与有效磷之间的关系仍不清楚。基于贡嘎山海螺沟冰川退缩迹地土壤年代序列，采用 ^{31}P 核磁共振技术研究了成土早期表层矿质土壤中有机磷的形态组成及转化。发现磷酸单酯（42.6–51.5%）和磷酸双酯（4.0–8.3%）是海螺沟土壤年代系列表层矿质土壤中有机磷的第一和第二大组分（图 12）。随成土时间的增加，磷酸单酯呈“抛物线型”变化趋势，在 57 年样点达到峰值。磷酸单酯主要由 α -甘油磷酸酯（22.3–34.7%）和 β -甘油磷酸酯组成（20.9–33.0%），是 RNA 和磷脂的水解产物；此外，磷酸单酯还含有 15.3–18.8% 的 scyllo-, neo-和 D-chiro-肌醇磷酸盐，为微生物活动的产物；未发现主要来自于植物的植酸磷。磷酸双酯的含量随成土年龄呈不断增加的趋势，基本由来自于微生物和植物残体的 DNA 组成（>80%）。这些结果表明，成土早期土壤有机磷主要来自微生物的合成（易水解，生物有效性高），与成熟土壤中有机磷主要由植酸磷（生物有效性相对较低）组成显著不同，可能是成土早期土壤有效磷较高的一个重要原因。【Jun Zhou, Yanhong Wu, Benjamin L. Turner, et al., Transformation of soil organic phosphorus along the Hailuogou post-glacial chronosequence, southeastern edge of the Tibetan Plateau, *Geoderma*, 2019, 352: 414–421.】

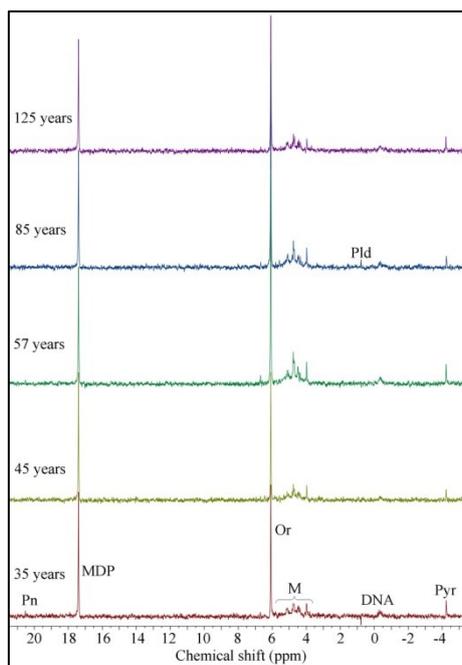


图 3.5.6 贡嘎山海螺沟冰川退缩迹地表层矿质土壤中磷的形态组成 (^{31}P 核磁共振技术测定)。Pn: 磷酸酯($\delta = 20.54 \text{ ppm}$), MDP: 内标($\delta = 17.40 \text{ ppm}$), Or: 无机正磷酸盐($\delta = 6.10 \text{ ppm}$), M: 磷酸单酯($\delta = 3.8\text{--}6.8 \text{ ppm}$), Pld: 磷脂($\delta = 0.5\text{--}1.0 \text{ ppm}$), DNA: $\delta = -0.34 \pm 0.03 \text{ ppm}$, Pyr: 无机焦磷酸盐($\delta = -4.22 \text{ ppm}$)

四、试验示范

► 海北站

祁连山南坡矿区植被修复

祁连山区位于青藏高原东北部，是甘肃、青海两省间的巨大山系。高耸的祁连山，在来自太平洋季风的吹拂下，是伸进西北干旱区的一座湿岛，成为遏制内蒙古沙漠和柴达木盆地荒漠贯通的天然屏障。木里煤田位于祁连山南坡，其开采对地表的扰动和环境的破坏，受到公众的关注。为了配合木里煤矿生态环境治理工程的实施，发挥中国科学院服务地方经济的作用。2015年7月，中国科学院启动了为期两年的STS《祁连山南坡矿区及周边受损生态系统植被修复技术与示范》项目，中国科学院西北高原生物研究所组织包括中国科学院寒区旱区环境与工程研究所、青海大学、青海省生态环境遥感监测中心和青海畜牧兽医科学院等多家相关单位，采用遥感、GIS、无人机和地面调查等技术，形成“天—空—地”一体化的监测手段，结合现场跟踪调查，开展煤采引起的矿区生态环境演变和影响监测，受损生态系统植被恢复关键技术研发，不同恢复措施植被恢复效果、恢复成本进行实地调查和调研，提出木里矿区受损生态系统植被恢复适宜的方法，并向管理部门提交“关于青海祁连山木里煤田生态恢复成效的监测评估及相关建议”，以期对木里矿区生态环境治理工程的实施起到指导作用。



图 4.1 成果证书



图 4.2 矿区植被修复预调查

植被重建方法：矿区受损迹地植被的人工修复，包括地表平整、基质改良、人工建植和后期管理等四个环节。木里矿区各企业的植被人工重建方法的差异体现在基质改良方式上，其余三个环节没有什么差异。地表平整是采用挖掘机进行渣山机械削坡、地表砾石归拢、掩埋和地形平整，在坡型改造上，亦有石方格、水泥格、小盆栽等方式；基质改良在木里矿区有“客土覆盖+肥料补施”与“肥料补施”两种方式，聚乎更矿区“客土覆盖+肥料补施”方式为主，而江仓矿区以“肥料补施”方式为主，肥料种类有有机肥和氮磷化肥，采用单施或混施，生活迹地位于交通要道，是检查的重点，均采用“客土覆盖+肥料补施”法进行。覆土厚度 10-15cm 不等。牧草种植均采用撒播的方式进行。后期管理主要采用采用无纺布保温、保墒和禁牧管理。

► 那曲站（青藏所）

2019 年度由那曲站汪诗平老师牵头，斯确多吉、朴世龙、沈妙根、姜丽丽参与的“气候变化背景下高寒草地生态-生产功能维持和提升机制研究”项目获得 2018 年度西藏科技进步一等奖（2019 年颁发），提出了藏北草牧业维持和提升技术体系，并进行了示范。那曲站汪诗平研究员和斯确多吉研究员担任那曲国家级农牧业示范园区技术顾问。斯确多吉同时担任西藏大学研究生校外指导老师以及西藏冬虫夏草协会理事等，为西藏相关单位和组织提供科技咨询服务。站长斯确多吉被聘为西藏那曲现代草原畜牧业示范基地（现改成“那曲市国家级农牧业示范园区”）技术顾问。



图 4.3 西藏科技奖证书

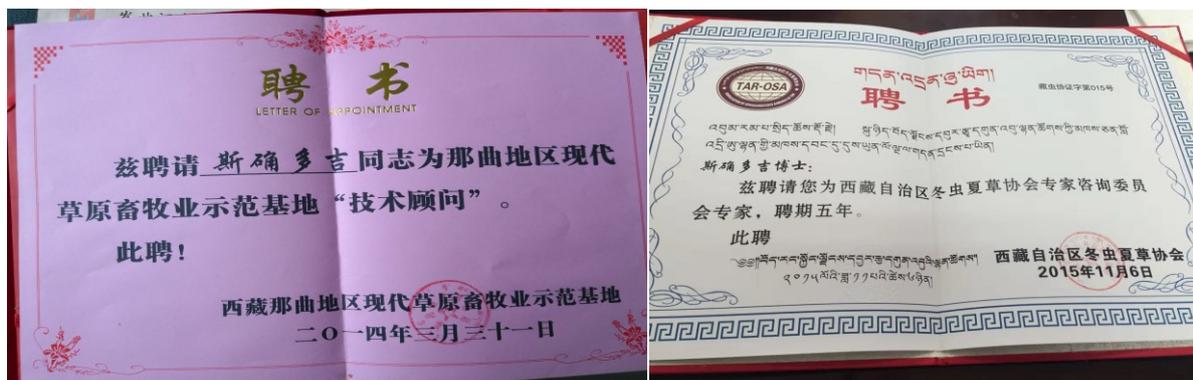


图 4.4 站长斯确多吉被聘为技术顾问

➤ 那曲站（西北研究院）

玛曲县草地退化、沙化过程研究和生态治理示范区

玛曲草原是玛曲牧民生产生活的源泉，生态脆弱，功能重要，对气候变化敏感。沼泽湿地→退化湿地→沼泽化草甸→湿草甸→干草甸→退化草甸→沙化草地的逆行演替趋势明显，草地退化沙化严重，生产力下降，直接影响着牧民脱贫致富奔小康和对美好生活的追求。针对这些影响区域经济社会发展的突出问题，我们在玛曲县河曲马场典型代表区建立了草地退化、沙化过程研究和生态治理示范区。鉴于玛曲草地的高寒草地典型性和代表性，以及黄河水源涵养功能重要性，建立了“3个90”和“三化”玛曲退化湿地草地监测技术体系，彰显了其生态治理对黄河上游水源涵养区保护和修复的重要性和示范性。

在自然和人为因素交互作用下，高寒草甸草原的逆行演替总趋势为，草本层破坏形成黑土滩，草毡层破坏形成沙化地。草地退化是由于外界干扰因子导致健康草地自我维

持机制失衡，发生由轻到重的草地生产力下降过程。依据草毡层硬度、毒杂草盖度、鼠兔洞穴斑块面积占比，将退化高寒草地划分为轻度退化草地、中度退化草地和重度退化草地。草地退化归纳为 2 大因素（超载过牧和气候变化）导致鼠害猖獗，毒杂草增多。

合理确定草地载畜量是有效保护草地资源并高效利用的关键所在。玛曲天然草地的干草产量大部分在 190~200 kg/亩，据此计算的理论载畜量为 5 亩/羊，1 头牛等于 5 个羊单位，1 匹马等于 6 个羊单位，玛曲草场总共载畜量应为 249 万个羊单位，但目前实际载畜量为 323 万个羊单位，超载率达 29.7%。为了缓和草畜矛盾，兼顾牧民收入与草原生态保护，应在以气象划分法的夏末秋初，即 8 月底到 9 月上旬，此期生物量和草产量最大，计算每户牧民草场最大载畜量，控制牲畜养殖数量。对产草量明显减少，处于不同退化程度的草场，需要相应减少牲畜数量，实行草畜平衡管理。

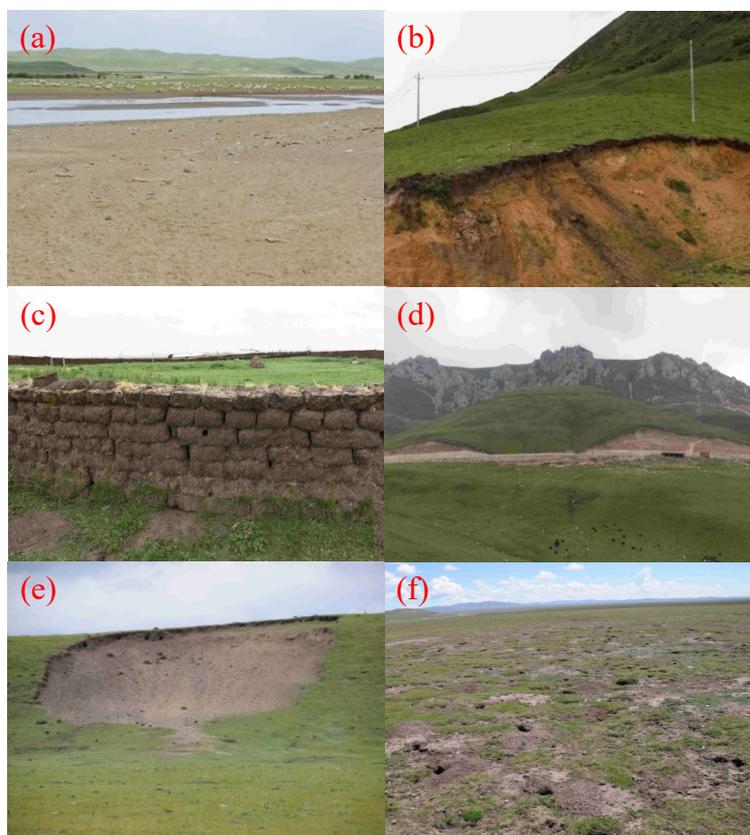


图 4.5 高寒草地沙化成因。(a)河流冲刷搬运，(b)滑坡塌方，(c)堆砌围墙，(d)工程施工，(e)挖土取石，(f)高原鼠害

玛曲县沙化草地由原来主要分布在沿黄河两岸阶地、河弯滩地，现在已扩展到部分退化草场以及南部的部分湿地边缘。沙化草地是以沙质地表为特征的草地类型。退化草地进一步逆行演替就成为沙化草地，如果不采取相应的逆转治理措施，在气候变暖大趋势下，沙质地表会进一步扩大，风沙活动将进一步加强。但沙化草地局地发生主要是人为因素，如工程施工、挖土取石、堆砌围墙等，特别是不合理的开垦天然草场为人工草

场，虽然短期内产草量有所增加，但缺乏对土壤的培肥改良和永续利用措施，人工种植几年产草量下降后便弃荒，就形成新的沙化地。

当前防沙治沙的主要方法包括植物治沙、物理治沙和化学治沙等，采用较多的为传统草方格、尼龙固沙网格、植物纤维编织固沙网格和石方格。高寒区沙化地气候和环境特点有别于内陆干旱半干旱荒漠区，相比较在相同的降水条件下，土壤蒸发明显小，湿润指数较高。在高寒半湿润区沙化草地和沙丘治沙中，不能简单地只考虑固沙效果，要实现固沙和草地生产功能相结合。为此，我们研发了活草方格治理模式，比较了几种常见的固沙模式材料来源、防护效果、环保性能、装运施工难易程度、造价、使用寿命和功能等。

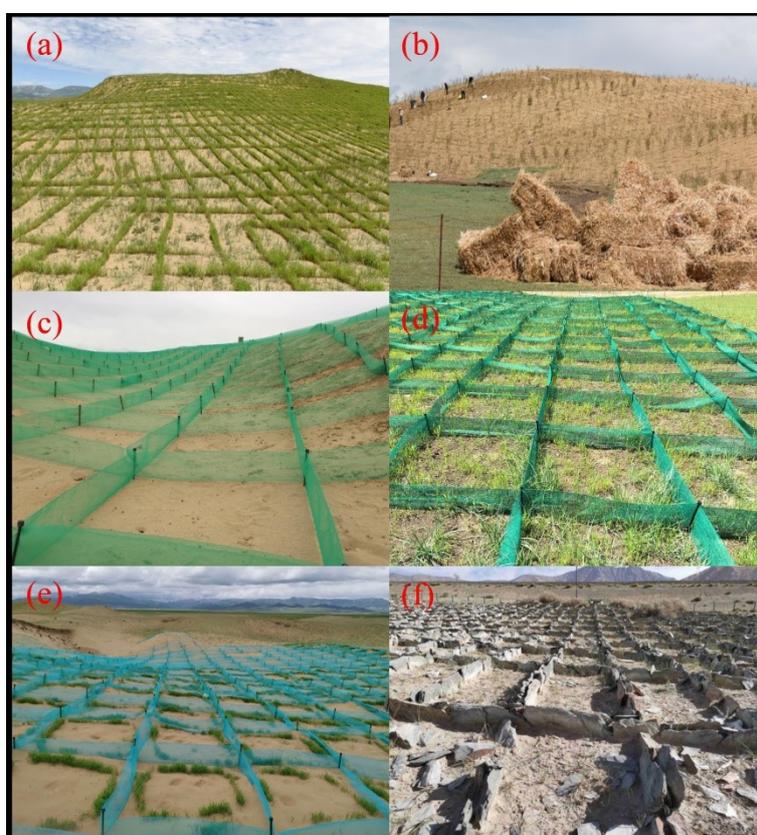


图 4.6 高寒区几种沙地人工治理模式。(a)活草方格，(b)传统草方格，(c)PE 网格，(d)PE 网格内撒播种子，(e)PE 网格内条播种子，(f)石方格

活草方格可直接进行井字形条播，所需种子运输方便，且具有固沙和生产相结合的突出功能。就造价而言，活草方格建植成本为 1275 元/亩，是传统草方格的 32%，尼龙网格的 27%，植物纤维网格的 19%，石方格的 10%。活草方格治理经过一个生长季的生长，当年就有一定的地上和地下生物量，次年防风固沙见效，经过 2~3 年的恢复，植被盖度增加和流沙面积减小就接近重度沙化草地，再经过 3 年左右的有效管理和恢复，就能够达到中度沙化草地的生产力，继续经过 3~4 年的辅助管理和恢复措施，就可以达到轻度沙化草地的生产水平，持续的有效措施和管理，再经过 2~3 年的时间基本能达到健

康草地产草量水平。

2019年7月9-10日，若尔盖站在甘南藏族自治州能源研究所和玛曲县教育与科技局的组织下，联合在玛曲县举办了退化沙化草地生态治理技术集成示范培训班。编写印制了《玛曲退化沙化草地生态治理技术集成示范》宣传手册并现场发放。培训班课件《退化沙化草地特征与生态治理技术》、《气候变化背景下玛曲草原变化与适应性对策》和《新材料与防沙工程研究进展》由苏培玺研究员、尚伦宇副研究员和屈建军研究员分别编写，由苏培玺研究员和专门邀请的藏文讲师双语讲解。会后部分科技人员现场观摩了高寒草甸草原退化、沙化，以及沙丘生态治理示范区。



图 4.7 退化沙化草地生态治理技术集成示范培训班

上述工作对玛曲地区草地湿地恢复治理提供了技术示范支持，为当地生态环境保护 and 经济发展提供支撑。

► 贡嘎山站

(1) 西南贫困山区扶贫保障的山地灾害风险防控

四川藏区、大小凉山彝区、秦巴山区、乌蒙山区“四大片区”是四川省连片贫困区，是该省最为关键的扶贫攻坚主战场，其中甘孜州、凉山州又是这个主战场的重中之重，是集革命老区、山地灾害发育区、高原高寒区、民族聚居区、生态脆弱区一体的深度连

片贫困区。两州贫困县、村及人口数量分别占全省 36.14%、32.86%和 26.68%，贫困发生率远高于我省平均水平，是我省最为关键的扶贫攻坚主战场。两州地质构造活跃、岩层破碎、地形陡峭、暴雨频发，是我国滑坡、泥石流、山洪等山地灾害最为发育、危害最严重的地区之一，近年来，在地震、强降雨等极端条件下，山区灾害频率和强度持续加强，造成人员伤亡、房屋倒塌等损失增大，使民众多年积累瞬间化为乌有，导致部分非贫困群众致贫、脱贫群众重新返贫，严重滞缓精准扶贫进程，危及精准扶贫成果，对精准扶贫的长效维持带来重大挑战。

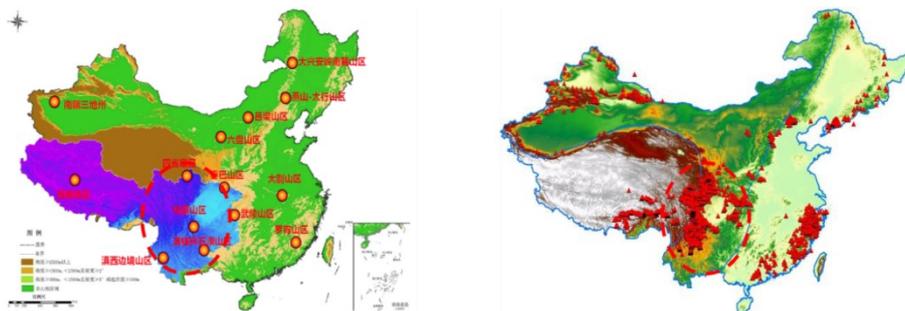


图 4.8 连片贫困山区与高频、高危险山地灾害分布区重叠

贡嘎山站王根绪研究员在担任四川省人民政府参事室参事期间，带领其团队在开展大量前期调研的基础上，分析了典型西南贫困山区山地灾害孕灾环境和致灾特征，结果发现，西南山区是地质灾害高发区，崩塌、滑坡、泥石流和不稳定斜坡是西南贫困山区主要的山地灾害类型，不同地区其山地灾害的分布也有所差异，整体表现为山地灾害隐患点越多，威胁人数和财产数越大。在西南贫困山区矿产资源集中分布，人类工程活动强烈的地区，矿产开采一般是当地经济的主要来源，也是当地扶贫工作的主要引擎，但是不合理的矿山开采可能加剧当地的山地灾害风险。

该团队进一步分析了西南贫困山区山地灾害与地区贫困的关系及山地灾害致贫的机制，认为，西南山区面临的灾害风险与当地贫困发生有着密切的关系，山地灾害的风险显著增大了当地致贫返贫的风险。农业是西南贫困山区的主导产业，山区农户是山区贫困的载体，面临着自然灾害等风险的威胁，而自身抵御风险的能力较差，一旦遭遇较大的风险打击就会使处于贫困边缘或者已经脱贫的农户重新陷入贫困而不能自拔。山地灾害的频发、生态环境的脆弱性、抵御灾害风险能力的不足等导致西南山区贫困问题突出。同时，突发的山地灾害给山区农户的生命财产安全造成较大影响，返贫现象显著。山地灾害与其他致贫因素有很大的不同，山地灾害具有随机性和不规则的周期性，突发性、区域性、风险性等，使山地灾害作为一个重要的致贫返贫因素也具有其自身的独特性。



图 4.9 贫困区常见地质灾害类型

基于以上研究，王根绪研究员团队总结了西南贫困山区现有扶贫工作中的突出问题，提出了基于山地灾害风险防控的扶贫保障建议：

对于现有扶贫工作，针对山地灾害风险防控对精准扶贫的重要支撑认识不到位，山地灾害风险防控与区域扶贫发展规划脱节、融合不够；山地灾害风险防控与扶贫保障体系尚不健全，难以确保扶贫成果的长效维持；扶贫基础设施、产业园区建设缺乏专门事前灾害防范评估体系；有效灾害防控手段不足，贫困群众应对山地灾害的防灾意识和自救能力低，防灾减灾知识普及亟待提高；因贫致灾问题突出，在生态环境脆弱地区，对于发展的渴望尤其突出，基础建设与资源开发等容易引发人为地质灾害。由于贫困地区的抗灾能力弱，相对于非贫困地区，灾害风险反而更大，导致更多的贫困或返贫现象，形成恶性循环。这些问题与不足都一定程度上阻碍了西南贫困山区扶贫工作的顺利开展。

为确保精准扶贫战略顺利实施，充分发挥山地灾害风险防控对精准扶贫的支撑作用，保证精准扶贫效果长效维持，山地灾害风险防控作为精准扶贫的重要内涵，统筹灾害防控与精准扶贫规划，打破部门限制，加强信息沟通和共享，为制订精准的防灾减灾预案和帮扶措施提供参考。大力推广应用新技术和新方法，加强潜在山地隐患科学排查和灾害风险的精准评估，加强针对扶贫基础设施、产业园区等重点工程的潜在山地隐患排查和灾害风险科学全面评估。规范资源开发，鼓励采用新工艺和新方法，统筹社会力量，加强灾后救助和帮扶力度，建立规范化、制度化、常态化防灾减灾知识和技能培训体系。

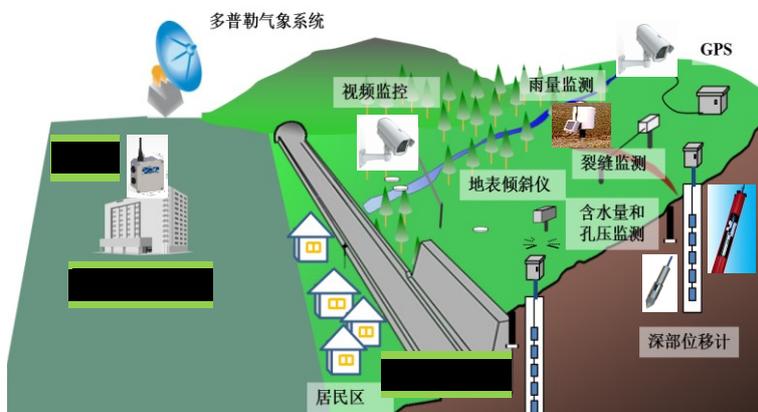


图 4.10 新技术和新方法在灾害监测中的运用

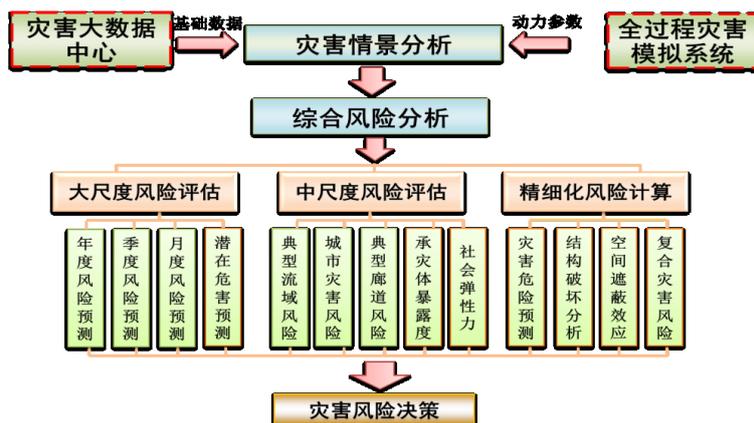


图 4.11 灾害风险评估技术路线

(2) 海螺沟萱草（百合）优良品种的选育及推广示范

贡嘎山站张丹研究员于2016年申请到四川省科技厅“海螺沟景区重楼种植适生品种选种”扶贫专项，在前期工作的基础上继续支持鑫康中藏药种植专业合作社。通过项目实施，在海螺沟新兴乡花卉种植基地进行7个萱草品种的环境适应性试验，包括橙花萱草、金娃娃、小黄花菜、重瓣大花萱草、红花萱草、雷鬼虎萱草和命定萱草。选育出橙花萱草、金娃娃和重瓣大花萱草3个优良品种，在海螺沟堡子村和柏秧坪村进行推广种植。到2019年6月，共带动农户进行种植，种植面积达100亩以上，鲜花产量达1270~1500 kg/亩。萱草宜观赏宜食用，具备旅游观光和旅游产品双重功能增加当地农民收入。



图 4.12 萱草优良品种的选育及推广示范

➤ 拉萨站

(1) 隆子县黄牛改良产业标准化、规模化发展

隆子县是全区黄牛改良的领头羊，在隆子镇、日当镇等地的黄牛改良率已达到100%。当前，改良黄牛由农户分散养殖，由于饲养管理水平粗放，生产效率仍有较大提升空间。为促进改良黄牛产业发展转型，隆子县政府通过产业扶贫项目投资建立了聂雄标准化奶牛养殖基地，目前总存栏量达到1028头。据调查，饲草品种单一、缺乏青贮饲料品种、饲草料加工营养流失严重、奶牛日粮配比不合理等技术问题成为制约当前聂雄奶牛养殖

基地规模化养殖的关键技术问题，这也成为科技服务的着力点。

中科院拉萨站科研人员依托中央引导地方科技发展创新专项，在隆子镇建立牧草引种试验基地，筛选绿麦草、皇后、多年生黑麦草、玉米杂交 C2235 等 5 个适宜隆子县盐渍化土壤条件的优良牧草品种，其中引进的“玉米杂交 C2235”品种，解决了缺乏青贮饲料这个阻碍黄牛改良产业发展的“卡脖子”问题；针对人工饲草种质成本高的问题，科技特派团在隆子镇娘嘎村建立绿麦草种子繁育基地 500 亩，通过技术改良与推广示范，生产绿麦草种子 20 余万斤，为实现牧草种子本土化生产解决了关键技术难题；针对奶牛养殖基地饲草短缺的瓶颈问题，特派团分析测试了人工草地土壤养分，并有针对性地提出了绿麦草、紫花苜蓿种植技术规范，通过提供牧草种子、肥料等生产资料和技术培训，建立绿麦草人工饲草基地 1400 亩、紫花苜蓿基地 1100 亩，同时技术指导奶牛养殖基地建立紫花苜蓿基地 2100 亩，据田间监测，绿麦草鲜草平均产量达到 3000 公斤/亩以上，紫花苜蓿干草平均产量达到 700 公斤/亩以上，初步解决了奶牛养殖基地饲草供应不足的问题；针对紫花苜蓿干草调制过程中叶片脱落严重、营养流失多度等问题，特派团通过研究叶片脱落与水分散失规律的关系，引进割草压扁机和方草捆打捆机等机械设备，推广上午刈割、下午打捆的作业模式，紫花苜蓿叶片脱落率降低 46%。围绕牧草种子繁育、牧草栽培、青干草捆调制的技术引进、改良、示范与推广工作，每年可为聂雄奶牛养殖基地节约成本支出 500 万元以上，为改良奶牛产业发展提供了成套技术支撑。

(2) 建立了高寒地区退化草地人工恢复技术体系

那曲市色尼区退化草地的主要植被为火绒草、风毛菊和肉果草等，草地覆盖率低、多砾石、表层土壤退化，生态环境质量较差。为解决退化草地恢复治理的技术难题，中科院地理资源所特派团 6 团在色尼区的退化草地上开展了多草种试种实验。试验选择了 9 种常见的牧草品种，包括：披碱草、老芒麦、黑麦草、紫羊茅、高羊茅、早熟禾、绿麦草、白燕麦、黑燕麦。试验前，采用铁丝网进行退化样地围栏，防止牦牛等牲畜进入啃食和人为干扰。播种前采用旋耕机对退化样地进行土壤翻动，恢复土壤耕层结构，为播种提供良好种床。播种前先将种子浸泡 12 小时，解除休眠、促进萌发，之后采用撒播和条播方式进行播种。播种后即添加复合肥，并定期进行浇水。该技术实施取得了较好的植被恢复效果，除了紫羊茅，其他 8 种植物恢复草种的发芽率均在 70-95%之间，发芽率较高。黑燕麦、白燕麦和绿麦草出芽率在 85-95%之间，株高在 8-60cm 之间，长势普遍好于披碱草、老芒麦、早熟禾、高羊茅、黑麦草。同时，试验还探索了氮磷钾肥料添加对退化草地植被生长的效果。以上试验结果可为藏北退化样地的人工种草恢复的品种选择、播种、施肥等管理提供借鉴参考。

(3) 草牧业科技服务

应聂荣县、白朗县政府要求，围绕人工饲草种植开展技术推广示范和技术培训。聂荣县海拔高、气候寒冷，为解决当地牧民饲草短缺问题，县政府计划在当木江乡和查当乡利用村集体土地建立人工饲草基地。为此，特派团在详细调研两块试验基地土壤条件和气候条件的基础上，制定了优质牧草品种引种试验方案。引进燕麦青海 44、绿麦草 2 个品种，提供牧草种子 15 吨、复合肥 20 吨，在当木江乡和查当乡建立种植示范基地 1000 亩，亩产鲜草 1500 公斤，示范区农牧民新增收入约 40 余万元。同时通过技术培训和技术咨询等科技服务，培训农牧民饲草种植技术 76 人次。白朗县属于典型农业县，调整种植结构、发展农牧结合是全县脱贫攻坚产业扶贫工作的重点内容之一。为此，特派员结合洛江镇和者下乡新垦荒地，开展牧草种子繁育和人工牧草种植技术服务。在罗江镇新垦荒地上，建立燕麦、绿麦草种子繁育基地 500 亩，生产优质饲草种子 8 万余公斤、青干草 13 万公斤，为白朗县饲草生产提供了技术示范和咨询服务，并帮助全村 51 户农牧民新增经济收入 53 万余元。在者下乡建立人工饲草基地 500 亩，其中绿麦草 300 亩、燕麦 200 亩，实测鲜草平均产量达到 2500 公斤/亩以上，有效解决了者下乡牧区饲草紧缺现状及饲草生产技术问题，带动 27 户农牧民新增收入约 26 万元。同时通过技术培训和技术咨询等科技服务，培训农牧民饲草种植技术和饲草种子生产技术 76 人次。

当雄县、达孜县是西藏典型的牧业县和农业县。当雄县主要面临草畜失衡、草地退化严重等问题；达孜县主要面临草牧业生产效率低等问题。为此，中国科学院拉萨高原生态试验站科研人员深入当雄县龙仁乡和达孜县唐嘎乡开展科技服务工作。2019 年 5 月 10 日至 11 日，沈振西研究员与钟志明副研究员对龙仁乡为牧户与家庭牧场春季饲草料准备与饲喂配比情况进行了调研，对新引入的青贮玉米饲喂采食方面问题进行了解答，并针对牧户牲畜养殖情况提供了咨询与建议。2019 年 5 月 20 日至 21 日，何永涛副研究员、付刚副研究员与宗宁博士对龙仁乡牧户及家庭牧场草地放牧管理情况进行了调研，并针对冬季牧场与夏季牧场的合理放牧与管理提供了咨询与建议。2019 年 6 月 20 日至 21 日，沈振西研究员与钟志明副研究员对龙仁乡冬圈夏草与人工草地土地整理、日常水肥管理与为牧户进行了讲解与现场培训，48 名牧民参加了此次现场培训，其中 26 名牧民为建档立卡贫困户。2019 年 4 月 16 日，余成群研究员、沈振西研究员、钟志明副研究员、武俊喜副研究员与孙维高级工程师与金麦穗农业合作社就如何实现合作社产业融合发展进行了座谈，并提供了咨询与建议。2019 年 5 月 16 日，拉萨产业融合国家级专家服务基地专家开展唐嘎乡乡村旅游与休闲产业发展调研与座谈，针对唐嘎乡乡村旅游

与休闲产业咨询与建议，下一步相关专家将对唐嘎乡乡村旅游与休闲产业进行规划与设计。2019年6月12日，余成群研究员一行对唐嘎乡乡村振兴规划工作开展了调研与座谈，为唐嘎乡乡村振兴规划及今后的工作提供咨询与建议。

在2018年工作基础上，依托科技部援藏“藏西北草业科技精准扶贫技术示范与基地建设”课题实施，继续在南木林县艾玛乡开展草业技术示范。建立引种试验地40亩，引进紫花苜蓿多个品系、青饲玉米多个品种、谷子、糜子、东方山羊豆、菊苣等牧草品种开展适应性研究。完成示范种植面积1000亩，其中燕麦+箭筈豌豆混播200亩、燕麦单播200亩、绿麦草600亩。当年测产数据表明，牧草产量水平较高，燕麦平均亩产鲜草3377.78kg，燕麦+箭筈豌豆混播平均亩产鲜草3044.44kg，青饲玉米平均亩产量达到5250.00kg。收获燕麦和小黑麦种子平均每亩达到210kg。依托“拉洛灌区粮-草-畜一体化关键技术研究示范”项目，在萨迦县扯休乡引进燕麦、小黑麦、箭筈豌豆、谷子、甜高粱、菊苣、青饲玉米、绿洲一号、披碱草、高羊茅、老芒麦、早熟禾和冰草等20余种饲草品种，建立优势品种展示区与不同功能区优良牧草资源圃20亩。同时，以草种繁育为重点，示范建立燕麦和小黑麦标准化种子生产田200亩。但由于今年雨季迟滞造成播种时间较晚，种子难以成熟。

依托2018年中央引导地方科技创新专项“拉孜县生态草畜牧业技术示范”课题和科技部援藏“藏西北草业科技精准扶贫技术示范与基地建设”课题，在拉孜县扎西岗乡和昂仁县桑桑镇开展人工草地试验与示范工作。在吉荣村种植青饲玉米50亩、燕麦60亩、燕麦+箭筈豌豆混播150亩，在若措村种植燕麦200亩、燕麦+箭筈豌豆混播200亩、燕麦种子田50亩、小黑麦123亩、白草地燕麦改良390亩，在苏村种植青饲玉米15亩。经测产与效益核算，燕麦和燕麦+箭筈豌豆平均亩产鲜草达到3000公斤左右，每亩净产值（不含农户劳动力投入）在750-810元左右。购置了大型拖拉机一台、种子包衣机两台、拾草打捆机和割草压扁机各一台，示范机械化收割加工技术。在昂仁县桑桑镇拉聂村规模化人工种草基地建立引种试验地20亩，根据当地海拔高、最低温-20℃左右、无霜期较短的特点，引进老芒麦、冰草、披碱草、青海冷地早熟禾、高羊茅、东方山羊豆等牧草品种开展适应性研究。在南木林县艾玛乡松东村人工种草基地建立引种试验地40亩，引进紫花苜蓿多个品系、青饲玉米多个品种、谷子、糜子、东方山羊豆、菊苣等牧草品种开展适应性研究。通过引种试验，初步明确了高海拔高寒区域适宜的牧草品种和生产技术，多年生牧草以老芒麦和披碱草为主，一年生牧草以燕麦和小黑麦为主。在人工适度高产草地建植中，以燕麦和小黑麦作为主推牧草，通过土地整治以利规模化机械化作业、种子包衣以促出苗与分蘖、使用速效复合肥料以保养分有效供给。完成年度种植任

务 1800 亩,其中燕麦 800 亩、小黑麦 1000 亩。平均亩产鲜草 1373.32kg,折合干草 343.33kg/亩,产量最高的取样点亩产鲜草可达 2000kg 左右,折合干草 500kg/亩。

➤ 三江源站

(1) 人工草地建植技术

1) 优质高产人工草地建植

青藏高原高寒牧区,草畜矛盾突出,冬春饲草匮乏,蛋白质饲料不足,严重阻碍了区域畜牧业可持续发展。由于豆科牧草具有较高的蛋白质、钙和磷,禾本科牧草具有较高的碳水化合物。基于牧草种植基地土壤养分监测和评价,制订了有机-无机搭配组合施肥策略;同时,引入箭筈豌豆与燕麦进行混播,以充分利用不同物种的生态位、发挥豆科牧草固氮功能,既能增加产草量,同时增加牧草蛋白质含量,并且改善牧草适口性和土壤结构,提高土壤肥力。

进行小黑麦和箭筈豌豆的混播,并与小黑麦和箭筈豌豆单播对照试验。播种粒数均为 700 粒/m²,按照种子粒数混播比例分别为 50:50、33:67、25:75(Vetch:triticale),播种期为 5 月 15 日,分别于 10、12、14、16、19 周采样,离地 5cm 收割地上部分,计算干鲜产量及测量品质。从图可以看出,箭筈豌豆在生长后期,叶片水分含量降低,极易脱落而导致产量降低,进而导致牧草蛋白含量降低。所以最佳的收获期为生长 16 周左右,9 月中下旬。

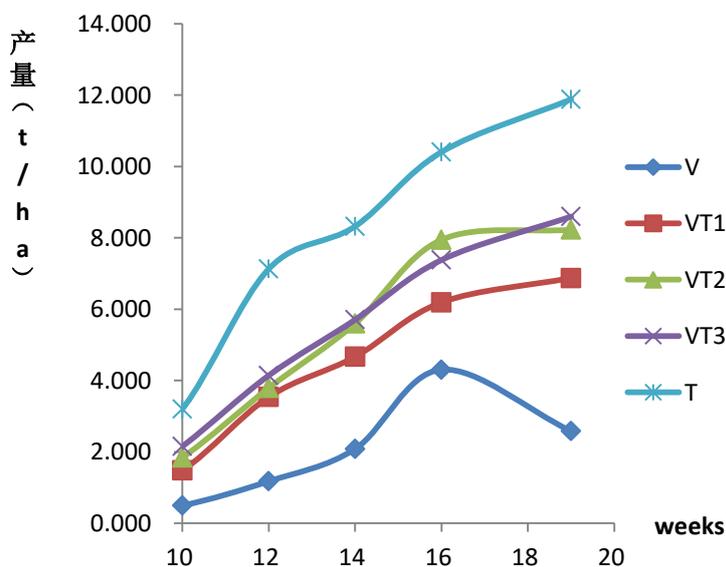


图 4.13 小黑麦和箭筈豌豆混播的干草产量动态

将小黑麦与箭筈豌豆进行混播可见,小黑麦单播拥有最高的产量,但是品质最差。蛋白含量低,纤维含量高。3 种混播比例中,随着小黑麦比例的增加,蛋白含量降低,

纤维含量增加。而干物质产量差异不显著，所以为了改善小黑麦饲草的品质，可以选择与箭筈豌豆 50:50 比例混播。另可以看出在 50:50 (vetch:triticale) 的播种比例下，到 9 月中下旬的收获期，地上生物量中箭筈豌豆的比例占 28.4%，即小黑麦和箭筈豌豆的生物量比约为 70:30。

燕麦+莜麦+小黑麦+箭筈豌豆、莜麦+箭筈豌豆、燕麦+箭筈豌豆和小黑麦+箭筈豌豆四种混播人工草地鲜牧草产量结果表明：四种混播模式下，牧草鲜草产量初期均随生长时间的延长而逐渐升高，随后产量迅速下降，总体呈现由低到高，而后再降低的趋势。而青干草产量总体呈上升的趋势。四种混播草地牧草粗蛋白含量在监测初期最高，而后粗蛋白含量有所降低，并维持在一个相对稳定的比例，在生长期结束后迅速降低，最后一次监测时四种混播牧草粗蛋白含量均在 5% 左右。

我们计算了四种混播模式下牧草生长期单位面积人工草地粗蛋白产量的动态变化。结果表明，燕麦+莜麦+小黑麦+箭筈豌豆、莜麦+箭筈豌豆、燕麦+箭筈豌豆和小黑麦+箭筈豌豆四种混播模式牧草单位面积粗蛋白产量呈先降后增再降的变化趋势，建议在后续生产中，以本年为例应以 8 月 26 日作为牧草最佳收获时间。除产量外，在收获时还要考虑机械化水平及天气情况，可以根据当地气候条件，适当调整播种期，将牧草最佳收获期所处的日期进行调整。这为牧草混播组合的确定和最佳收获时间的确定提供依据，也为高寒农牧交错区因地制宜实施“粮改饲”奠定了技术基础。

2) 基于地面监测数据的人工草地牧草产量预测模型

利用 2016 年和 2017 年现代草业牧场内实验观测场监测数据，以燕麦为代表人工牧草，进行同步气象与牧草产量、高度的数理统计分析，建立最终的预测模型。其中牧草高度采取定株观测，在气象站安装点附近不同位置选择 30 株。以红线标记，将米尺垂直于地面。

牧草生长动态监测：植物的生长大致可以分成 5 个阶段，第一个阶段为迟滞期，这一时期植物利用种子中存储的营养物质开始构建茎叶，叶冠层很小，光合面积小，光合速率很低，所以此时干物质增加速率极慢。第二个阶段为指数期，这一时期随着新叶的产生和叶片的扩展，叶冠快速增加，进而导致光合速率增加，此时植物有效光合组织和器官的比例维持在高水平上，所以干物质加速增加。第三阶段线性增长阶段，这一时期叶冠持续增加，光合速率增加，植物生物量持续增加，然后非光合组织的比例也显著增加，呼吸过程加强，所以干物质基本以恒定速率增加。第四阶段增长衰减期，这一时期非光合组织的比例进一步增加，光合组织相互遮挡导致光合效率降低，但是呼吸速率却不受影响，所以总干重增加速率不断降低。第五阶段负增长阶段，这一时期新叶片停止

增加，加之原有叶片衰老甚至脱落，光合功能衰减，光合速率降低，与此同时，呼吸作用增加，所以光合干物质生产低于呼吸消耗，随着时间增加植物生物量降低。由 2016 年和 2017 年的观测结果来看，基本上在播种后 100~120 天开始进入负增长期。所以在兼顾牧草营养物质的基础上，尽可能在播种后 3.5~4 个月内收获，可以获得较高的牧草产量。

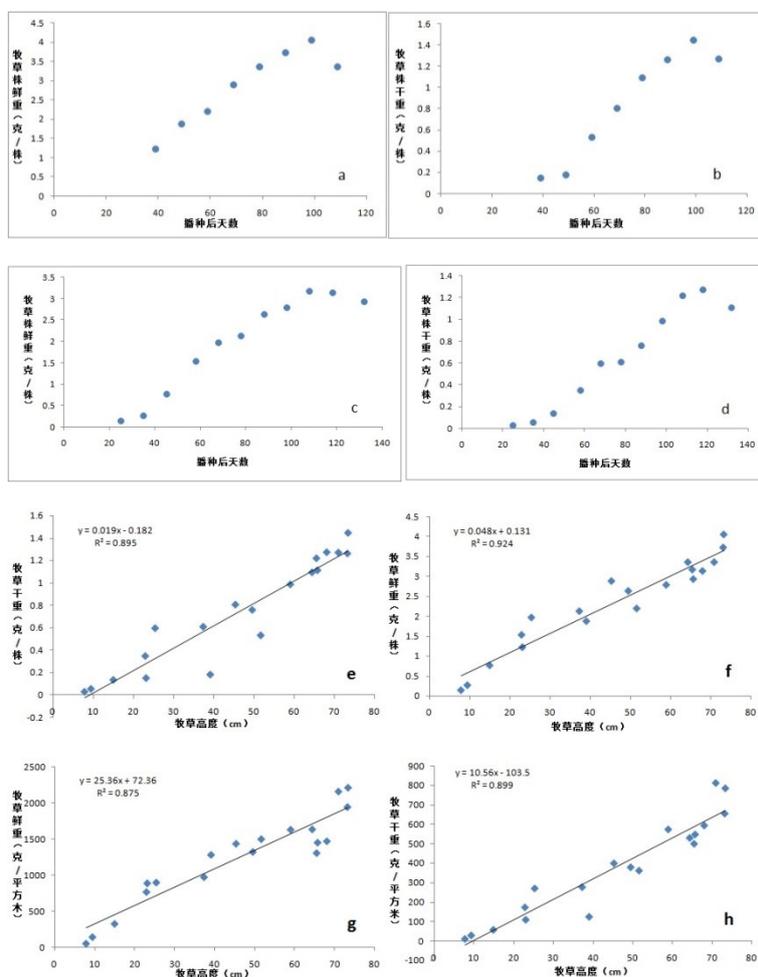


图 4.14 人工牧草鲜重及干重变化曲线及其与牧草高度关系图

产量动态预报模型：上面提到植物的生长存在生长大周期，生长速度会表现出“慢-快-慢”的基本规律，即开始时生长缓慢，以后逐渐加快，然后又减慢以至停止。如果以植物(或器官)体积对时间作图，可得到植物的生长曲线。生长曲线表示植物在生长周期中的生长变化趋势，典型的有限生长曲线呈 S 形。如果用于干重和高度等参数对时间作图，亦可得到同样类型的生长曲线。这里为了便于模拟将植物生长简化成三个时期，即指数期、线性期和衰减期。在指数期绝对生长速率是不断提高的，而相对生长速率则大体保持不变；在线性期绝对生长速率为最大，而相对生长速率却是递减的；在衰减期生长逐渐下降，绝对与相对生长速率均趋向于零值。根据这一规律，利用 Logistic 方程模拟贵

南人工牧草的高度、干重，很好的拟合了人工牧草生长的动态变化。

燕麦基于作物生长特征的最终产量预报模型如下：利用现代草业提供的 2011-2015 年牧草观测数据以及 2016 和 2017 贵南县气象局牧草观测数据。分年统计 5~9 月平均气温、平均最高气温、平均最低气温、平均气温日较差、平均相对湿度、平均总云量、2 米风速、平均地面温度、平均 10 厘米地温、降水量和日照时数（表略），最后在 spss 中进行逐步回归，得到 A 和 k 值的预测模型，方程均通过 0.05 显著性检验。

燕麦逐月预报模型：逐月预报一方面可以参照基于基于作物生长特征的最终产量预报模型，不过需要先求得全年的生长曲线方程，这里可以根据前期气象条件利用公式 6~8 计算，也可以根据前期连续观测的牧草产量数据拟定，然后在输入需要预报的天数，这样就可以得到逐月滚动预报。

（2）饲草料加工精准搭配系统

1) 基于近红外的牧草营养品质快速检测技术

针对传统饲草料营养品质检测周期长、费用高等问题，引进丹麦 FOSS-NIRS.DS2500 型近红外光谱仪一台，用于牧草营养品质的快速检测工作。大大提高了前期牧草营养品质的常规检测效率。该仪器的谱区范围为 400-2500 nm，400-700 nm 为可见光区，可进行表观颜色分析。波长间隔 2 nm，谱区范围较广，能够进行样品各成分的定量分析。仪器进样样品为进行简单粉碎处理的草粉，通过装样扫描-检测分析-建立模型-验证模型 4 步，能够完成牧草营养品质的快速检测工作。

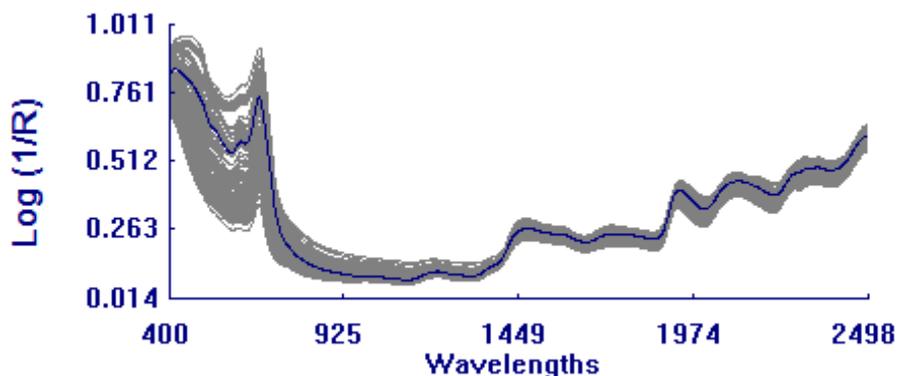


图 4.15 小黑麦营养成分光谱图

上图为小黑麦的营养品质不同波段的波谱图，其中在 400-700nm 波谱波动较大，表明在此可见光波段小黑麦的颜色变化较大。

2) 牦牛、藏羊饲料配方系统

根据牦牛和藏羊的营养需求和当地主要饲料原料代谢能、营养含量和价格等，基于 R 语言可视化包 shiny 和 shinydashboard 等及非线性规划包 Rdonlp2 实现最低成本饲草

料配方系统。可根据饲料原料的实时价格、对应批次饲料原料代谢能、营养含量，通过非线性规划自动计算牦牛藏羊对应体重和日增重条件下的最低成本饲料配方。



图 4.16 不同体重和日增重牦牛饲料配方



图 4.17 不同体重和日增重藏羊饲料配方软件

► 青海湖站

充分利用现代化信息与技术手段，高效率、高质量地开展数据获取、传输和分析工作。运用信息化技术提升野外监测水平。2019年，在青海湖开展利用无人机和红外相机对保护区的水体、冰面和野生动物的监测工作，获取了水位上涨以来青海湖水体的影像和视频监测资料，为青海湖水体的面积分析提供了重要的数据资料。使用新的技术和手段很大程度上提高了监测能力，取得较好效果，可进一步推广应用。

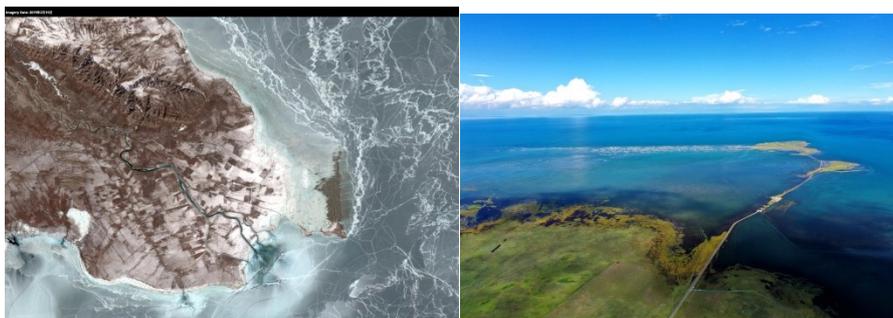


图 4.18 无人机拍摄的 2019 年青海湖冰面和水域

初步建立了从设备部署安装、数据采集、数据整理、数据库建设、数据分析处理，基于 WebGIS 的数据展现分析，数据可视化，仪器设备状态远程监控等较完整的技术体系和人员队伍。

五、公众服务

► 三江源站

2019 年，央视综合频道《机智过人》第三季、2019 智敬中国、北京卫视大型生态文明纪录片《绿水青山》、上海卫视《长江之恋-溯源大江》、中央电视台【新闻直播间】等媒体相继对三江源地区的工作进行跟踪报道：其中对在三江源地区开展的天空地一体化监测体系进行了介绍和展示；在青海三江源国家公园用红外相机拍到雪豹完整标记行为，以及多种野生动物现身澜沧江源园区等新闻报道。



图 5.1 媒体关注

提交的咨询报告中，有针对青藏高原农牧业面临极端气候事件威胁提交的“青藏高原农牧业面临极端气候事件威胁，亟需构建适应气候变化的发展模式”建议，以及“加强青海省三江源雪灾重灾区风险防范着力改善环境民生的对策建议”，得到中办采纳；“2018-2019 年冬春雪灾对三江源区草地畜牧业影响的遥感监测评估及加强雪灾应对能力建设的对策建议”得到生长批示；“三江源国家公园生态保护成效、问题及建议”提交中办调研局。

► 天山冰川站

2019 年，天山冰川站积极承办中国冰冻圈科学学会（筹）冰川专业委员会 2019 年学术会议，和中国极地研究中心、中国科学院亚热带农业生态研究所、中国气象局气象科学研究所、甘肃省气象局、中国科学院大学地球科学学院、吉林大学等国内各大院所单位进行了合作交流。

为了推进我国冰川学研究的发展，加强冰川学研究者之间的交流，探索新的冰川学发展方向，使冰川学研究更好的服务于社会经济的可持续发展，天山冰川站联合中国极地研究中心、石河子大学、西北师范大学、冰冻圈科学国家重点实验室，于2019年10月7日-9日在上海召开了中国冰冻圈科学学会(筹)冰川专业委员会2019年学术会议。会议期间，天山冰川站站长李忠勤研究员受邀做了题为“山地冰川物质平衡和动力过程关键参数的地基观测”的大会报告，此外，中国极地研究中心孙波、云南大学刘时银、北京师范大学程晓、中科院青藏高原研究所张寅生、同济大学王汝建、中科院遥感与数字地球研究所施建成、河海大学王召民、云南大学田立德、华东师范大学史贵涛、中科院西北研究院李慧林分别做了主题报告。此后进行的分组报告达84个，分3组同步进行。科研人员进行了热烈的交流和讨论，促进了我国冰冻圈科学事业的发展。



图 5.2 会议合影



图 5.3 会议现场

天山冰川站与中国极地研究中心、中国科学院亚热带农业生态研究所、中国气象局气象科学研究所、甘肃省气象局、中国科学院大学地球科学学院、吉林大学等团队开展交流合作，促进了协同共进，为今后合作奠定了坚实基础。



图 5.4 中国极地研究中心徐韧副主任一行到天山冰川站调研



图 5.5 王克林研究员在天山冰川站参观交流（左），孙文科教授听取天山冰川变化介绍（右）



图 5.6 翟盘茂研究员、高学杰研究员、张强研究员参观 1 号冰川末端综合气象观测场（左），吉林大学“南极冰下环境及钻探技术”团队在 1 号冰川试验手摇/汽油机钻（右）

2019 年，天山冰川站与西北师范大学、石河子大学、华东师范大学、福建师范大学 4 所东西部高校分别签署合作协议，共建研究生及本科生实习实践基地，吸纳更多的优秀研究生、本科生在毕业后加入冰冻圈研究。希望在野外站、高校优势互补基础上，利用区位优势在高校地理学人才培养方面做出新的探索和实践。



图 5.7 西北师范大学和石河子大学理学院研究生实习基地揭牌暨西部高校野外实习研讨会



图 5.8 华东师范大学地理科学学院地理学拔尖人才野外实践基地揭牌

2019 年暑期,通过“本科生科研启航计划”,天山冰川站从兰州大学、西北师范大学、兰州城市学院、天水师范学院选拔 24 名优秀本科生到站从事科研活动。本科生在站期间,组织听取科研人员学术报告,并分冰川遥感、物质平衡、大气气溶胶三个小组开展科学研究,撰写学术论文。为了科研与野外实践相结合,天山冰川站组织本科生到乌鲁木齐河源 1 号冰川现场实践,熟悉冰川物质平衡、水文气象、冰川运动速度等项目的观测方法。通过这项活动,致力于培育冰川与冰冻圈科学研究后备人才。



图 5.9 福建师范大学地理科学学院本科生实习实践基地挂牌仪式(左),西部高校优秀本科生天山冰川站实习(右)

► 纳木错站

依托第二次青藏科考项目与在纳木错站开展的大型科考活动,纳木错站 2019 年度在科普与媒体宣传方面,取得较大进展。2019 年 5 月,中央电视台新闻频道全程跟踪报

道了第二次青藏科考纳木错浮空艇观测研究项目，我国自主研发的“极目一号”浮空艇在纳木错站成功创造了 7003 米高空科学观测的世界纪录。在 6-10 月份，央视新闻频道、新华社、西藏广播电视台等多家媒体对第二次青藏科考纳木错湖泊科考团队的纳木错百米湖芯钻探计划进行了采访报道。2019 年 7 月，新华网报道了纳木错站在纳木错湖投放青藏高原首个大型浮标式湖泊监测平台。纳木错站依托传统媒体优势，进行台站观测和科研的宣传，对提升台站形象，扩大台站影响力和扩展科普宣传具有重要作用。

➤ 格尔木站

2019 年 3 月 21 日，加拿大国家水文中心研究员、美国阿拉斯加大学教授、寒区水文领域国际著名学者杨大庆教授来站进行学术交流。2019 年 6 月 6 日，香港中文大学、南京信息工程大学科研人员来站进行学术研讨。



图 5.10 学术研讨会现场

2019 年 9 月 13-19 日，香港中文大学胡燕博士、张佳华博士，西南交通大学王晓文副教授、蔡嘉伦博士一行 4 人来站进行石冰川联合野外调查。朱小凡助理研究员和郝君明博士研究生参加了此次联合野外考察。针对昆仑山型石冰川的特点，此次野外工作借助无人机进行了石冰川地貌特征测绘，采用样方法测定块石砂砾的粒径，以及探坑法观测石冰川土层剖面结构，进一步结合 InSAR 形变结果揭示昆仑山型石冰川的特征。石冰川是水缘区一种舌状或叶状堆积体，通常由块石砂砾组成。源头部分比较低洼，舌部外形上凸。石冰川的类型和成因是比较复杂的，至今也还有没有查清的问题和不同看法。昆仑山型石冰川集中分布在东昆仑惊仙谷两侧山地，海拔在 4800-4600 米，形状似掌状，含冰量小，流速小，由雪蚀作用和冻融蠕动流作用综合形成。

➤ 青海湖站

青海湖联合科研基地的工作在社会上，特别是在中国世界人与生物圈保护网计划国家保护区产生了很大的影响。国内很多的保护区都与我们进行联系，希望开展类似的相关工作。联系的保护区包括：车八岭国家级自然保护区、鄱阳湖保护区、卧龙保护区、无量山保护区、哀牢山保护区、三江源保护区、达赉湖保护区、汉石桥保护区、贵州茂兰保护区等。2019 年，我们对世界生物圈保护区信息化需求进行了进一步调研，新增的

调研保护区有丹霞山保护区等。今年圆满完成了车八岭自然保护区科研监测信息化体系能力建设实施方案项目一期的验收并在保护区投入使用，标志着保护区科研监测信息化能力建设达到国内领先水平，为广东省乃至全国自然保护地科研监测提供了样板，同时，为 2020 年与中央电视台合作开展野生动物红外相机监测网络直播奠定了坚实基础。

► 玉龙雪山站

(1) 院企携手助推青藏高原冰雪旅游资源保护性开发

2019 年 4 月 10 日，中科院西北生态环境资源研究院、中国科学院玉龙雪山冰川与环境观测研究站、西藏藏游旅游开发有限公司，在拉萨签署院企创新发展战略合作协议。双方将以此次战略合作协议签署为契机，开展全方位深层次的合作，开创西部地区大型非国有企业与国家级科研院所合作的典范，实现冰雪资源与产品的深度开发，科研与旅游的高端对接。西北研究院冰冻圈科学国家重点实验室和中科院玉龙雪山冰川与环境观测研究站便是专门从事冰雪资源，特别是冰雪旅游资源开发与规划的专业研究机构，其部分研究成果已应用于玉龙雪山、达古雪山冰川旅游开发之中。



图 5.11 战略合作协议签订

(2) 与云南大学共同开展高空大气水汽同位素测量前期调研

2019 年 4 月 29 日，云南大学国际河流与生态安全研究院田立德研究员、美国犹他大学 Gabriel Bowen 教授一行共 6 人，在玉龙雪山站工作人员的陪同下，一起到玉龙雪山考察。目的是协同玉龙雪山站调查在玉龙雪山冰川区开展连续大气水汽稳定同位素测量的可行性。经调研，丽江玉龙雪山冰川区有电力供应与后勤保障，可以作为连续大气水汽测量的理想地点。计划使用 Picarro-2130i 水同位素分析仪结合标准水模块，连续测量高海拔大气水汽中的氢氧同位素。目前，双方合作完成了仪器的安装与调试工作。

(3) 专家学者齐聚丽江共商玉龙雪山冰川旅游与环境保护协同发展对策

5 月 29 日，玉龙雪山冰川旅游与环境保护协同发展研讨会暨玉龙雪山站第二届学术委员会第二次会议在云南省丽江市召开。来自全国各地的专家学者共 100 多人出席了会议。与会专家学者认为该站在研究海洋型冰川区冰冻圈变化过程机理、揭示冰冻圈气候

与环境变化、分析冰冻圈变化影响与适应性管理措施方面取得了重要成绩，在台站管理、台站监测、深化与地方政府合作等方面颇有成效。并希望将台站建成冰冻圈服务、冰冻圈防灾减灾、冰冻圈与可持续发展野外观测试验基地，基础研究与社会应用相结合的科研示范基地，以及人才培养、科普教育、教学实践实习于一体的高度开放的学术交流与合作平台。



图 5.12 秦大河、陈发虎院士主持会议

(4) 院地签订合作协议、共同助推玉龙雪山地区水资源研究

2019 年 5 月 29 日，中科院西北生态环境资源研究院与云南省水文水资源局丽江分局在丽江签署院企创新发展战略合作协议。双方将以此次战略协议签署为契机，开展全方位深层次的合作，共建玉龙雪山冰雪水文研究站，并在主要的监测点共同挂牌；在未来的 5-10 年，充分发挥水文局在水文观测方面的长期监测优势，玉龙雪山站将发挥在冰川变化监测以及研究方面的优势，通过长期定位观测，积累长序列丽江市冰雪资源与水文变化数据，凝练高水平科研成果，从流域尺度上深入分析丽江-玉龙雪山地区的冰雪资源、地表水和地下水多年变化规律，重点探讨玉龙雪山冰雪资源的变化如何影响丽江市地表水和地下水；积极配合丽江地区水资源调配等各项工作，为丽江市水资源的管理、决策工作提供科学依据。



图 5.13 战略合作协议签订

(5) 与云南省水文水资源局共同召开“丽江市地下水动态与补给机制研讨会”

2019年7月23日，玉龙雪山站、云南省水文水资源局丽江分局共同召开“丽江市地下水动态与补给机制研讨会”。参会人员就丽江-玉龙雪山地区地下水的问题和研究思路进行了深入讨论，会后全面勘察了玉龙雪山、丽江盆地及九子海的水文地质现状，对黑龙潭等泉眼开展了重点考察工作，并采集了部分河水、泉水和井水样品，用于同位素和水化学分析，为丽江市地下水的补给机制研究提供数据基础。



图 5.14 与云南省水文水资源局丽江分局共同召开丽江市地下水研究研讨会

(6) 玉龙雪山站召开丽江冰雪资源与天文科普旅游研讨会

2019年9月25日，丽江冰雪资源与天文科普旅游研讨会在玉龙雪山站召开。专家学者就丽江市冰川资源与天文科普旅游协同发展进行了深入研讨，与会人员参观了中科院丽江天文台。



图 5.15 丽江冰雪资源与天文科普旅游研讨会

(7) 玉龙雪山站承办全球冰冻圈科学国际研讨会

10月26日，由冰冻圈科学国家重点实验室、冻土工程国家重点实验室、玉龙雪山站等单位主办全球冰冻圈科学国际研讨会。来自中国、俄罗斯、美国、澳大利亚以及中国科学院地理科学与资源研究所、南京大学、云南大学、南京信息工程大学、西南大学、西北大学等 120 多名专家学者参加此次会议并进行了主旨演讲和交流研讨。本次国际会议主要聚焦于利用冰冻圈科学技术适应和缓解当前面临的社会经济、环境问题，利用观测和模拟到的冰冻圈变化情况为政策制定与服务提供科学基础，更好服务社会、促进社

会经济可持续发展。会后，参会人员赴玉龙雪山站气象站、冰川、水文与环境观测点进行了实地考察。



图 5.16 会议现场



图 5.17 中俄美相关北极冰冻圈研究人员考察玉龙雪山冰川观测点

➤ 贡嘎山站

(1) 打造山地生态环境研究生教学实习基地

中科院成都山地所联合贡嘎山站举办每年一次的中科院成都山地所博士、硕士研究生赴贡嘎山进行的课程实践和野外科考活动，依托贡嘎山站实施研究生教学实习环节的教学工作。实地考察山地生态系统结构与格局、山地环境要素特征、地貌特征、滑坡和泥石流发育特征和防治工程、第四纪冰川地貌和构造特征以及生物和气候垂直地带分布特征等，给研究生普及贡嘎山地形地貌、植被分布情况以及冰川演替历史等方面的知识。进一步强化了四川大学、武汉大学、兰州大学等大学中有关水文学与水资源专业和环境学专业本科生与硕士研究生教学实习工作；同时，进一步提升了对北京大学、清华大学、四川农业大学、中山大学、四川大学、等有关植物学、生态学以及全球变化方面本科与研究生教学实习基地等的服务功能。特别是协助北京大学生态学专业设立了亚高山森林生态演替进程的长期观测试验基地。此外，英国诺丁汉大学宁波-马来西亚分校、西南民族大学、西南交通大学、北京中关村中学也同贡嘎山站联合开展了一系列研学活动。

协助成都山地所举办了“山地科学概论”精品课程 3 个：全球变化与山地生态、山地生态系统地球化学以及山地水文学与水资源，给研究生普及了山地水文、山地生态、山地生物地球化学方面的知识。

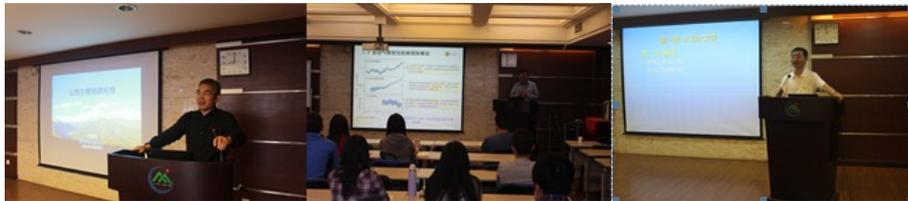


图 5.18 “山地科学概论”精品课程



图 5.19 研学活动

(2) 积极开展科普工作

加强科学技术普及教育，提高民族科学素质，已成为持续增强国家创新能力和国际竞争力的基础性工程。广泛开展社会科学技术普及活动是推进我国科普工作的重要任务，是大力实施科教兴国战略、全面推进素质教育的重要举措。大力开展科普工作，不但利于普及科技文化知识，提高广大公民的科学素质，而且有利于在全社会营造学科学、爱科学的氛围，调动公民学科学的积极性。

2019 年，贡嘎山站继续为海螺沟景区、达古冰川、亚丁景区等提供职员与导游的科普讲座和培训工作，讲解海螺沟冰川的基础知识、冰川的形成过程、冰川的类型、冰川的总体特征。又从海拔、气候、植物带等方面，对贡嘎山地区的植被分布情况进行了详细讲解。让学员们对冰川和植被知识有了概念性的了解。另外，贡嘎山站孙守琴研究员、罗辑研究员、张丹研究员、刘巧副研究员等多次国内高校和中学的邀请，举办有关青藏高原科考、海螺沟海洋性冰川特征、冰川退缩区植被原生演替动态、土壤修复中大型真菌的运用等方面的科普报告。贡嘎山站 2019 年度接待各类科普、研学和自然教育团体 12 个，先后举办各类科普讲座 17 场，受众 1200 余人，极大地激发了广大听众对科学的兴趣，同时也扩大了贡嘎山站的社会影响力。



图 5.20 科普报告

➤ 拉萨站

拉萨站获批第五批国家级专家服务基地

2019年4月，拉萨站申报的《西藏拉萨市乡村振兴产业融合专家服务基地》科技服务项目获批第五批国家级专家服务基地。拉萨站余成群研究员团队长期从事西藏科技服务工作，依托拉萨农业生态试验站、西藏草业工程技术研究中心与中科拉萨地理科学与区域发展研究院等研究平台及项目开展，培养了一支稳定的技术研发与产业发展研究队伍，为此次成功申报国家级专家服务基地打下了坚实基础。此次国家级专家服务基地项目由钟志明高级工程师负责实施，并联系对口专家与团队，开展调研与分析，针对拉萨市乡村振兴产业融合科技示范区在产业融合长效机制、生态循环草牧业科技体系与经营主体及农牧民科技素质等方面存在的问题，进行技术指导与培训，从而为拉萨市乡村振兴产业融合科技示范区建设提供理论与技术支撑。

专家服务基地作为组织专家与基层需要对接、引导专家服务基层的重要载体和平台，旨在创新高层次人才柔性流动机制，组织引导广大专家利用专业优势，帮助基层集聚创新资源、突破关键技术、优化产业结构、培养急需人才，为基层加快实现创新驱动发展提供人才和智力支撑。



图 5.21 人工种植作物、奶牛养殖、西藏科技厅及地方领导现场调研

六、年度数据统计

1. 论著统计

年份	类型	SCI					EI	CSCD	会议论文	其他	论文总数	著作
		IF \geq 4.0	4.0>IF \geq 2.0	IF<2.0	小计	平均 IF						
2019 年	第一标注	81	67	40	188	3.988	7	100	3	5	303	9
	第二标注	30	17	8	55	4.33		34	1	1	91	3
	其他标注	57	43	24	124	4.681		25			149	2
	总计	168	127	72	367	4.333	7	159	4	6	543	14
2018 年	第一标注	37	85	40	162	3.09		97	1	3	263	7
	第二标注	11	17	5	33	3.359		23			56	
	其他标注	37	39	12	88	3.95		18			106	
	总计	85	141	57	283	3.466		138	1	3	425	7
2017 年	第一标注	49	94	55	198	3.252	2	108	2	15	326	15
	第二标注	9	14	3	26	5.021	1	24			51	
	其他标注	17	20	1	38	4.502		5		1	43	2
	总计	75	128	59	262	4.258	3	137	2	16	420	17
2016 年	第一标注	30	72	63	165	2.997	1	83	8		257	4
	第二标注	8	18	12	38	3.1		23			61	
	其他标注	8	7	5	20	4.17		2			22	
	总计	46	97	80	223	3.422	1	108	8		340	4
2015 年	第一标注	20	71	60	151	2.599	1	72	10	3	237	5
	第二标注	5	17	6	28	3.194	1	18			47	
	其他标注	8	19	8	35	3.591		6			41	
	总计	33	107	74	214	3.128	2	96	10	3	325	5
2014 年	第一标注	29	67	55	151	2.835	3	100	3	2	259	2
	第二标注	8	13	6	27	5.386		18		2	47	3
	其他标注	10	10	2	22	4.914		2			24	
	总计	47	90	61	200	3.408	3	120	3	4	330	5

2. 在研项目统计

基金类别		2019年(经费单位: 万元, 下同)			2018年(经费单位: 万元, 下同)			2017年(经费单位: 万元, 下同)		
		项目数	总经费	当年经费	项目数	总经费	当年经费	项目数	总经费	当年经费
基金委	面上项目	71	4780.7	851.11	64	4605.7	659	56	4449.28	710.42
	地区科学				0	0	0	2	89	44.5
	杰青	3	1100		4	1550	0	2	800	
	青年基金	31	796	113.64	28	720	102.2	15	398.25	60.25
	优秀青年	1	150	78	1	130	0	1	130	
	重大项目	3	914.04	204.46	3	780	247	8	1537	307
	重大研究计划	9	1366	399.55	12	1665	80	5	695.8	20
	重点项目	8	2444	666.04	8	2447.3	12.4	5	1406.28	150
	其他	1	550	105	9	988.3	216	7	690	238.4
	小计	127	12100.7	2417.8	129	12886.3	1316.6	101	10195.6	1530.57
科技部	973/重点研发计划	43	9165.25	1683.86	28	6463.4	503.3	4	1231.5	211.5
	科技支撑计划	1	45	16				3	657	
	重大科学研究计划				5	1299.6	230.1	6	1904	36
	国家基础性工作专项	2	63		3	219	36	1	33	
	其他	11	8898	1503	6	1287.7	585.2	23	9160.6	1412.32
	小计	57	18171.3	3202.86	42	9269.7	1354.6	37	12986.1	1659.82
中科院	百人计划	4	1400	440	2	470	40	2	330	60
	西部系列	1	50	20	1	20	20	10	145	52
	创新系列				1	80	20	1	80	20
	重点部署项目	9	4155	926	6	1400	130	9	1735	320
	STS 计划	3	1288		2	1048	28.8	2	310	60
	先导专项	37	18406.6	2892.39	17	9017.6	1873.3	5	5	
	其他	44	10656.8	2159.37	15	2739	731.2	13	3002	1124.8
	小计	98	35956.3	6437.76	44	14774.6	2843.3	42	5607	1636.8
其他	博士后科学基金	1	5		2	28	0	2	30	10
	国际合作	6	828	164.18	10	3098.1	520.5	6	2499.3	490.5
	各级实验室开放基金				1	10	0			
	所级	2	195	50	7	545	77	8	476	62
	地方	61	9825.83	2426.45	36	5696.8	2222.1	29	4645.7	1075.6
	其他	10	813.55	109	8	1242.5	583.3	8	1711.39	400.95
	小计	80	11667.4	2749.63	64	10620.4	3402.9	53	9362.39	2039.05
总计	362	77895.7	14808.1	279	47551	8917.4	233	38151.1	6866.24	

六、年度数据统计

基金类别		2016年			2015年			2014年		
		项目数	总经费	当年经费	项目数	总经费	当年经费	项目数	总经费	当年经费
基金委	面上项目	38	3277	701.9	71	5269	1150.1	52	4225	1039.6
	地区科学	2	100	25	6	236	49.49	3	158	40.5
	杰青				3	800	90	2	400	90
	青年基金	17	829	92	52	1228	371.8	36	958	376.1
	优秀青年				2	200	50	2	200	80
	重大项目	1		14	4	420	116	1	320	120
	重大研究计划	6	847.3	154	3	830	165	2	450	90
	重点项目	8	4629.5	880.8	6	1387	281.5	6	1467	547
	其他	8	980.2	30	1	25	25	3	330	117
	小计	80	10663	1897.7	148	10395	2298.89	107	8508	2500.2
科技部	973/重点研发计划	8	1466.5	290	15	5366	1154	15	4647.5	1132.51
	科技支撑计划	5	884	30	21	4390.5	345	15	3410	432
	重大科学研究计划	3	1514	448	0	0	0	2	714	358
	国家基础性工作专项	3	1415	23.6	5	1656	265	5	1680	385
	其他	6	1555.91	186	6	454	442	2	220	220
	小计	25	6835.41	977.6	47	11866.5	2206	39	10671.5	2527.51
中科院	百人计划	3	600	40	3	470	110	2	400	110
	西部系列	5	100	40	12	725	158	16	845	291
	创新系列	2	180	50	3	740	100	5	1930	200
	重点部署项目	7	925	175	5	945	235	6	850	222.5
	STS计划	2	180	50	6	1760	530	5	1700	650
	先导专项	14	465.5	142.84	27	4051.66	523.37	21	5922.05	648.44
	其他	11	1952.5	703	14	466	378.65	16	2036.5	805.68
	小计	44	4403	1200.84	70	9157.66	2035.02	71	13683.6	2927.62
其他	博士后科学基金	4	33	31	7	58	16	8	66	29
	国际合作	2	186	50.4	15	838.32	484.57	6	385	159
	各级实验室开放基金				7	237.5	127.5	7	255	145
	所级	12	754.6	281.6	15	1188.4	356.63	8	724	177.8
	地方	21	4077.7	1547.9	30	1700.4	600.8	38	1664.7	650.67
	其他	5	1217.24	166.8	25	1342	658.9	7	1073.4	360.48
	小计	44	6268.54	2077.7	99	5364.62	2244.4	74	4168.1	1521.95
总计	193	28170	6153.84	364	36783.8	8784.31	291	37031.2	9477.28	

3. 新增项目统计

基金类别		2019 年		2018 年		2017 年		2016 年		2015 年		2014 年	
		项目数	总经费	项目数	总经费	项目数	总经费	项目数	总经费	项目数	总经费	项目数	总经费
基金委	面上项目	25	1583.8	24	1483	20	1370	18	1153.5	24	1921.02	13	1254
	地区科学					2	56	1	39	1	50	1	50
	杰青	1	400			3	1150			1	350	1	400
	青年基金	4	105	11	287	17	446	9	224	9	211.5	14	374
	优秀青年	2	240	1	150					1	130	1	100
	重大项目	1	368.5	1	184	2	490	1	230	0	0		
	重大研究计划	1	307	1	320	1	300	2	150	6	1242.3	1	170
	重点项目	2	604	4	1240	1	330	14	8429	1	348.28		
	其他			5	1300	5	244	3	279	0	0		
小计	36	3608.3	47	4964	51	4386	48	10504.5	43	4253.1	31	2348	
科技部	973/重点研发计划	4	1976	3	483.8	6	1076.1			1	448		
	科技支撑计划									0	0		
	重大科学研究计划			1	543	1	70			0	0		
	国家基础性工作专项	1	283	2	56	1	30			0	0		
	其他	7	13535.6	5	280	4	235			0	0		
	小计	12	15794.6	11	1362.8	12	1411.1	0	0	1	448		
中科院	百人计划									2	210		
	西部系列			3	145			1	10	2	35	1	10
	创新系列			1	80			1	80	0	0		
	重点部署项目					1	300	3	2565	0	0		
	STS 计划	2	375	3	144	2	1140			2	60	5	1550
	先导专项	4	920.4	19	12913.5	1	566			0	0		
	其他	11	5895	20	2892.2	5	702.15	5	230	2	55		
	小计	17	7190.4	46	16174.7	9	2708.15	10	2885	8	360	6	1560
其他	博士后科学基金	2	16	1	8			2	30	3	20	1	15
	国际合作			2	275	3	102			2	135		
	各级实验室开放基金									3	37.5		
	所级	2	41	1	10	4	165	5	290	3	390		
	地方	26	6223.56	18	3669.6	6	2402	11	3701	8	139	3	36
	其他	19	1420.05	4	710.5	9	1723			11	2594.64	2	182
	小计	49	7700.61	26	4673.1	22	4392	18	4021	30	3316.14	6	233
总计	114	34293.9	130	27174.6	94	12897.3	76	17410.5	82	8377.24	43	4141	

六、年度数据统计

4. 结题项目统计

基金类别		2019年			2018年			2017年		
		项目数	总经费	当年经费	项目数	总经费	当年经费	项目数	总经费	当年经费
基金委	面上项目	28	2037.7	53.4	18	1634	97.5	12	940	130
	地区科学									
	杰青	1	400							
	青年基金	14	347	23	12	677		10	202	71.4
	优秀青年	1	200							
	重大项目	1	50		1	340				
	重大研究计划	4	215		5	462.6	50	2	200	30
	重点项目	2	680	101.16	3	640	84	2	155	
	其他				2	140		2	320	20
小计	51	3929.7	177.56	41	3893.6	231.5	28	1817	251.4	
科技部	973/重点研发计划	2	1031		2	713.5		6	1950	335
	科技支撑计划							4	792	20
	重大科学研究计划							2	854	20
	国家基础性工作专项							1	1355	
	其他				3	288.4	28.4	1	456	
	小计	2	1031	0	5	1001.9	28.4	14	5407	375
中科院	百人计划	2	570		3	450		1	150	50
	西部系列	2	30	10	4	65	35	2	30	5
	创新系列				1	100	50			
	重点部署项目							3	385	
	STS计划	1	200	64	1	100		1	540	180
	先导专项	5	729	6	3	6.33	6.33	9	1243.4	11
	其他	8	535.16	9.9	6	1030	185	2	130	30
	小计	18	2064.16	89.9	18	1751.33	265	18	2478.4	276
其他	博士后科学基金				1	2.5		5	8	5
	国际合作				1	45	45	2	320	15
	各级实验室开放基金				4	86	31			
	所级	2	21	15	1	10				
	地方	13	2536	50	12	3094	116.7	13	1672	101
	其他	4	581.5	168.5	6	1809	795.2	10	338	70
	小计	19	3138.5	233.5	25	5046.5	987.9	30	2338	191
总计	90	10163.4	500.96	89	11693.3	1512.8	90	12040.4	1093.4	

基金类别		2016 年			2015 年			2014 年		
		项目数	总经费	当年经费	项目数	总经费	当年经费	项目数	总经费	当年经费
基金委	面上项目	10	489	145.2	21	1232	145.25	1	50	15
	地区科学	1	50		1	58	10			
	杰青							1	200	30
	青年基金	10	182	11.9	12	343	79.3	16	447	77
	优秀青年				1	100	50			
	重大项目	2	390	40						
	重大研究计划									
	重点项目	1	350	105				2	398	50
	其他				6	136	42.6	2	40	40
小计	24	1461	302.1	41	1869	327.15	22	1135	212	
科技部	973/重点研发计划	1	95	0	1	83		8	1256.5	115.98
	科技支撑计划	2	66	34	7	2507.5	140	3	982	260
	重大科学研究计划							1	320	40
	国家基础性工作专项							1	1439	
	其他				2	220		2	140	16
	小计	3	161	34	10	2810.5	140	15	4137.5	431.98
中科院	百人计划							2	400	80
	西部系列	2	60	10	6	600	190			
	创新系列				5	800	70			
	重点部署项目	1		65	1	80	30			
	STS 计划	1	145	45						
	先导专项	3	211.15	25	7	1788.2	94			
	其他	8	489	139.49	6	426.5	233.75	5	754.96	719
	小计	15	905.15	284.49	25	3694.7	617.75	7	1154.96	799
其他	博士后科学基金	5	28	15	3	28	8			
	国际合作				9	161.4	20	1	30	12
	各级实验室开放基金				4	77.5	32.5	2	26.7	26.7
	所级	8	281.5	65				2	50	15
	地方	11	233	65.4	19	325.2		7	305	10
	其他	2	21	0	3	424.4	56.38	3	59.5	29.5
	小计	26	563.5	145.4	38	1016.5	116.88	15	471.2	93.2
总计	68	3090.65	765.99	114	9390.7	1201.78	59	6898.66	1536.18	

5. 人才培养统计

类别		毕业研究生	在站研究生	客座研究生	小计
2019年	硕士	56	140	33	229
	博士	36	189	21	246
	总数	92	329	54	475
2018年	硕士	46	99	20	165
	博士	48	118	39	205
	总数	94	217	59	370
2017年	硕士	37	108	28	173
	博士	28	102	18	148
	总数	65	210	46	321
2016年	硕士	32	97	38	167
	博士	21	108	22	151
	总数	53	203	60	318
2015年	硕士	33	104	36	173
	博士	37	106	17	160
	总数	70	210	53	333
2014年	硕士	42	88	37	167
	博士	21	85	36	142
	总数	63	173	73	309

七、大事记

4 月	<ul style="list-style-type: none"> - 4 月 10 日，中科院西北生态环境资源研究院、玉龙雪山站、西藏藏游旅游开发有限公司在拉萨签署院企创新发展战略合作协议； - 4 月，拉萨站申报的《西藏拉萨市乡村振兴产业融合专家服务基地》科技服务项目获批第五批国家级专家服务基地。
5 月	<ul style="list-style-type: none"> - 5 月，中央电视台新闻频道全程跟踪报道了第二次青藏科考纳木错浮空艇观测研究项目，我国自主研发的“极目一号”浮空艇在纳木错站成功创造了 7003 米高空科学观测的世界纪录； - 5 月 29 日，玉龙雪山冰川旅游与环境保护协同发展研讨会暨玉龙雪山站第二届学术委员会第二次会议在云南省丽江市召开。
6 月	<ul style="list-style-type: none"> - 6 月 12 日，拉萨站余成群研究员一行对唐嘎乡乡村振兴规划工作开展了调研与座谈，为唐嘎乡乡村振兴规划及今后的工作提供咨询与建议。
7 月	<ul style="list-style-type: none"> - 7 月 9-10 日，若尔盖站在甘南藏族自治州能源研究所和玛曲县教育与科技局的组织下，联合在玛曲县举办了退化沙化草地生态治理技术集成示范培训班。
9 月	<ul style="list-style-type: none"> - 9 月 5 日，科技部党组书记、部长王志刚一行前往海拔 4730 米的中科院纳木错多圈层综合观测研究站进行考察调研。 - 9 月 25 日，丽江冰雪资源与天文科普旅游研讨会在玉龙雪山站召开。
10 月	<ul style="list-style-type: none"> - 10 月 7 日-9 日，天山冰川站联合中国极地研究中心、石河子大学、西北师范大学、冰冻圈科学国家重点实验室在上海召开了“中国冰冻圈科学学会（筹）冰川专业委员会 2019 年学术会议”； - 10 月 11 日，日本京都大学防灾研究所副所长 Hirohiko Ishikawa 教授一行访问那曲站并与西北研究院院长王涛研究员举行了合作协议备忘录（MOU）签署交换仪式； - 10 月 26 日，玉龙雪山站主办全球冰冻圈科学国际研讨会。
12 月	<ul style="list-style-type: none"> - 12 月 31 日，高寒网“十三五”仪器设备修购采购仪器全部到货，部分完成安装调试及技术验收。

八、组织机构

1. 第一届科学委员会

主任：姚檀栋	中科院青藏高原研究所
委员：于贵瑞	中科院地理科学与资源研究所
朱立平	中科院青藏高原研究所
赵新全	中科院西北高原生物研究所
李忠勤	中科院西北生态环境资源研究院（筹）
张宪洲	中科院地理科学与资源研究所
赵林	中科院西北生态环境资源研究院（筹）
周凌晞	中国气象科学研究院
康世昌	中科院青藏高原研究所
秘书长：朱立平	中科院青藏高原研究所

2. 网络综合中心

主任：朱立平，010-84097093，lpzhu@itpcas.ac.cn
项目主管：彭萍，010-84249107，pengping@itpcas.ac.cn

九、联系方式

	野外台站	依托单位	站 长	联系电话	电子邮箱
1	阿里荒漠环境综合观测研究站	中科院青藏高原研究所	姚檀栋	010-84097088	tdyao@itpcas.ac.cn
2	青藏高原冰冻圈观测研究站	中科院西北生态环境资源研究院(筹)	赵 林	0931-4967715	linzhao@lzb.ac.cn
3	贡嘎山高山生态系统观测试验站	中科院成都山地灾害与环境研究所	王根绪	028-85233420	wanggx@imde.ac.cn
4	海北高寒草甸生态系统定位研究站	中科院西北高原生物研究所	曹广民	0971-6123010	caogm@nwipb.cas.cn
5	拉萨高原生态试验站	中科院地理科学与资源研究所	戴尔阜	010-64889051	daief@igsnr.ac.cn
6	慕士塔格西风带环境综合观测研究站	中科院青藏高原研究所	徐柏青	010-84097075	baiqing@itpcas.ac.cn
7	藏北高原草地生态系统研究站	中科院地理科学与资源研究所	张扬建	010-64889703	zhangyj@igsnr.ac.cn
8	那曲生态环境综合观测研究站	中科院青藏高原研究所	汪诗平	135-2078-3028	wangsp@itpcas.ac.cn
9	那曲高寒气候环境观测研究站	中科院西北生态环境资源研究院(筹)	胡泽勇	0931-4967083	zyhu@lzb.ac.cn
10	纳木错多圈层综合观测研究站	中科院青藏高原研究所	邬光剑	010-84097080	wugj@itpcas.ac.cn
11	祁连山冰川与生态环境综合观测研究站	中科院西北生态环境资源研究院(筹)	秦 翔	0931-4967370	qinxiang@lzb.ac.cn
12	青海湖国家级自然保护区联合科研基地	中科院计算机网络信息中心	罗 泽	010-58812718	luoze@cnic.cn
13	若尔盖高寒湿地生态研究站	中科院成都生物研究所	陈 槐	13908088372	chenhuai@cib.ac.cn
14	若尔盖高原湿地生态系统研究站	中科院西北生态环境资源研究院(筹)	孟宪红	0931-4967091	mxh@lzb.ac.cn
15	三江源草地生态系统定位观测站	中科院西北高原生物研究所	赵 亮	0971-6143282	lzha@nwipb.cas.cn
16	申扎高寒草原与湿地生态系统观测试验站	中科院成都山地灾害与环境研究所	王小丹	028-85234712	wxd@imde.ac.cn
17	天山冰川观测试验站	中科院西北生态环境资源研究院(筹)	李忠勤	0931-4967381	lizq@lzb.ac.cn
18	玉龙雪山冰川与环境观测研究站	中科院西北生态环境资源研究院(筹)	王世金	0931-4967371	xiaohanjin@126.com
19	珠穆朗玛大气与环境综合观测研究站	中科院青藏高原研究所	马耀明	010-84097068	ymma@itpcas.ac.cn
20	藏东南高山环境综合观测研究站	中科院青藏高原研究所	朱立平	010-84097093	lpzhu@itpcas.ac.cn