

高寒区地表过程与环境观测研究网络

High-cold region **O**bservation and **R**esearch **N**etwork for Land surface processes
& Environment of China (HORN)

2018 年报

Annual Report 2018



2019 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	8
1. 大气物理观测研究	8
2. 大气环境观测研究	14
3. 冰川/湖泊观测研究	22
4. 植被生态系统研究	35
5. 土壤/冻土观测研究	62
四、试验示范	74
五、公众服务	93
六、年度数据统计	102
1. 论著统计	102
2. 在研项目统计	103
3. 新增项目统计	105
4. 结题项目统计	106
5. 人才培养统计	108
七、大事记	109
八、组织机构	111
九、联系方式	112

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。

2018 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 130 项，经费总额为 27174.6 万元。科研成果持续产出，共发表论文和论著 432 篇，其中 SCI 引文 283 篇。

科研团队与人才建设继续发展，2018 年若尔盖站（西北研究院）孟宪红研究员获得 2018 年国家自然科学基金优秀青年科学基金资助，那曲站（青藏所）站长汪诗平获得 2018 年中国科学院优秀导师奖，博士后孟凡栋博士论文获得中国科学院优秀博士论文。贡嘎山站人员张文敬研究员原创的《四极探险》科普丛书荣获 2018 年中国科学院优秀科普图书，张丹研究员当选全国三八红旗手。墨脱中心（筹）王磊研究员荣获 2018 年“全国创新创业好青年”荣誉称号。依托“高寒网”各台站共培养研究生 370 人，其中博士研究生 205 人，硕士研究生 165 人。

二、发展动态

1. “高寒网”助力第二次青藏高原综合科学考察

第二次青藏高原综合科学考察研究，将揭示青藏高原环境变化机理，优化生态安全屏障体系，对推动青藏高原可持续发展、推进国家生态文明建设、促进全球生态环境保护产生十分重要的影响。考察研究聚焦水、生态、人类活动，着力解决青藏高原资源环境承载力、灾害风险、绿色发展途径等方面的问题。第二次青藏高原综合科学考察研究除开展西风-季风相互作用及其影响、亚洲水塔动态变化与影响、生态系统与生态安全、人类活动影响与环境安全、生态安全屏障功能与优化体系、生物多样性保护与可持续利用、高原生长与演化、资源能源与远景评估、地质环境与灾害、区域发展与绿色发展途径 10 个领域的考察任务外，还将完善野外台站观测研究体系，开展考察研究数据集成与模拟，应用新技术进行支撑保障，促进研究成果应用转化。高寒网各野外台站将在完善野外台站观测研究体系中发挥重要和不可或缺的作用。

2017 年，在西藏自治区的大力支持下，第二次青藏科考队顺利完成了江湖源、河源和南亚通道等多个关键区和西藏阿里阿汝冰崩等多个专题科考工作，考察工作得到阿里站、藏东南站的大力协助。2018 年 8 月 10 日，以孙鸿烈院士为组长、陈宜瑜院士为副组长的科考成果评估咨询委员会对科考首期成果进行了系统评审，科考队根据评审意见对成果进行了凝练提升，形成了以重大科学发现和科学对策为主要内容的首期成果体系：一是揭开喜马拉雅造山带差异隆升历史，提出“走出西藏”和“高原枢纽”共存的生物演化模式；二是发现气候变暖变湿引起亚洲水塔的加速液化和失衡并伴生新灾巨灾频发；三是发现青藏高原暖湿化伴生生态系统趋好和潜在风险增加，青藏高原生态系统极为脆弱；四是提出色林错国家公园建设科学方案及第三极国家公园群建设建议。第二次青藏高原综合科学考察队队长、高寒网科学委员会主任姚檀栋院士指出，第二次青藏科考将在后续工作中强化综合观测体系和能力建设、灾害风险评估预判，加大高寒生态系统保护与修复、第三极国家公园群和三江源区西藏区域等方面的科考工作，支撑青藏高原生态安全屏障优化体系建设，切实为地方经济社会发展做出新贡献。

2. “高寒网”野外站承担中国科学院 A 类战略性先导科技专项项目

2018 年 9 月 30 日，中国科学院 A 类战略性先导科技专项“泛第三极环境变化与绿色丝绸之路建设”（简称“丝路环境专项”）正式启动。中国科学院院长、党组书记白春礼，副院长、专项领导小组组长张亚平，科学技术部创新发展司副司长余健，西藏自治

区副秘书长刘莹，国家发改委西部开发司统筹协调处处长韩振海等出席启动会议。

“丝路环境专项”将面向“一带一路”和“守护世界上最后一方净土”的绿色发展战略，立足环境变化影响与应对和资源可持续利用，进行基础研究、应用研究、技术示范和决策支持为一体的绿色发展途径全链条科学集成，阐明泛第三极地区的自然条件和环境变化及其影响，评估和应对重点地区与重大工程的资源环境问题，提出绿色丝绸之路建设的可持续发展路径。

白春礼在启动会上发表重要讲话。他指出，“丝路环境专项”是落实习近平总书记2017年8月19日致中国科学院第二次青藏高原综合科学考察研究队贺信精神而部署设立的，是我院坚持“三个面向、四个率先”办院方针的一个重要举措。中国科学院作为国家战略科技优势力量，立足当前，着眼长远，不断追求世界科技前沿学术卓越和为国家重大需求做出创新贡献。

“丝路环境专项”的项目二“生态屏障动态监测与区域绿色发展方案”由青藏高原研究所主持承担，高寒网综合中心主任朱立平研究员担任项目首席科学家。该项目设置的4个课题分别是：“环境变化野外观测体系建设与数据集成”、“中亚大湖区极端天气气候变化影响与应对方案”、“青藏高原国家公园（群）建设研究和科学方案”、“青藏高原生态安全屏障体系优化与生态资产价值提升”。项目将针对丝绸之路经济带缺乏区域气候、环境变化及其自然/人为原因的长期监测数据，以中科院高寒网和中亚生态中心的野外站为核心，开展绿色发展动态监测体系建设，为科学评估“一带一路”地区的大气过程、水文过程和生态过程及其对区域经济发展的影响提供完整连续的基础数据。针对气候变暖背景下中亚大湖区频繁出现的极端天气气候事件，开展其变化历史和未来情景的预估以及应对方案分析，有利于拓展我国气候变化应对技术推广应用的国际合作途径。针对青藏高原生态保护的主体功能区定位，开展以生态容量、建设规划和管理机制为核心的国家公园（群）科学方案研究，进行生态工程建设优化与生态资产评估，有效服务于区域生态保护和经济建设的持续发展需求。

3. 中科院党组成员、副秘书长何岩调研慕士塔格站

2018年7月11日至13日，中科院党组成员、副秘书长何岩深入中科院慕士塔格西风带环境综合观测研究站（简称慕士塔格站）实地调研和指导工作，并慰问长期驻守观测站的工作人员，青藏高原所所长陈发虎院士、党委书记兼副所长董伟锋等陪同调研。

何岩听取了青藏高原所所长助理、慕士塔格站站长徐柏青研究员关于观测站的建设背景与定位、实验观测内容与科研成果以及发展瓶颈与未来规划等情况汇报，在座谈中详细询问了解了台站运行、观测数据运用、未来国际合作计划及支撑服务青藏高原二次

科考的情况。何岩在讲话中充分肯定了慕士塔格站取得的优秀成果和发挥的重要作用，他指出，野外观测台站是我院综合平台优势的重要体现，长期的野外观测为开展资源环境领域研究工作提供了关键支撑，要综合考虑野外台站在科学研究中的地位和特殊性，进一步拓展慕士塔格站观测业务领域，夯实基础性工作，瞄准西风带环境综合研究国际前沿问题谋划长远发展，为实施泛第三极 A 类战略性先导项目、青藏高原二次科考提供强有力的支撑。何岩强调，青藏高原所要深入学习贯彻习近平总书记给第二次青藏高原综合科学考察研究队的贺信精神，紧密围绕国家战略需求，统筹整合力量，积极谋划，进一步加强野外台站布局和建设，及时发现并解决发展中的问题，总结推广建设经验，为推动我院资源环境领域研究工作做出新的贡献。调研期间，何岩还赶赴海拔近 5000 米的高山观测场深入了解情况，看望了正在慕士塔格峰开展冰川科考的一线科考队员，为科考队员加油鼓劲并送上组织的温暖。

4. 墨脱地区绿色发展建议院士专家咨询研讨会在青藏高原所举行

为进一步推进墨脱地区绿色发展院士咨询建议的上报工作，2018 年 5 月 25 日，墨脱地区绿色发展建议院士专家咨询研讨会在青藏高原所举行，中科院前沿局地球科学处处长段晓男，特邀专家中科院生态环境研究中心傅伯杰院士、中科院地理科学与资源研究所樊杰研究员、方创琳研究员，青藏高原所名誉所长姚檀栋院士、所长陈发虎院士、副所长安宝晟等领导和专家参加了会议，会议由傅伯杰院士主持。

研讨会上，“墨脱地球景观与地球系统综合观测研究中心”（以下简称“墨脱中心”）执行主任王磊研究员首先介绍了墨脱中心和墨脱地球全谱景观园的建设、规划情况。随后，方创琳就墨脱科学固边、绿色发展和建设国家公园的咨询建议做了汇报，他分别从建议背景、科学固边亟待解决的问题以及具体建议三个部分进行了详细讲解。与会专家一致认为该咨询报告对于落实习总书记对“第二次青藏高原综合科学考察研究”贺信的指示精神，推动墨脱及西藏边境地区的绿色经济发展、服务当地生态文明建设具有重要意义。同时，专家们分别从咨询报告的主要目标和思路、焦点内容、拟递交时间节点等方面提出了具体意见和建议，

会后，专家们对报告进行了讨论和修改，明确了“科学+固边，科学+生态屏障建设，科学+绿色经济”等核心思想，确定院士咨询报告主题为“以墨脱科学固边为先导，促进西藏边境地区绿色发展新范式的建议”，并将继续完善该报告。

5. 藏东南站支撑雅鲁藏布江堵江应急科考任务

2018 年 10 月 17 日凌晨 5 点，雅鲁藏布江所在林芝市米林县派镇加拉村附近河谷

发生堵江，形成堰塞湖，上游水位上涨，对当地和下游区域居民生命财产安全造成极大的威胁。

第二次青藏科考队队长姚檀栋院士在第一时间组织召开专题会，紧急部署雅江堵江应急科考任务，成立由中科院青藏高原研究所、兰州大学、中科院地理科学与资源研究所、中科院成都山地灾害与环境研究所、中科院遥感与数字地球研究所、清华大学、成都理工大学、南京师范大学等单位冰川、地质、水文、洪水、遥感等方面专家参与的雅江堵江应急科考队，分两批到达灾害现场进行考察。

10月20日上午，雅江堵江应急科考队通过综合分析卫星遥感影像、收集的基础资料以及野外科考获得第一手资料，对此次堵江的原因及发展趋势进行了现场会商，初步判断此次堵江是从冰崩产生的突发灾害过程。冰崩堵江的沉积物清楚地展示了冰崩碎屑特征。雅江堵江应急科考队还分析了布设于堵江所在地南侧约10公里直白村地震台站记录的三分量波形，判断冰崩发生在北京时间2018年10月16日22时48分。

根据藏东南站提供的冰崩与堵江发生前后的气象记录，认为10月以后的大量降雨诱发了此次源头冰川发生冰崩，冰崩体带着冰碛物一直堆到江边，从而把雅鲁藏布江阻断。分析认为，在气候暖湿化背景下，此类冰崩灾害还将持续甚至加强。因此，建议加强雅鲁藏布江灾害预警预防治理工程体系建设，加强野外自动化监测预警体系建设，提高灾害防控能力。

下一步，第二次青藏科考队将按照西藏自治区的要求，组织优势力量，结合前期考察研究结果，科学评估灾害点加拉村搬迁问题。同时，将加拉村堵江段作为示范点，建立体现第二次青藏科考水平的标志性灾害监测预警调控工程体系。

6. 高山树线形成机制研究成果入选 Science Bulletin “2018 年度高影响力论文”

2019年1月，中国科学（Science Bulletin）编委会和编辑部基于文章的创新性、科学影响力、社会影响力等指标评选出“2018 年度高影响力论文”12篇，其中藏东南站的梁尔源团队的 Critical minimum temperature limits xylogenesis and maintains treelines on the southeastern Tibetan Plateau 论文入选。该研究通过观测与模拟揭示了树木形成层活动的低温阈值是冷湿环境下高山树线形成的关键生理机制。此研究以藏东南色季拉山天然急尖长苞冷杉树线为研究对象，揭示了大气最低温是影响木质部生长的主要气候因素，而且存在限制木质部分化开始的最低温阈值（ $0.7 \pm 0.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ ），远低于以往温带和寒温带森林木质部分化研究中所报道的最低温阈值（ $4\text{--}5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ）。藏东南冷湿环境下，大气最低温阈值通过调节木质部分化开始与结束的时间从而控制着生长季长度和高山树线的形成，为理解高山树线形成机制提供了新视角。研究工作以中科院藏东南高山环境综合观测研

究站为依托，青藏高原地球科学卓越创新中心、中科院高寒生态重点实验室梁尔源研究员团队（论文第一作者为李晓霞助理研究员）及其合作者完成。该研究成果曾作为封面论文发表于《Science Bulletin》杂志。

7. 青藏高原研究所召开野外站工作会议

2018 年 12 月 3 日，中科院青藏高原研究所野外站工作会议在 915 会议室召开。会议围绕《科技部基础研究司关于对国家野外科学观测研究站建设运行情况开展梳理总结工作的通知》（国科基函〔2018〕45 号）的精神举办此次工作会议，回顾总结研究所野外站建设发展情况，促进现有和在建野外站不断提升观测研究水平，更好地聚焦科学目标，服务国家需求。青藏高原研究所所长陈发虎院士及所领导班子全体成员和 7 个野外站的站长、副站长等 25 人参加了会议。各位站长从台站基本信息、方向定位、基础条件（包括实验场地、仪器设备、条件保障情况）、观测研究（包括观测数据数量与质量、应用成效、科研任务承担情况、科研创新成果）、人才队伍、开放共享、运行管理和问题不足等八个方面作了详细的报告，与会人员就台站运行中存在的问题进行了充分地讨论和沟通。

陈发虎所长进行总结发言时指出，我所野外站的建设发展取得了较好的成绩，奠定了未来申请建设国家野外站的基础，但在发展建设中需要解决的三个方面的问题。第一，需要进一步明确各站的学科或领域定位与观测研究优势，继续对存在优势的观测内容进行长期持续的观测，找准我所野外站与国家级野外站之间在仪器设备配置、基础设施建设、科研队伍建设方面的差距，尽快进行完善和实力提升，更好地支撑科学研究工作。第二，需要加强观测方法和内容的规范建设，对野外站观测数据的数量及质量进一步严格把关，做好数据汇交工作的统计和审核，评估各站汇交数据的完整性和数据质量，并制定规章制度进行界定和奖惩。第三，需要在研究所层面完善相关管理制度，保证野外站的观测人员配置、财政收支平衡、资产清查和管理、绩效考核等，通过规范的制度保障，促进野外站工作的常规高效运行。

与会的野外站人员就以上提出的意见和建议进行了初步讨论，各野外站将进一步凝练科学目标，明确具体要求和实现的观测研究目标。研究所相关管理部门将根据意见尽快完成相关制度性文件的起草工作，明确和规范相关资源管理与分配，推动野外站在观测内容与数据汇交、基建、财务制度、人员绩效评估等方面的规范化管理工作，期望在下一阶段的发展中根据国家站遴选标准提升实力，为研究所的发展和泛第三极环境变化与绿色丝绸之路建设专项等项目的推进，提供更强的支撑能力。

8. 纳木错站支撑中德联合科考活动

由德国 DFG 批准，依托德国布伦瑞克理工大学、耶拿大学、汉诺威大学开展的为期 4.5 年的中德研究培训项目（Sino-German Research Training Group）与 2018 年正式启动。项目的主题是“Geo-ecosystem in Transition on the Tibetan Plateau”简称 TransTiP。

降水季节变化和不断加强的土地利用及其导致的气候变暖，加速了控制地表过程的物质通量、塑造景观、改变土壤碳汇强度以及供水和质量的进程，从而对地生态系统和人类生活产生了严重影响。TransTiP 的总体目标是评估沉积物和碳通量、水通量和水质的变化将如何影响水资源、生物多样性以及今后的物种组成和分布。该项目以中科院青藏所纳木错站为依托，通过中德在纳木错流域联合实地调查研究，以及随后的联合实验室分析、互补建模方法和跨学科课程计划，将培训研究人员实现和提高面向过程和系统的理解和评估，具有批判性思维和创造力。研究计划旨在：（1）通过量化高时空分辨率的泥沙运动及其输运速率和大小来了解其控制机制和过程；（2）确定土地利用变化对土壤有机碳储存和相关碳通量对大气和水圈的影响；（3）确定这些过程对水平衡和地球生态系统的影响。TransTiP 将通过区域监测、高分辨率遥感和现代地质与生物学技术与数值模拟相结合，详细阐述未来通量变化的情景以及在高海拔环境中地球生态系统在气候变化压力下的相应响应。TransTiP 的最终目标是培养地生态过程分析的博士研究生，通过将自然科学和工程相结合，获得可持续环境管理的技能。该项目已经在德方完成 9 名博士研究生和 1 名博士后的招考核录取。中方目前有一些青藏所的在读学生作为 Partner 参与项目研究。

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）

青藏高原典型下垫面地表参数异质性特征及其对地表通量的影响：准确估算复杂下垫面地表通量对于理解青藏高原对周围地区气候的影响非常关键。本研究利用高空间分辨率遥感影像从空间变化和空间尺度的角度分析青藏高原异质性下垫面地表参数的异质性特征，并分析异质性下垫面空间尺度对地表通量估算的影响。主要的研究结论如下：

雨季和干季时，青藏高原典型下垫面地表参数与地表通量表现出明显的空间异质性特征。雨季时地表通量的空间异质性主要是由于植被的空间变化所引起，干季时地表通量的空间异质性主要是由于地表起伏。对雨季和干季时 30m 空间分辨率的地表参数与地表通量的频次统计分析结果显示，雨季时地表参数的空间异质性要大于干季时的结果。统计结果还表明雨季时，随着植被状况的提高，感热通量的降低与潜热通量的增加呈非线性变化。

利用 variogram 计算并分析典型下垫面的地表参数和地表通量的空间结构特征。雨季时随着距离的增大，研究区域地表温度和叶面积指数的平均差异在增大，并在 4.0km（地表温度）和 1.0km（叶面积指数）到达稳定状态。干季时，地表温度与叶面积指数的空间结构达到稳定时的距离分别为 2.0km 和 1.0km。随着距离的增大，感热通量与地表温度的空间结构相似，潜热通量与叶面积指数的空间结构相似。

使用简单像元聚合获得研究区域内不同空间分辨率下 LST, LAI 和地表通量结果后，分析地表参数与地表通量相对比例分布随着空间分辨率的变化特征。结果表明，雨季和干季时，随着空间分辨率的降低，研究区域内地表通量的变化范围在收窄，即研究区域内的空间异质性在减弱。同时，随着空间分辨率的降低，相对比例的最大值对应的数值保持很定，即研究区域地表参数与地表通量的平均状况随着空间尺度的保持基本很定。

本研究成果推动了那曲站在寒区陆面过程研究方面的发展。(Genhou Sun, Zeyong Hu, Jiemin Wang, Weiqiang Ma, Lianglei Gu, Fanglin Sun, Zhipeng Xie, Xiaoqiang Yan. The spatial heterogeneity of land surface conditions and its influence on surface fluxes over a typical underlying surface in the Tibetan Plateau [J]. Theoretical and Applied Climatology, DOI:

10.1007/s00704-018-2369-9.)

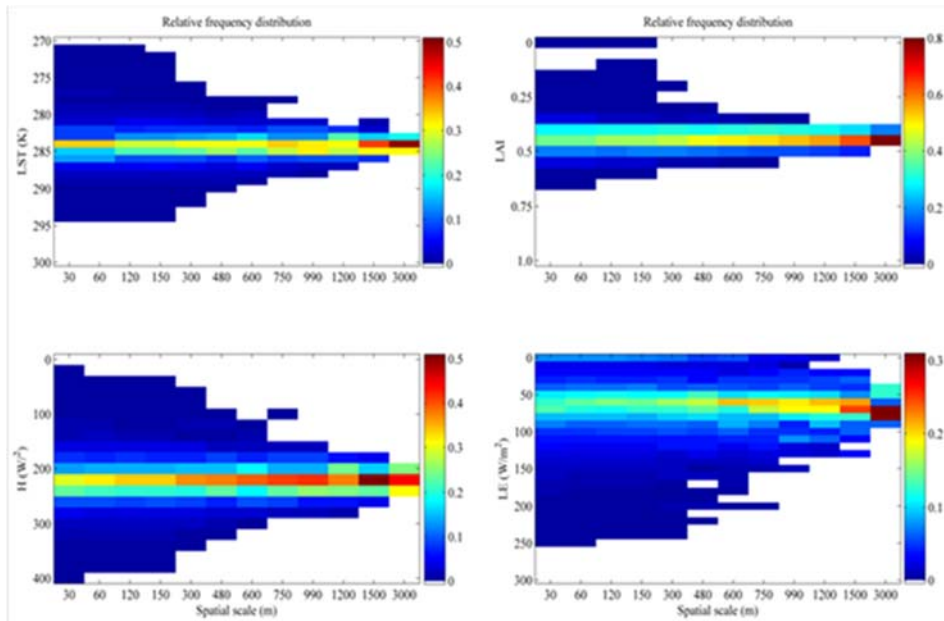


图 3.1.1 雨季时研究区域内 LST, LAI 和地表通量的相对比例分布随空间分辨率的变化特征

陆面过程模式与风吹雪模型的耦合及其对青藏高原地表过程的模拟研究：本研究基于陆面过程模式 CLM (Community Land Model) 4.5 青藏高原积雪过程和陆气相互作用过程模拟评估的基础上，探讨了影响其模拟效果的主要因素，进而利用风吹雪模型 PIEKTUK 分析了青藏高原风吹雪发生的时空分布特征，并进一步发展了考虑风吹雪过程影响的陆面过程模式，评估了耦合模式对于青藏高原积雪过程的模拟并深入探讨了风吹雪过程对青藏高原积雪过程、地表辐射收支和地表能量平衡过程的影响。主要结论如下：

CLM4.5 能够较好的模拟高原除冬季外其他季节地表能量交换的季节变化及日循环特征，并且模式对于地表辐射过程的模拟要好于水热通量的模拟。模式对于高原冬季辐射分量和地表能量平衡分量的模拟表现较差，特别是冬季地表反射辐射和感热通量的模拟与观测存在严重的偏差，甚至反相。白天地表温度偏低导致地面长波辐射被普遍低估。而地表空气动力学粗糙度的高估则导致感热高估。冻结期间反射辐射的高估则主要源于该时期内模式地表反照率的明显偏高。高原冬季地表反照率模拟的显著偏差是造成冬季地表辐射收支以及地表能量平衡过程模拟较差的主要原因，而冬季地表反照率的模拟受地表积雪覆盖影响显著。

分别考虑积雪累积期与消融期差异的积雪覆盖率参数化方案 SL12 积雪覆盖率模拟的整体准确率为 81.8%，高于 NY07 的准确率 (75.8%)，NY07 识别积雪的能力要强于 SL12，且 NY07 模拟的积雪覆盖率与 IMS 积雪覆盖资料相比偏高，而 SL12 模拟的积雪覆盖率偏低。与中国区域积雪深度产品相比，两种方案均能够较好的表现出高原积雪深

度高值区的空间分布特征，但模拟的积雪深度较卫星反演资料均偏高。青藏高原积雪过程的模拟效果受风的影响显著，在无雪期，高海拔站点模拟的积雪深度均方根误差（RMSE）与低海拔站点的结果相比较高而相关系数较低，NY07 和 SL12 高海拔站点积雪深度模拟的均方根误差与风速间的相关系数分别为 0.87 和 0.94。

青藏高原风吹雪主要发生在冬春两季，且一般从十月份开始发生，较强的风吹雪过程能够一直持续到翌年五月份，其中二月份高原发生风吹雪的面积最广、天数最多。从风吹雪发生的空间分布上来看，高原的风吹雪主要集中发生在昆仑山脉至冈底斯山之间广大的藏北高原地区、扎陵湖和鄂陵湖周边地区，除此之外，高原东北边缘的祁连山及其南部地区也常有风吹雪现象的发生，11 月、12 月以及翌年 1 月至 3 月期间青藏高原有超过一半以上的区域有风吹雪现象的发生。青藏高原风吹雪现象发生频繁、影响广泛，是形成高原不均匀积雪分布的主要原因之一。

三套常用于青藏高原地区陆面过程模拟的气象驱动数据在高原的适用性评估结果显示，三套资料在青藏高原地区的表现各有优劣，而各气象要素的不确定性对高原风吹雪过程模拟影响的分析结果表明，总体而言，CLDAS-2 对于风速以及降雪频次的低估、低温以及湿度的高估会使得高原风吹雪过程的模拟偏弱，而 MERRA-2 对风速以及降雪频次的高估、气温和湿度的低估会使得模拟的风吹雪过程明显比高原实际的风吹雪的发生偏强。虽然 CMFD 对风速以及降雪频次的低估会使得风吹雪模拟的发生偏弱，但是其气温的冷偏差会在一定程度上抵消这一效应，并且比湿的干偏差会导致雪粒与空气间的水汽压增大，进而使得风吹雪过程中的吹雪升华增大。因而，CMFD 资料最适合用于青藏高原风吹雪过程的模拟研究。风吹雪过程的加入能够在一定程度上改善地表积雪覆盖状况、积雪覆盖率、积雪深度和白天地表温度的模拟效果，特别是在昆仑山沿线至可可西里地区、祁连山及其南部地区和高原西南边缘地区的改善较为显著。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，白天地表温度模拟绝对偏差差异的空间分布特征与积雪深度、积雪覆盖率绝对偏差差异的空间分布特征表现出高度的一致性。夜间地表温度的模拟表现出与白天地表温度模拟完全相反的效果。地表净辐射在地表积雪覆盖率模拟偏差降低的地区表现为增加，且增加的净辐射主要以感热的方式进行能量分配，而地表净辐射降低的区域则表现为感热通量明显减小，潜热通量呈现一定增加。CMFD 驱动数据中向下短波辐射的不确定性和 ERA-Interim 风向数据时间分辨率上的局限性是影响青藏高原风吹雪过程及其影响模拟的主要不确定性来源。

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。

(Zhipeng Xie, Zeyong Hu, Zhenghui Xie, Binghao Jia, Genhou Sun, Yizhen Du, Haiqing Song. Impact of the Snow Cover Scheme on Snow Distribution and Energy Budget Modeling over the Tibetan Plateau [J]. Theoretical and Applied Climatology, 2018, 131(3): 951-965.

谢志鹏。陆面过程模式与风吹雪模型的耦合及其对青藏高原地表过程的模拟研究[博士学位论文]. 兰州: 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所, 2018)

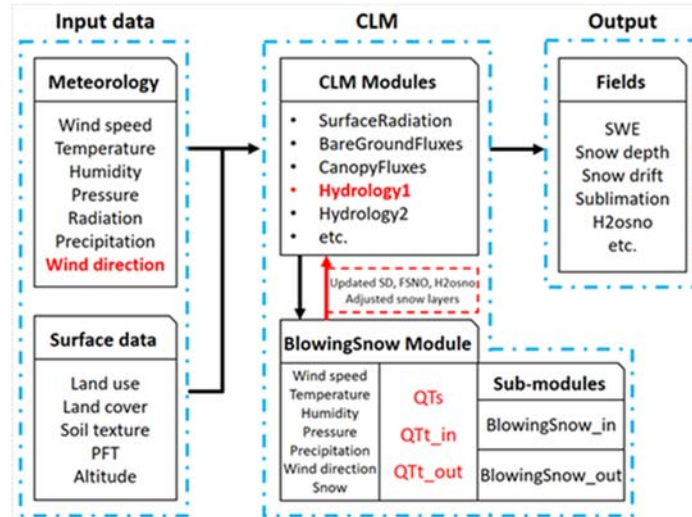


图 3.1.2 数据流程图和耦合模型的框架

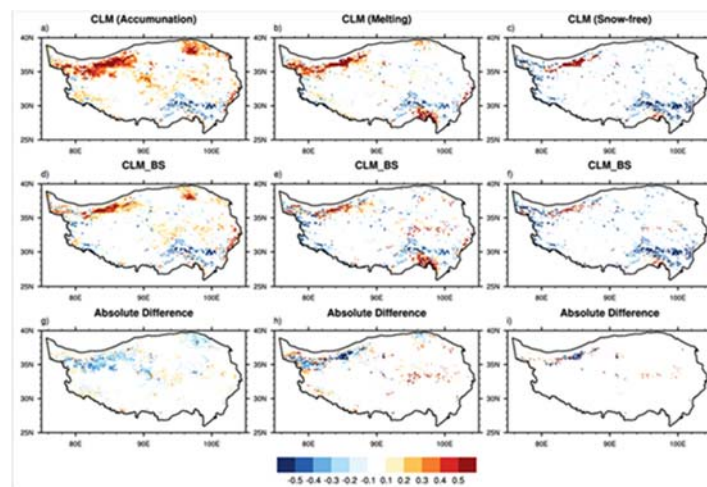


图 3.1.3 积雪积累期、积雪消融期和无雪期 CLM、CLM_BS 与 MODIS 积雪覆盖率差异的空间分布特征及 CLM 和 CLM_BS 间绝对偏差的差异分布

那曲高寒草地上四种地表通量计算方法的对比: 利用中国科学院那曲高寒气候环境观测研究站 2013 年 9 月至 2014 年 8 月自动气象站 (AWS) 和涡动相关系统 (EC) 的观测资料, 基于空气动力学法、地表能量平衡组合法、总体输送法以及涡动相关法, 计算了高寒草地下垫面的湍流通量, 并对不同方法计算结果间的一致性和差异性进行了分析。结果表明, 不同方法计算的湍流通量特征具有明显的差异。地表能量平衡组合法满足能量平衡关系, 但在早晨和傍晚层结转换期间, 计算的湍流通量出现异常不稳定值;

空气动力学法计算的湍流通量在整个观测期与涡动相关法计算的湍流通量相关性最高，但在大气稳定度参数接近 0，计算结果不稳定；总体输送法计算的通量数据在地气温差为负值时发散明显，但该方法原理简单，适合在只有常规观测项目的业务气象站或在气象观测项目不全的野外台站使用。空气动力学法和地表能量平衡组合法与涡动相关法的湍流通量的平均偏差相对较小，而总体输送法平均偏差相对较大。研究方法和结果除了为这些方法的使用提供参考外，也为建立长时间通量序列提供了一个较为合理的依据，有助于深入了解高原地气相互作用。

本研究成果推动了那曲站在高海拔地区能水循环研究的发展。(严晓强, 胡泽勇, 孙根厚, 谢志鹏. 那曲高寒草地上四种地表通量计算方法的对比[J]. 高原气象, 2018, 37(2): 358-369.)

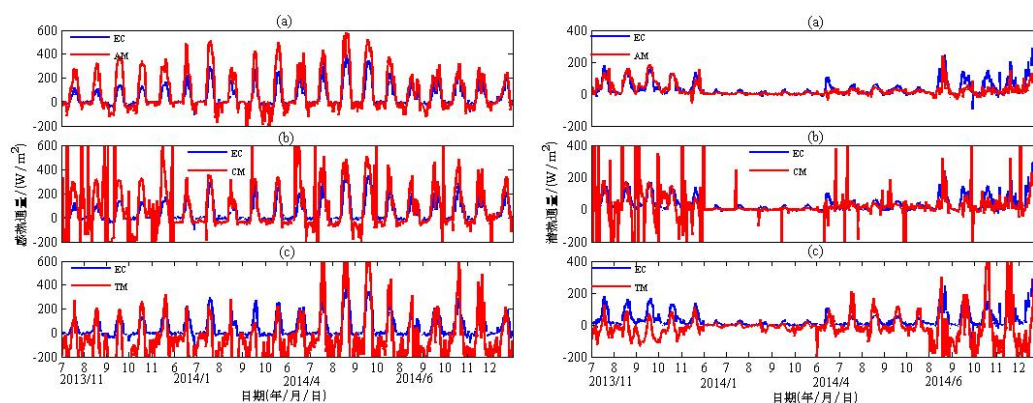


图 3.1.4 四种方法计算的高寒草地感热通量（左）和潜热通量（右）(AM:空气动力学法, CM:组合法, TM:总体输送法, EC:涡动相关法)

► 珠峰站

珠峰北坡地区白天强风天气的形成机制：午后强风是珠峰站所在河谷内典型天气现象，在季风季节，强烈的下午风是东南风，而在非季风季节是西南风。位于青藏高原南部边缘，珠峰地区的天气可能会受到来自喜马拉雅南坡气流的影响。对这一影响的研究有助于我们理解当地局地环流以及高海拔地区大气污染物分布特征。本研究利用珠峰站气象资料结合 WRF 数值模拟，研究了当地的局地环流的季节变化及其与天气环流的关系。

研究表明：非季风期，珠峰地区高空受副热带西风急流（STJ）控制；季风期 STJ 北移到青藏高原北部，珠峰地区高空风速减小（图 1）。季风期珠峰站下午的强风为东南风，该气流垂直高度约 500 米，与高空风向差异大，非季风期主要受高空西风影响产生，风向与高空风一致（图 2）。季风期珠峰东坡河谷内南风气流是导致珠峰站白天强风的原因，而非季风期因珠峰北坡低空盛行西风，限制了河谷内气流向西的扩展（图 3）。

(Sun et al., 2018, Journal of Applied Meteorology and Climatology, 57(2), 255 - 272)

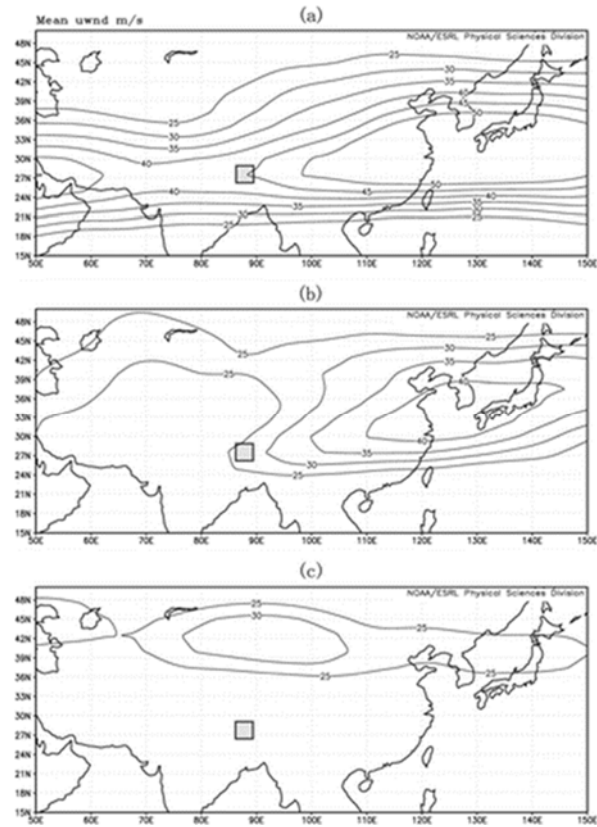


图 3.1.5 副热带西风急流 (STJ) 位置变化: (a) 非季风期, (b) 过渡期, (c) 季风期; STJ 由 200 hPa 位势高度的纬向风标识, 方框表示珠峰地区位置

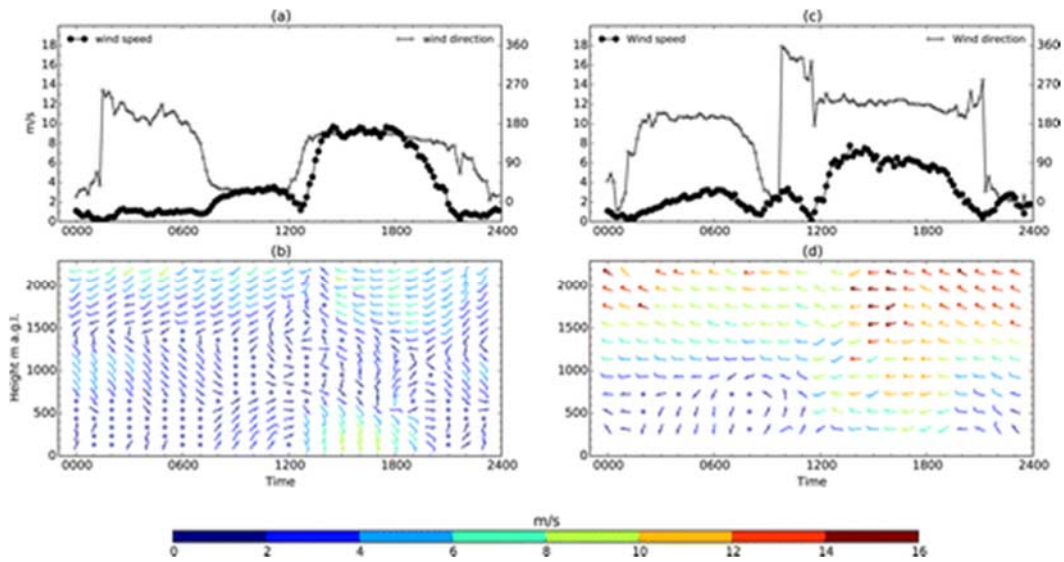


图 3.1.6 珠峰站近地层及低空风的日变化, (a) 季风期近地层风日变化, (b) 季风期低空风日变化 (由风廓线雷达观测得到), (c)同(a), 但是非季风期, (d)同(b), 但是非季风期。

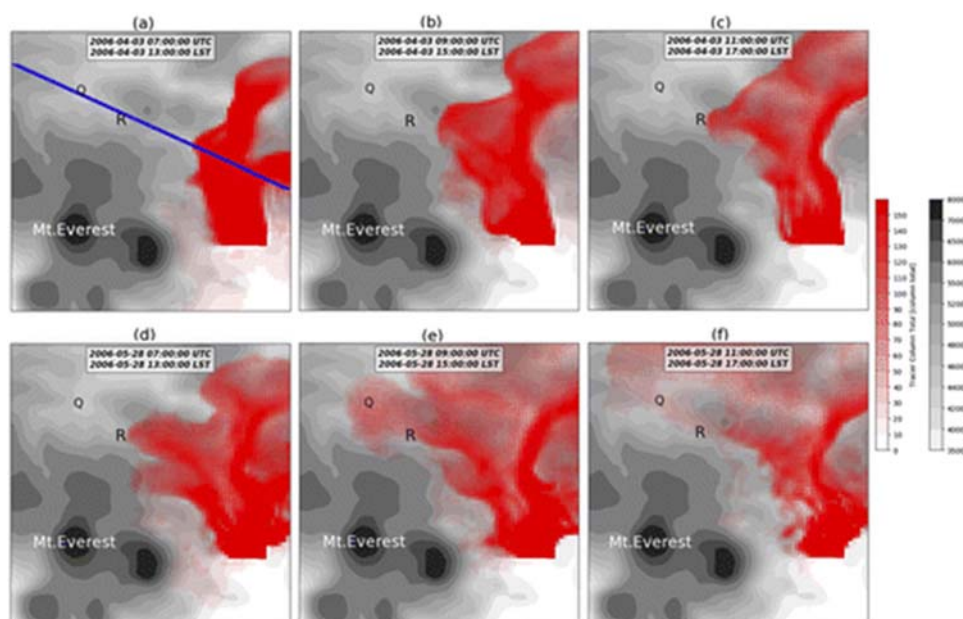


图 3.1.7 由示踪粒子的分布标识出的珠峰东坡河谷内气流的影响范围，(a)(b)(c)是非季风期下午 13 点、15 点和 17 点的分布，(d)(e)(f)是季风期下午 13 点、15 点和 17 点的分布，字母“Q”表示珠峰站位置。

2. 大气环境观测研究

➤ 纳木错站

青藏高原棕碳气溶胶研究取得进展：碳质气溶胶是气候变化的重要驱动因子之一，特别是其中的黑碳，由于强烈的吸光作用而得到广泛关注。而对于有机气溶胶，以往的研究大多认为对太阳辐射只存在散射作用。近期的研究提出，在吸光能力较强的黑碳和无吸光性有机碳之间还存在一类由类腐殖质（Humic-like substances, HULIS）等物质组成的黄色或棕色有机物质，该类吸光性有机物质被定义为棕碳（Brown carbon）。棕碳的吸光能力随波长变短迅速增强，因此在地表辐射平衡中具有不可忽视的作用。本研究发现气溶胶中 HULIS 的含量和吸光特性具有显著的季节差异，夏季含量明显高于冬季，而冬季的吸光能力是夏季的 2-3 倍。通过与有机示踪物（左旋葡聚糖：指示生物质燃烧。苹果酸和庚二酸：指示二次形成过程）的相关性分析发现，纳木错冬季大气 HULIS 主要来自于生物质燃烧，而夏季主要受大气中二次反应过程的影响。后向气团轨迹分析和卫星火点分布图进一步表明，纳木错地区冬季大气 HULIS 受到南亚生物质燃烧长距离传输的影响，夏季 HULIS 的前体物主要来自于印度东北部的人为排放与植被挥发（BVOCs）等。

这项研究较为全面的揭示了高原中部棕碳气溶胶的吸光特性、来源区域及环境意义，提升了对大气有机气溶胶辐射效应的认识，同时也为区域气候模型提供了重要基础数据。

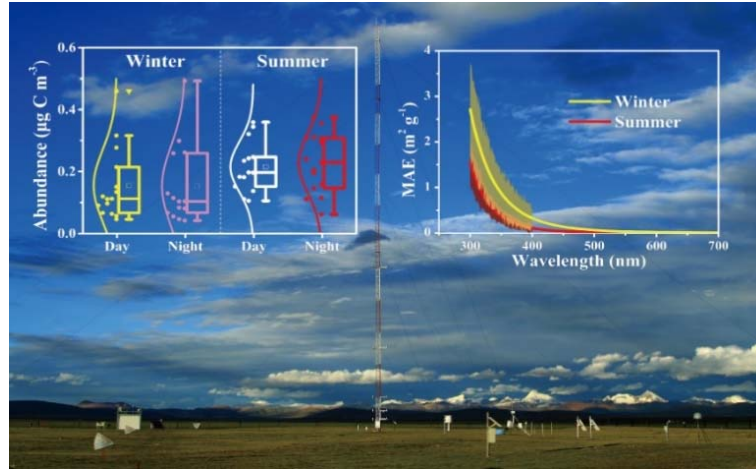


图 3.2.1 纳木错地区 HULIS 含量和吸光特性的季节变化特征

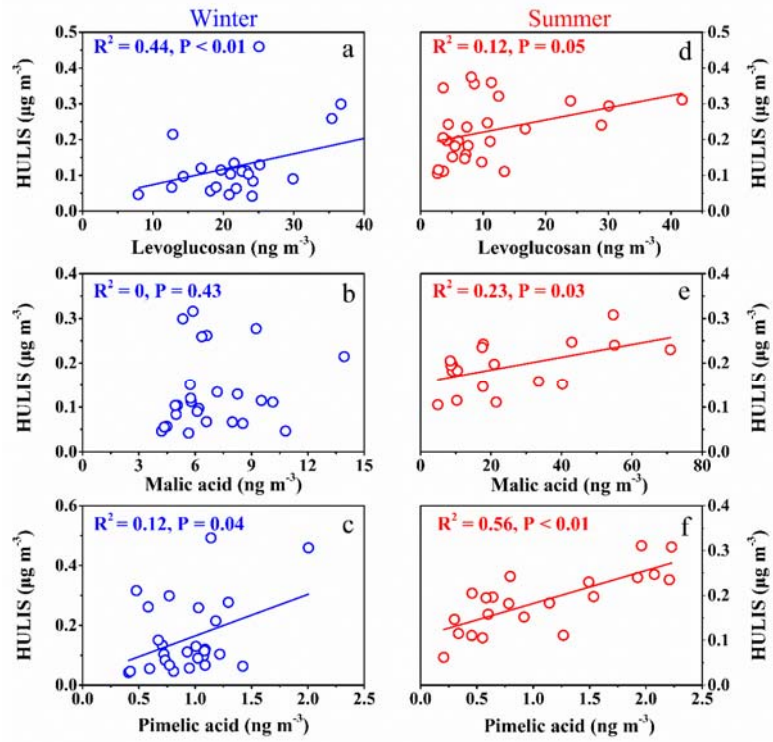


图 3.2.2 纳木错地区 HULIS 与左旋葡聚糖 (a,d)、苹果酸 (b, e) 和庚二酸 (c, f) 的相关性

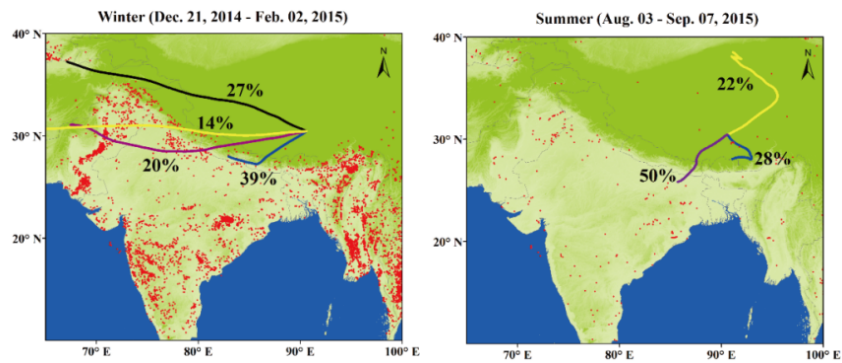


图 3.2.3 纳木错地区采样期间的 5 天后向气团轨迹分析和火点分布图

揭示青藏高原内陆大气汞本底、变化特征和原因：汞是一种全球性有毒污染物，大气是汞的重要传输通道。南亚和东亚是世界最大的两个人为汞释放源区，青藏高原地处两大源区之间，是区域大气汞本底观测和变化过程研究的关键地区。此前，青藏高原长序列大气汞观测研究仅限于高原北部的瓦里关和东南部香格里拉，而高原内陆大气汞研究极为稀少，且缺少长期地面观测，难以准确评估区域大气汞的整体水平和变化过程。2012 年以来，我们在海拔 4730 m 的中科院纳木错圈层相互作用综合观测研究站建立了大气气态总汞观测平台并开展在线连续观测，这是我国迄今海拔最高的大气汞长期监测点。对 2012-2014 年的数据序列分析表明，纳木错地区大气气态总汞平均浓度仅为 $1.33 \pm 0.24 \text{ ng m}^{-3}$ ，是我国已有报道的长期定位大气气态汞浓度的最低值，可代表青藏高原甚至北半球背景浓度水平。纳木错大气汞季节变化为夏高冬季，日变化为昼高夜低，受局地条件包括大气垂直交换和光化学作用等的影响。研究还发现，来自南亚的长距离传输对纳木错大气汞的季节性变化和高值有一定贡献。这一成果填补了青藏高原内陆偏远地区大气汞缺乏长期监测的空白，同时为高原内陆大气污染物传输过程及受印度季风影响研究提供了新视角。

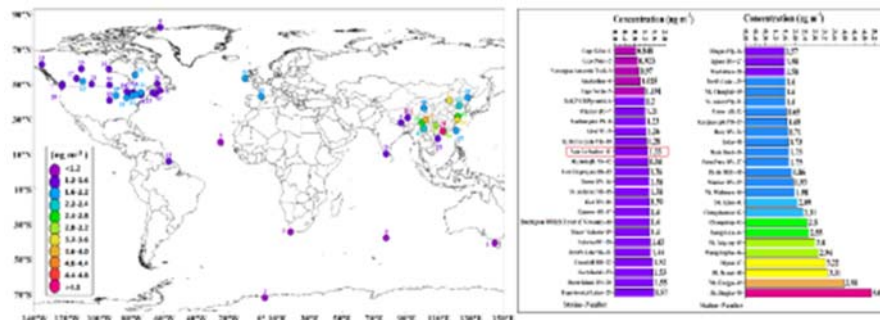


图 3.2.4 全球大气汞（气态总汞或气态单质汞）观测站点分布及浓度（纳木错为图中 11 号站点）

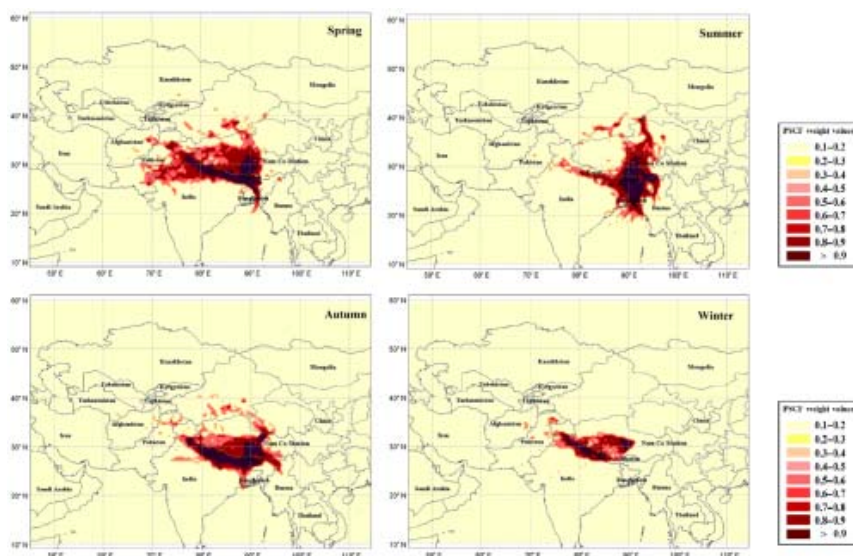


图 3.2.5 青藏高原纳木错站 2012 年各季节大气汞（气态总汞）潜在来源分布

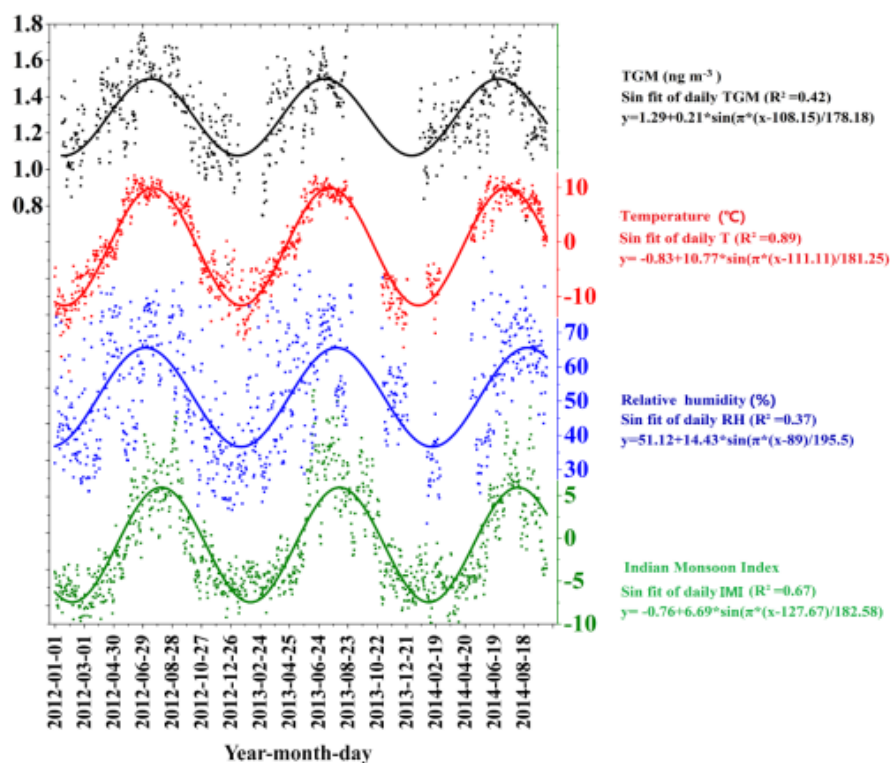


图 3.2.6 纳木错大气汞（气态总汞）及与温度、相对湿度和印度季风指数日变化序列正弦曲线拟合

► 天山冰川站

大气化学：Zhou et al. (2018) 对兰州市颗粒物和气态污染物特征作了分析，结果表明 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。Wang et al. (2018) 首先通过气态前体物和水溶性离子的时序分析，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。

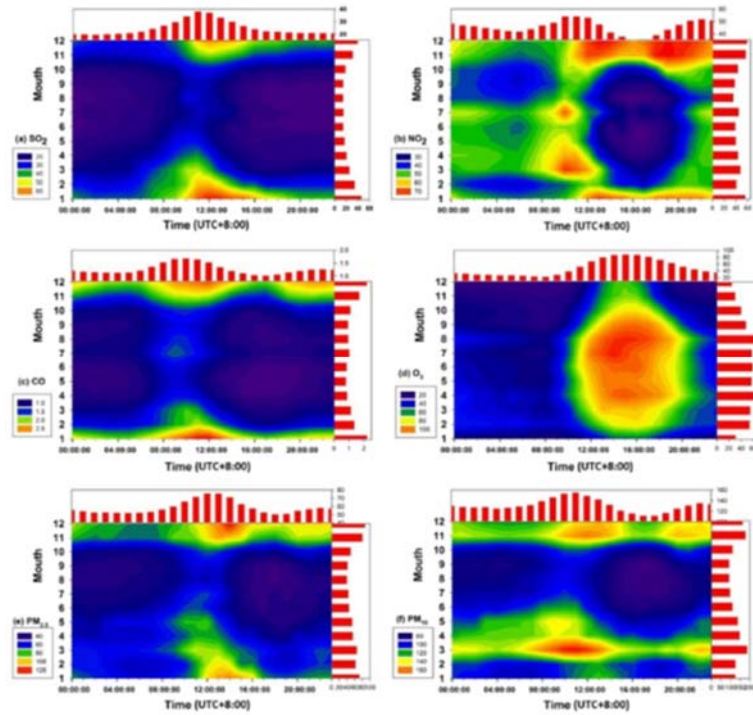


图 3.2.7 气态污染物 (a SO₂, b NO₂, c CO, and d O₃) 与颗粒物浓度 (e PM_{2.5} and f PM₁₀) 时间变化图

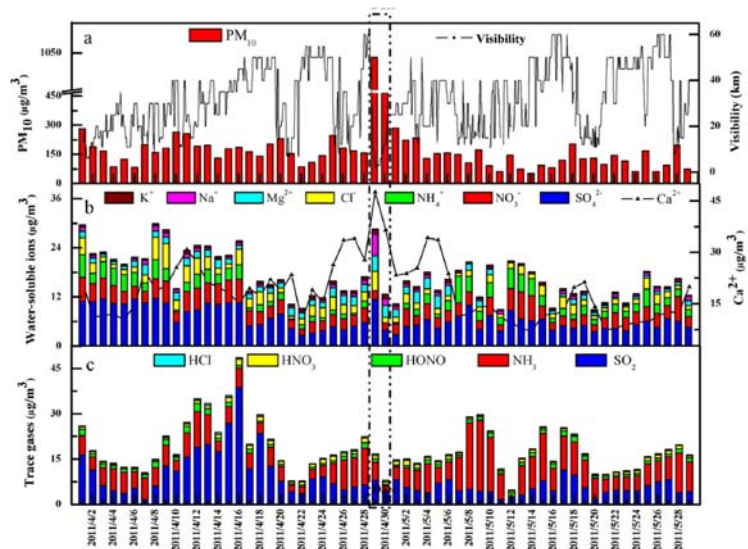


图 3.2.8 整个监测期间 PM₁₀, 能见度, 水溶性离子和痕量气体的时间序列

➤ 珠峰站

珠峰地区黑碳气溶胶浓度、时间变化以及来源: 利用穆朗玛大气与环境综合观测研究站采集的 2015 年 5 月 15 日至 2017 年 5 月 31 日的高分辨率黑碳浓度数据, 分析了该地区黑碳浓度季节变化和日内变化的特征, 探究了黑碳的潜在源区。其中, 月均值和日均值均在季风前期出现最高值, 在季风期出现最低值, 且最高值比最低值高出一个数量级以上。黑碳浓度的日内变化结果显示, 季风前期, 黑碳气溶胶在深夜至早晨维持高浓

度水平。期间该地区主要盛行西风气流，因此能够促进远距离源区的污染物越过喜马拉雅山并沿着山谷输送至珠峰地区。季风期黑碳气溶胶含量整体较低，但由于受附近人类活动的影响，黑碳浓度在早晨和中午出现峰值。利用 HYSPLIT 后向轨迹模型和 MODIS 火点资料，对黑碳气溶胶的上述季节变化特征进行了分析，结果表明大气环流以及源区燃烧强度的变化是导致珠峰地区黑碳季节性变化的主要原因。此外，利用 WRF-Chem 模式对研究时段内出现的污染事件进行了模拟分析，进一步揭示了该地区黑碳气溶胶的传输机制。即对于季风期的污染事件，南亚地区低层大气中的黑碳气溶胶被抬升，然后在高层大气中由南风输送至珠峰地区。对于季风前期的污染事件而言，受西北风的控制，源自印度北部低层大气中的黑碳气溶胶被输送且聚集在喜马拉雅山南坡，而山谷风系统促进了污染物越过喜马拉雅山输送至珠峰地区。期间，直接由上层大气中西风气流携带的来自印度西北部以及中亚的黑碳气溶胶相对较少。(Chen et al., 2018, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 18, 12859-12875.)

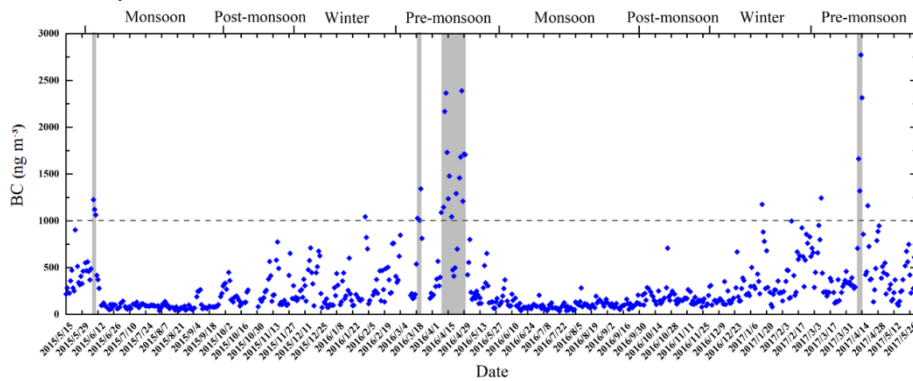


图 3.2.9 珠峰站黑碳气溶胶浓度具有明显的季节变化特征(引自 Chen et al., 2018, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 18, 12859-12875.)

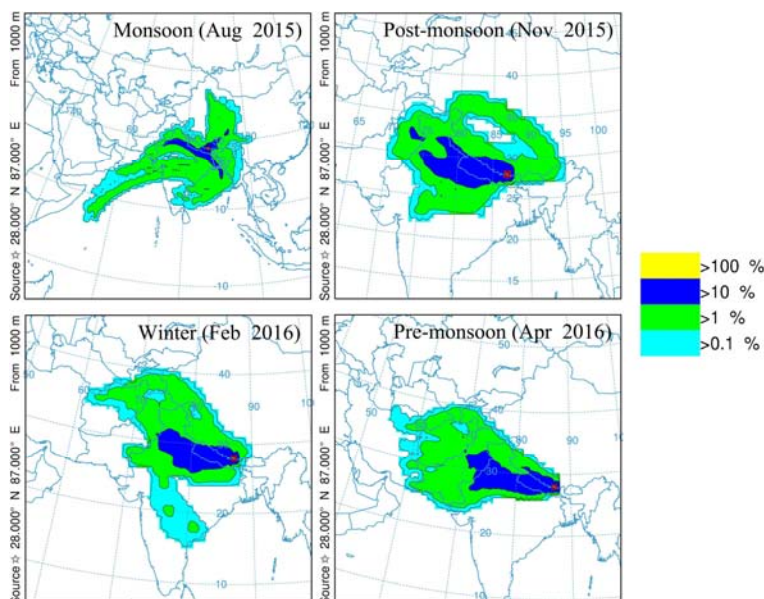
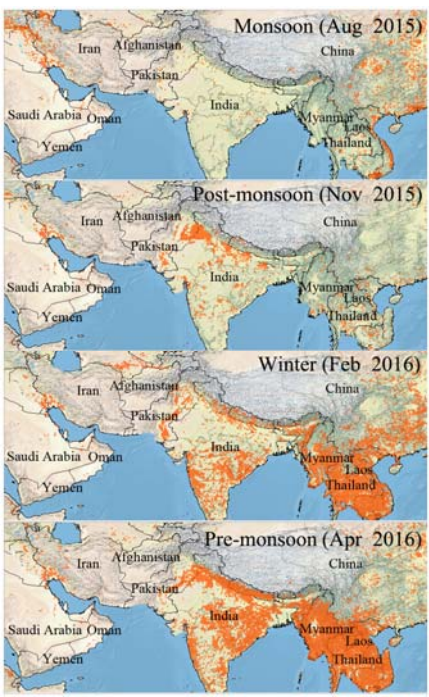


图 3.2.10 不同季节气团后向轨迹分布



不同季节火点分布

图 3.2.11 珠峰站黑碳气溶胶的季节变化特征主要与大气环流以及源区燃烧强度的季节变化有关

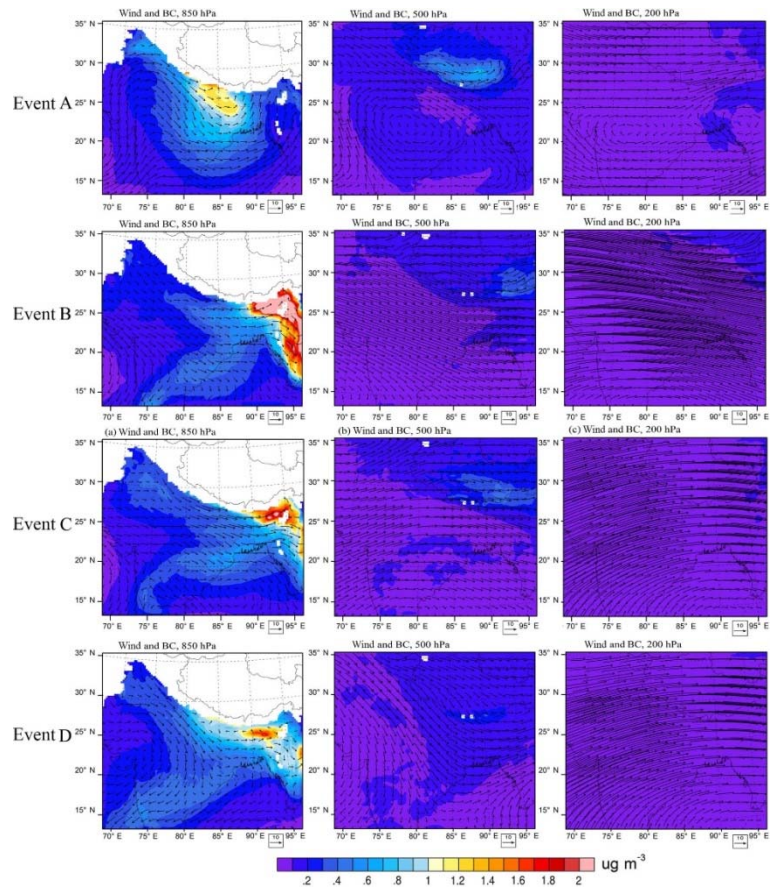


图 3.2.12 四次污染事件中 850、500、200 hPa 处黑碳平均浓度及风场的分布(其中事件 A 出现在季风期，其余均在季风前期)

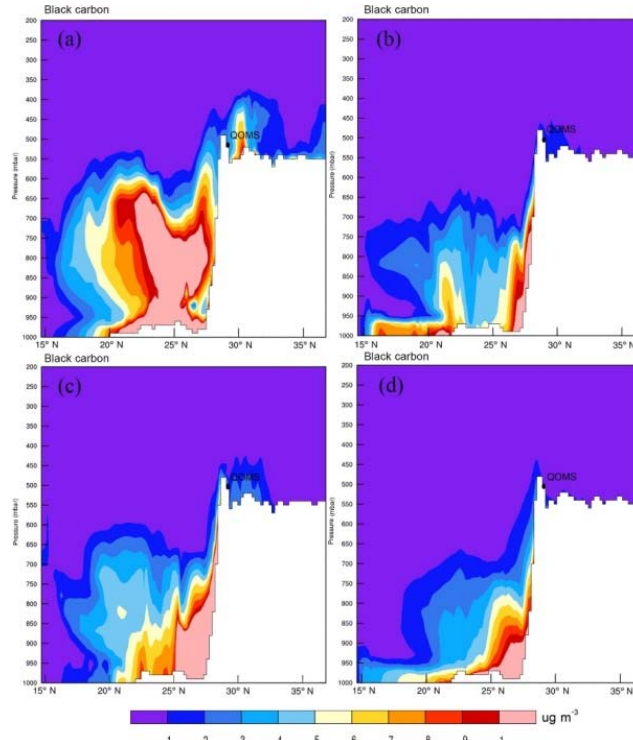


图 3.2.13 不同季节，源自南亚地区的黑碳气溶胶输送至珠峰地区的传输机制有所不同

绒布冰川雪冰消融过程中汞的迁移特征：汞 (Hg) 被公认为一种全球性污染物，可随大气环流进行远距离传输，并最终沉降至冰川雪冰中。在气候变暖的背景下，累积于雪冰中的汞等污染物可被大量释放，进而对下游水生生态系统及居民健康造成潜在威胁，对东绒布冰川雪冰消融过程中汞迁移及随融水向下游的输送特征进行研究，结果表明，雪冰中总汞 (THg) 以颗粒态汞 (PHg) 为主。消融过程中，不同形态汞的迁移特征显著不同：消融发生时，溶解态汞 (DHg) 即率先释放；PHg 富集于雪冰中，且随消融强度的增大而集中释放 (图 7)。一个消融日内东绒布冰川雪冰中较小部分的汞 (18%-34.7%) 被释放出来，表明沉降至该地区山地冰川中的汞更易于保存在雪冰中。消融过程中，THg 浓度与 PHg 浓度和陆源性离子 (e. g., Ca^{2+} , Mg^{2+}) 呈显著正相关，表明消融过程中汞主要随颗粒物进行迁移，PHg 向融水的释放是消融过程中汞的主要释放途径，且主要受控于消融强度。因此，在气候变暖的背景下，大量储存于冰川中的汞可被释放至水生生态系统，对下游生态系统造成潜在危害。汞随融水径流自冰川向下游迁移过程中，总汞和颗粒态汞浓度显著降低，迁移过程中颗粒态汞沉降是径流中总汞浓度降低的主要原因 (Sun et al., 2018, Journal of Environmental Sciences, 68, 130-142.)。

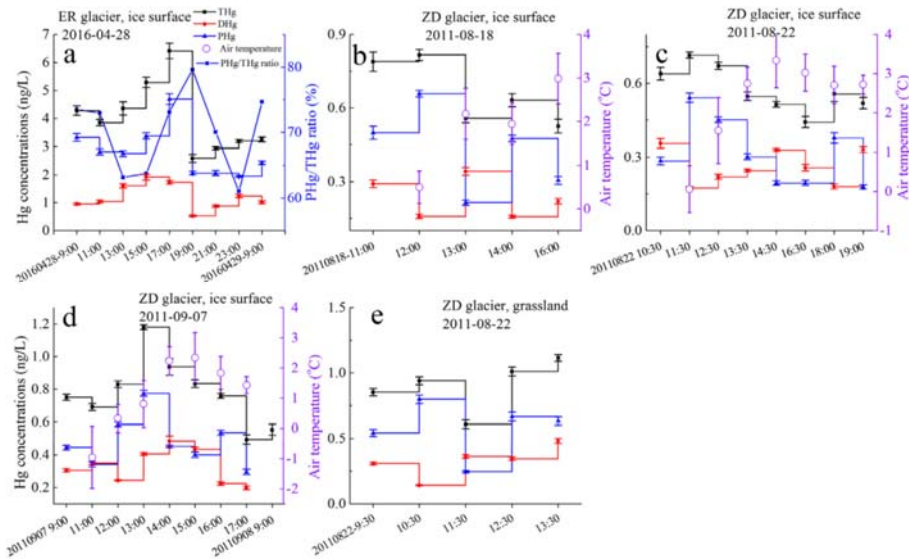


图 3.2.14 东绒布冰川（ER）和扎当冰川（ZD）雪冰消融过程中各形态汞的迁移特征

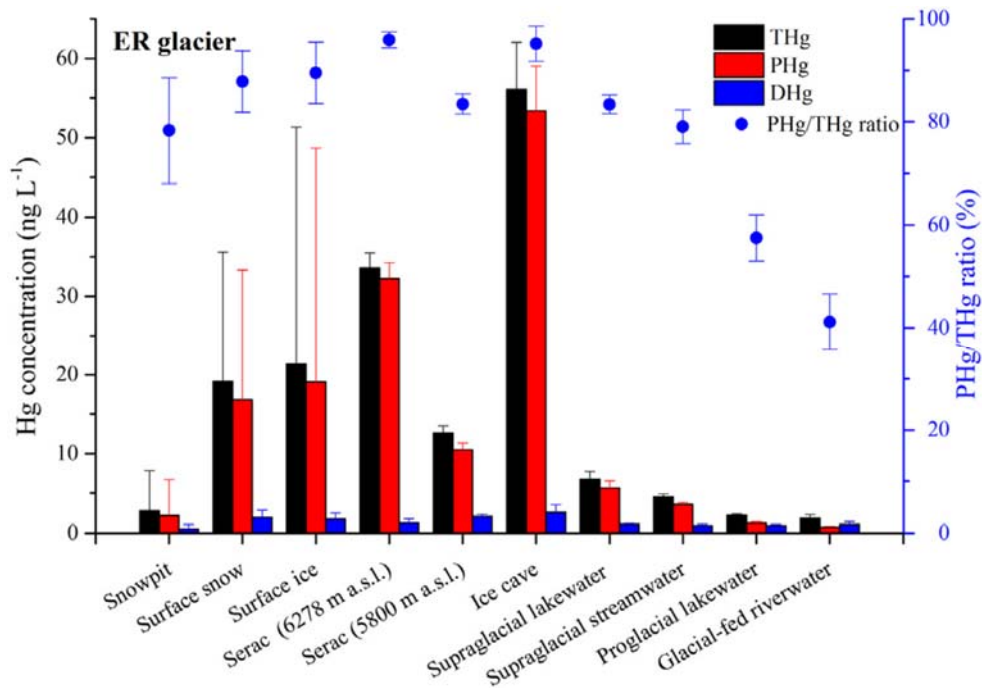


图 3.2.15 东绒布冰川各环境介质中汞浓度水平

3. 冰川/湖泊观测研究

➤ 若尔盖站（西北生态环境资源研究院）

高原典型湖泊冰面反照率分布特征：利用 2012-2015 年 MODIS 反照率产品调查了青海湖、纳木错等六个典型的青藏高原湖泊的冰面反照率变化特征。研究发现，选择的六个青藏高原典型湖泊无积雪时的冰面反照率大部分小于 0.20，并且在整个冻结期无显著的变化。考虑到部分时段有积雪覆盖，高原典型湖泊在整个冻结期的冰面反照率也大多低于 0.40，明显小于现有湖泊模型的模拟结果。

本研究论文发表情况如下: Li Zhaoguo, Ao Yinhuan, Lyu Shihua, Lang Jiahe, Wen Lijuan, Stepanenko Victor, Meng Xianhong, Zhao Lin (2018). Investigation of the ice surface albedo in the Tibetan Plateau lakes based on the field observation and MODIS products. Journal of Glaciology, 64(245), 506-516

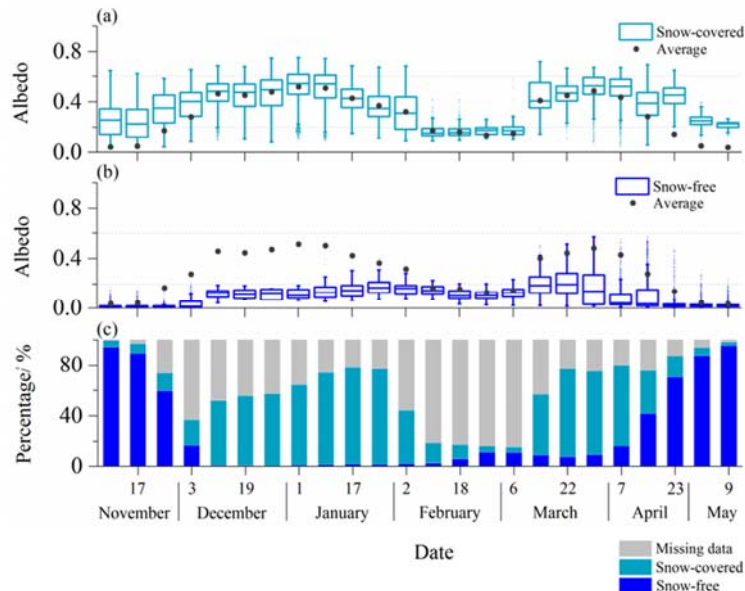


图 3.3.1 利用 MCD43A3 反照率产品得到的 2012-2015 年鄂陵湖冻结期反照率的合成变化

➤ 天山冰川站

黑河流域冰川变化模拟进展:

1) 建立适用于流域尺度的冰川物质平衡模型与动力学模型耦合系统: 流域尺度中针对众多冰川进行变化模拟, 主要难点在于以单条冰川为基本单位, 各种输入参数、边界条件、初始条件、网格的全自动化生成与处理。根据上述需求建立由以下 4 部分组成的模型系统: 前处理子系统用于自动提取冰川轮廓、截取高程信息、对轮廓与高程进行局地投影、划分网格、划分冰川汇流区、提取冰川主流线、提取冰川横断面宽度, 及计算冰川厚度分布信息等; 主程序包括“物质平衡模型”与“动力学模型”两个子模块, 二者耦合完成冰川变化的模拟计算, 前者主要用于固态降水积累量、太阳辐射能、消融量、再冻结量, 以及所产冰川径流量等参量的计算, 后者负责求解描述动量守恒的 Navier-Stokes 方程, 输出冰川内部运动速度场; 后处理子系统包括模型参数率定模块、模拟结果敏感性分析模块及误差分析模块; 测试模块主要用于测试模型系统是否正常运行。目前前后两部分仍在完善当中。

2) 完成黑河流域冰川体积(冰储量)计算: 冰川厚度是唯一无法通过卫星遥感手段获取的冰川几何参数, 在各类研究中发挥着重要作用——它是冰川储量计算的必备输入参数, 在冰川消融与冰川水文研究中是重要的限制条件, 对冰川变化模拟研究来说是不可

或缺的初始条件与验证参数。利用“扩展型理想塑性体模型”与“质量守恒模型”对黑河流域冰川开展厚度分布与体积重建工作，其中冰川轮廓取自《中国第二次冰川编目数据集》（以下简称“二次编目”）。结果表明，黑河流域（包括北大河）现有冰川 948 条，面积 293.2 km²（平均面积 0.309 km²），体积 13.55 km³（平均体积 0.014 km³）。冰川平均厚度与体积均体现出西高东低的空间分布趋势，即北大河流域显著高于黑河流域，与面积分布相吻合。与本课题研究结果相比较，二次编目公布的两套冰川体积数据明显偏低，误差为-10%与-27%。原因可能在于二次编目采用“量纲法”（统计模型）计算冰川体积，而用于参数率定的样本过少且偏向小冰川，导致计算结果低估了黑河流域冰川的体积。

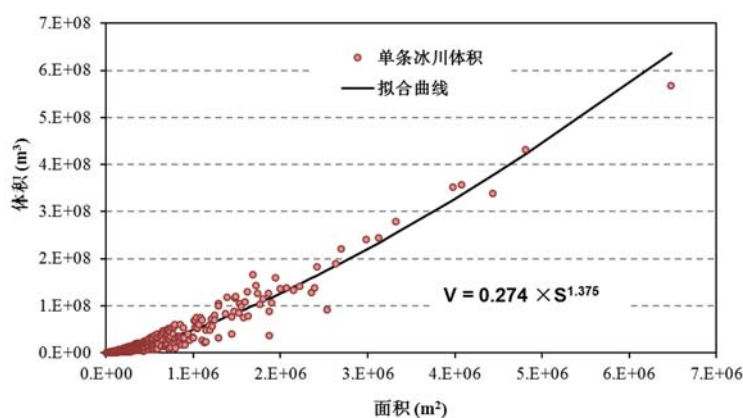


图 3.3.2 黑河（包括北大河）流域冰川体积计算结果

3) 完成黑河流域冰川未来变化初步推算：利用物质平衡模型与动力学模型耦合模型体系，对十一冰川及葫芦沟流域其他冰川未来变化进行模拟。结果显示，在 IPCC AR4 SERS 各种升温情景下，十一冰川东、西支将分别在 2036~2038 及 2041~2043 年消失；对葫芦沟流域来说，预计所有冰川面积的 90%将在 2040 年以前消失。若维持目前气候条件不变，幸存于本世纪末的冰川面积与体积亦不足目前量值的 10%。在 SRES B1 排放情景下，根据葫芦沟流域冰川的未来变化模拟结果和敏感性实验推测，到 2040 年左右，黑河流域将有 90.7%的冰川消失殆尽，冰川面积也将消失 46.5%以上；同时，北大河流域也将有 75.4%的冰川不复存在，面积损失率也将在 65.8%以上。这些冰川规模普遍较小，但对径流的贡献和调节作用不可忽略。强烈消融使得冰川固态水资源量迅速减少，动态水资源量呈总体上升趋势，但这些小冰川一旦消失，水资源会因冰川储量的枯竭而急剧减少，冰川水资源及其对河流的调节作用也随之消失，使水资源状况恶化。因此，针对各个流域冰川的现状和未来变化情况，应该合理的实施水资源的利用与保护。

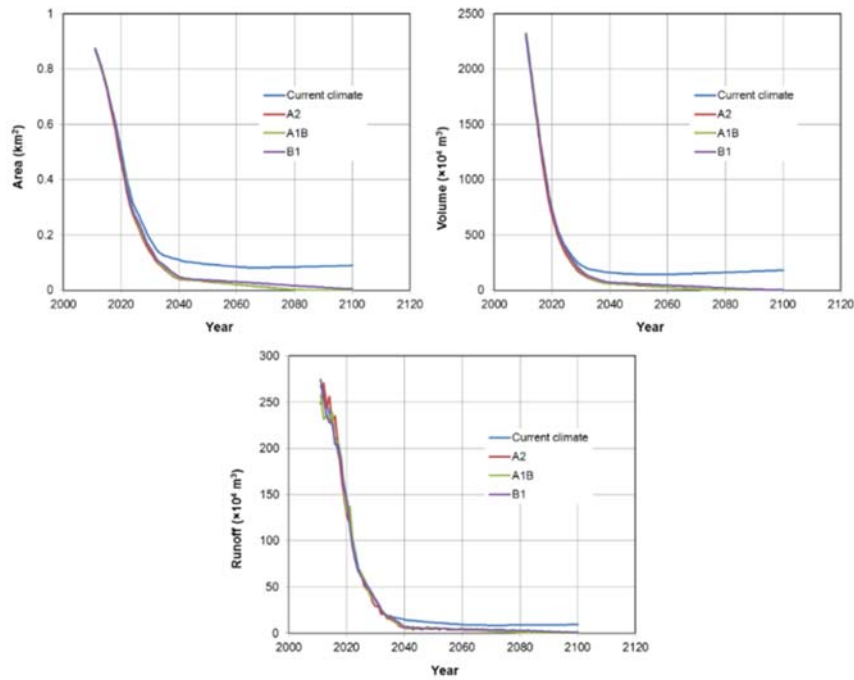


图 3.3.3 葫芦沟流域冰川面积、体积及径流未来变化模拟结果

冰川变化过程、机理和模拟：全球尺度来看，牟建新等（2018）基于 2017 年发布的第 6 版 Randolph 冰川编目资料研究得出，目前全球(不包括南极与格陵兰冰盖)共发育山地冰川 215 547 条，总面积达 705 739 km²，其中，79.15%的冰川面积 < 1 km²。近 50 年间经历了强烈退缩，16 个冰川区面积退缩率达 11.3%。基于世界冰川监测服务处（WGMS）发布的全球 40 条典型参照冰川物质平衡数据分析显示，大多数冰川物质平衡为负的状态，冰川普遍退缩，尤其在中纬度比较强烈；物质平衡值由北到南出逐渐增大，空间上呈现出典型的纬度地带性和经度地带性特征，年代际物质平衡值呈阶梯下降，每 10 年物质平衡值下降 200 mm 左右；全球冰川在 2000 年之后出现了加速消融的变化趋势（梁鹏斌等，2018）。

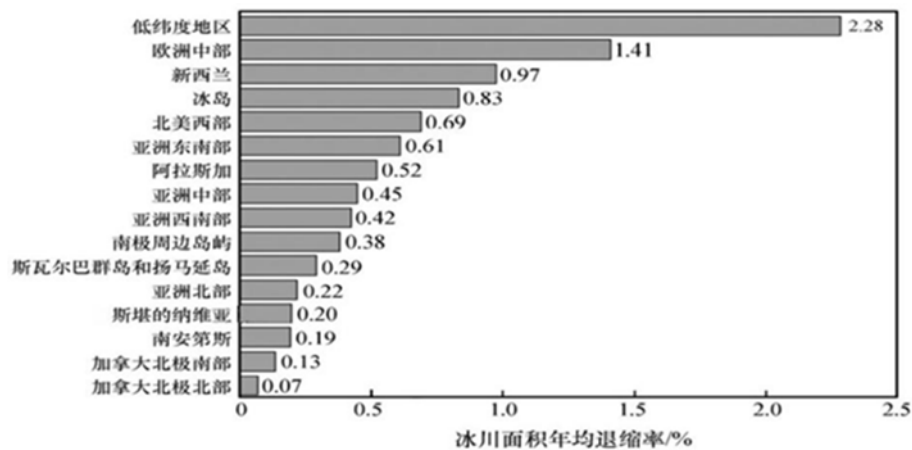


图 3.3.4 16 个一级冰川区 1960 年以来的冰川面积年均变化率

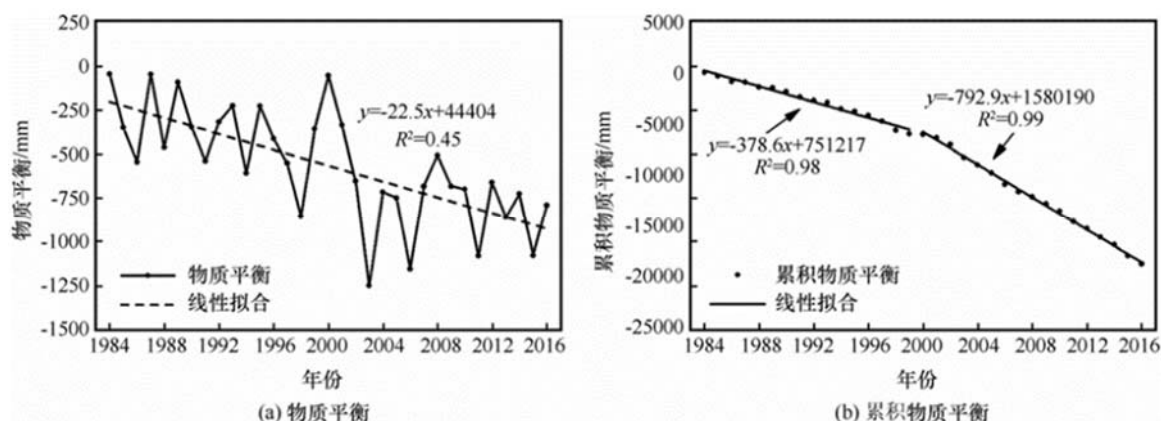


图 3.3.5 全球冰川物质平衡与累积物质平衡变化

位于天山的乌鲁木齐河源 1 号冰川，定位观测已近 60 年，自 1980 年以来，每年夏季末都对其开展表面运动速度观测。Wang et al. (2018) 系统地对该冰川年运动速度的长期变化及其影响因素进行了分析和讨论。从 1980/1981 到 2011/2012 年，乌鲁木齐河源 1 号冰川年运动速度减小了 40%，平均每年减小 1.3%。按照冰川运动和动力学基本理论，对冷冰川来说，冰体在自身重力作用下的蠕变变形是冰川运动的主要机制，运动速度主要受控于冰体厚度、底床和表面坡度。因此，该冰川运动速度长期变化的根本原因在于，持续的气候变暖使冰川物质平衡长期处于负平衡状态，进而使冰川厚度总体减小，底床虽然不变但表面坡度会发生变化。

Xu et al. (2018a) 首次将 Rigel VZ ©-6000 地面三维激光扫描仪用于乌鲁木齐河源 1 号冰川的物质平衡监测，计算了 2015-2017 年年尺度以及月尺度的物质平衡，其获取的冰面高程变化值与花杆/雪坑法获取的相应同名点的高程变化值具有高度的一致性，相关系数达 0.85 (通过了 0.001 的显著性检验)，说明其在冰川物质平衡监测中具有很大的潜力。此外，基于 1981 年地形图和 2015 年地面三维激光扫描获取的 DEM，在高程数据配准、误差评估和两种方法差异性分析的基础上，对乌鲁木齐河源 1 号冰川冰川学物质平衡资料进行再分析。结果依然表明乌鲁木齐河源 1 号冰川物质平衡的误差值普遍小于全球监测冰川的平均水平。采用统计学方法对比分析发现冰川学法和大地测量法物质平衡值具有较好的一致性 (位于 95% 的置信区间内)，论证了乌鲁木齐河源 1 号冰川物质平衡的质量是令人信服的 (Xu et al., 2018b)。Wang et al. (2018) 在萨吾尔山木斯岛冰川上也作了相关试验，取得了良好的效果，利用三维激光扫描仪开展物质平衡监测具有一定的可推广性。

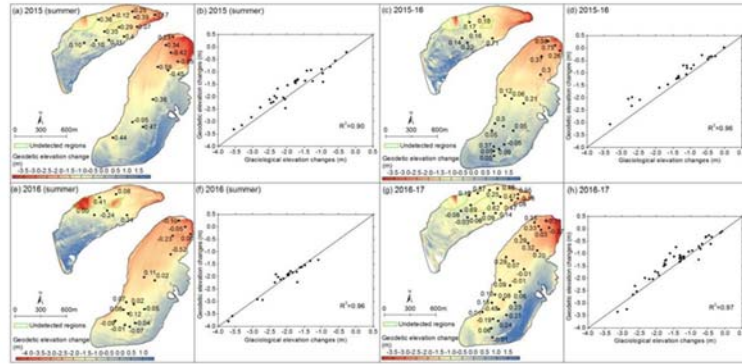


图 3.3.6 三维激光扫描获取的冰川表面高程变化空间分布及其与冰川学法高程变化的对比

由于冰川物质平衡直接取决于其能量收支状况，因此，众多学者将更多的研究集中在冰川表面的能量平衡上，并对其进行了不同程度的改进与简化。基于天山奎屯河流域哈希勒根 51 号冰川 7 年的物质平衡资料、冰面气象资料与格点数据，利用气温指数模型对该冰川 1999-2015 年的年物质平衡及季节性物质平衡进行了重建，以分析该冰川物质平衡变化特征及其与气候变化之间的相互关系。结果显示，16 年间该冰川累计物质平衡为 $-6.06 \pm 0.88 \text{ m w.e.}$ ，年均物质平衡为 $-0.37 \pm 0.22 \text{ m w.e.}$ 。该冰川平均年物质平衡、夏平衡与冬平衡分别为 -0.37 、 -0.54 与 $0.16 \pm 0.22 \text{ m w.e.}$ 。该冰川物质平衡对气温的敏感性为 $-0.51 \text{ m w.e.}^{\circ}\text{C}^{-1}$ ；降水增加 10% 为该冰川带来的补给量约为 $0.08 \text{ m w.e.}^{\circ}\text{C}^{-1}$ 。消融期内的气温和年内降水是该冰川物质平衡变化的主控因素(Zhang et al., 2018)。

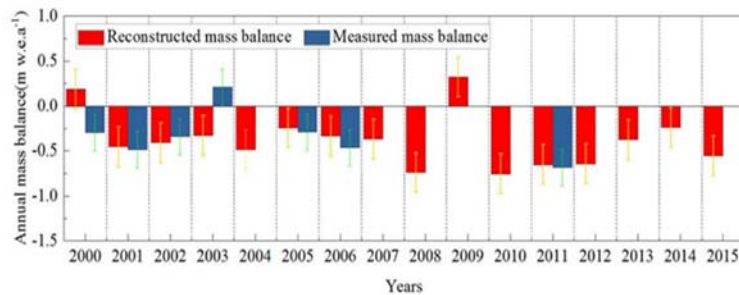


图 3.3.7 1999-2015 年哈希勒根 51 号冰川重建物质平衡

➤ 慕士塔格站

叶尔羌上游流域高山区降水反演：叶尔羌河是第三极的典型冰川流域，然而由于山区观测站点极度缺乏，气象输入的不确定性成为模型不确定性的最大来源。叶尔羌河流域由于地形复杂且地势较高，难以进入进行实地观测。基于慕士塔格站在不同海拔高度观测的气象数据，进而反演出了具有流域代表性的气象数据；同时，还利用冰川物质平衡观测数据计算出了冰、雪度日因子。这使得在叶尔羌河上游流域成功搭建含有冰川模块的 VIC-Glacier 水文模型，并对流域的水文过程进行了模拟。

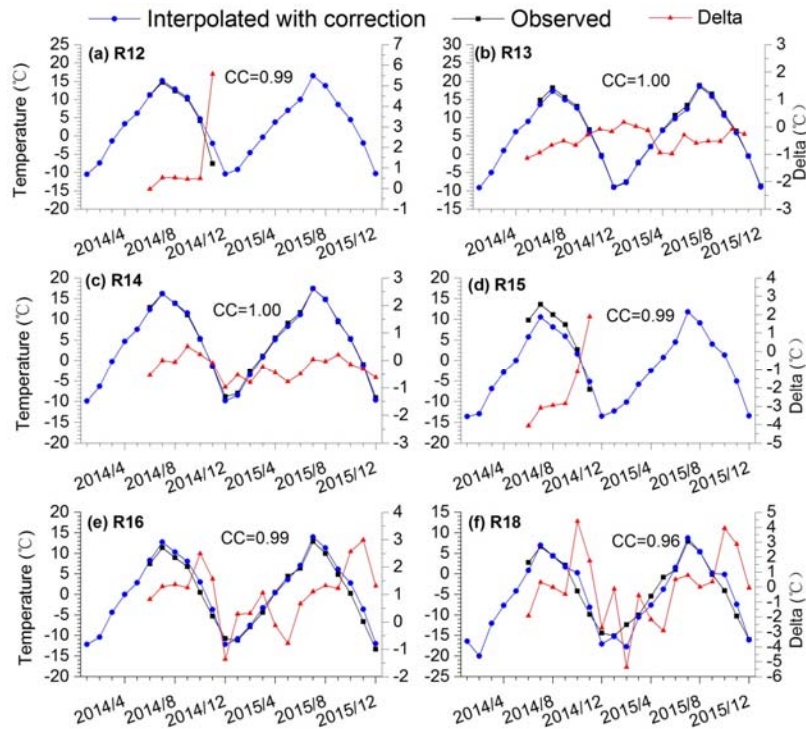


图 3.3.8 实测与模拟温度对比

冰川能量平衡模型与水文模型的耦合及其在东帕米尔木吉冰川流域的验证：利用冰川-水文耦合模型模拟和预测流域水文过程，是研究第三极水文水资源对气候变化响应的主要手段。基于慕士塔格站在木吉冰川流域观测的冰川物质平衡、气象和水文数据，利用冰川-水文耦合模型，本研究实现了冰川能量平衡模型与分布式陆面水文模型 VIC 的耦合，并从流域冰川能量平衡、冰川物质平衡、和流域径流过程完成了对耦合模型的充分验证。研究结果显示：冰川-水文耦合模型对入射短波、反照率、夏季冰川物质平衡和径流过程的模拟能达到较好的精度；木吉流域冰川上约 60% 的能量供给用于潜热通量的消耗，而只有约 40% 的正能量用于冰川消融，这种能量分配和已发现的大陆性冰川能量分配模式一致；木吉流域冰川在 2011-2015 年间总体仍呈现物质负平衡。

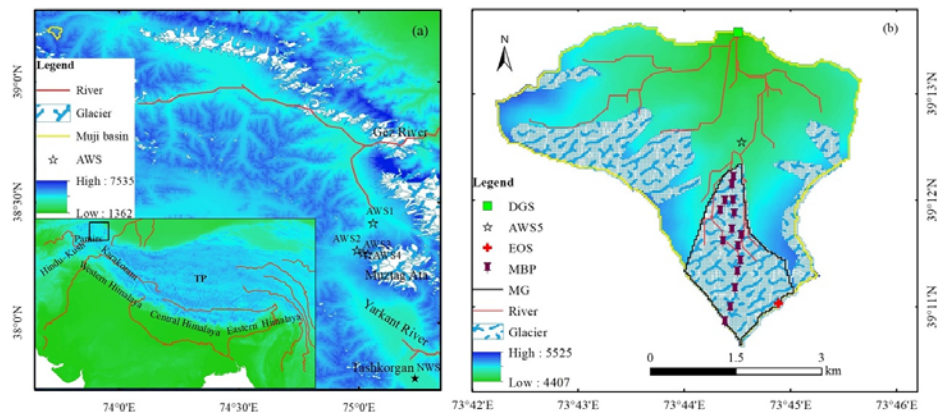


图 3.3.9 研究区域和木吉冰川流域图

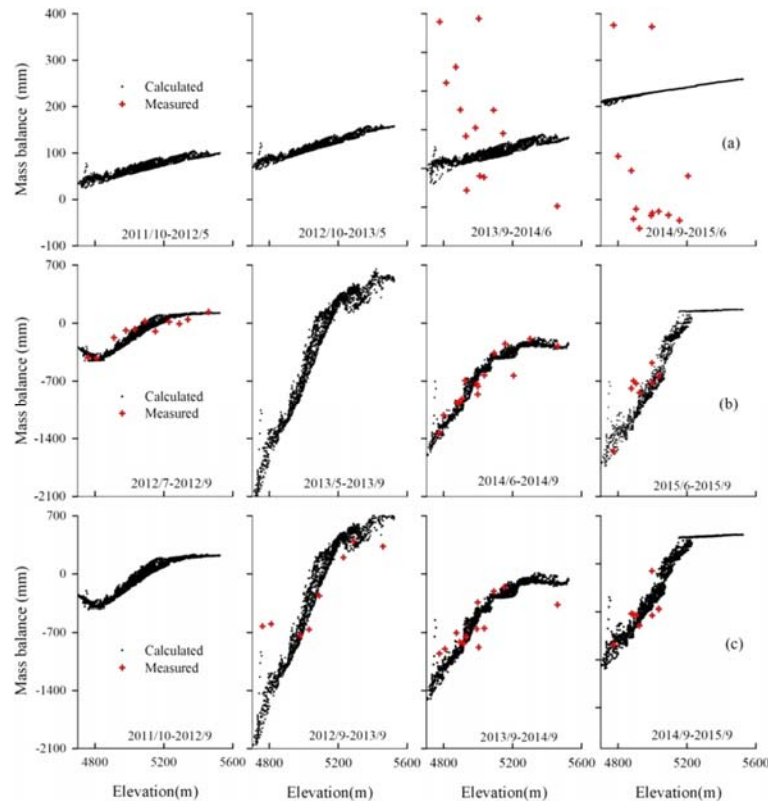


图 3.3.10 模拟和实测的木吉冰川物质平衡数据对比

➤ 阿里站

冰芯记录研究：西昆仑山古里雅冰芯记录表明该地区自 19 世纪中期以来的暖湿化。古里雅冰芯的温度和降水记录在年代际尺度上与北大西洋的海洋与大气过程、北极温度以及印度夏季风强度存在关联，年际尺度上冰芯 $\delta^{18}\text{O}$ 记录与热带西太平洋和印度洋海表温度也存在相关性，表明古里雅降水受西风与季风相互作用反馈的影响。东帕米尔的扩扩色勒冰芯记录也显示了 ENSO 对西风环流气候下的冰芯 $\delta^{18}\text{O}$ 有着显著影响。青藏高原过去千年的冰芯记录揭示了西风和季风气候下冰芯百年尺度气候变化的气候差异；古里雅冰芯显示了自小冰期结束以来最高的升温率；但海拔依赖性增暖则在喜马拉雅地区表现最强；快速升温加以降水的减少对喜马拉雅地区冰冻圈产生了不利影响。这种不利影响也表现在喜马拉雅山及周边地区增强的火灾事件，印度夏季风影响下的喜马拉雅山地区降水减少引起干季延长造成生物质燃烧增强，生成的左旋葡聚糖沉积在藏色岗日冰芯中。相关成果发表在 *Quaternary Science Reviews* (Thompson et al., 2018), *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* (Yang et al., 2018) 和 *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* (You et al, 2018)。

冰崩研究：阿汝冰崩野外实地考察采样，并利用阿里站近年来的气象观测数据，结合卫星遥感和数值模拟，分析了阿汝冰崩发生的原因。研究认为，全球变暖和近期降水

增加驱动的外部强迫作用于特殊的多温性且基床松软的冰川而发生的两起冰崩事件。这些外部因素汇集在一起引发类似浪涌的驱动应力增加,并使得与冰下融水和细粒状的基床岩性相关的底部摩擦大为减少,最终超过冻结在基床上冰舌所产生的阻力的崩塌临界值从而产生冰崩。通过重建阿汝冰崩发生前的冰川热力场、冰川厚度、运动速度、底部剪切力和冰体破坏,发现导致阿汝冰崩的摩擦力变化发生在多温性冰川的温性区而与冷性冰的快速消融无关。该成果发表于 *Nature Geoscience* (Kääb et al., 2018) 和 *The Cryosphere* (Gilbert et al., 2018)。

为深入研究冰崩发生条件,阿里站与青藏所地球动力学和冰川学的科学家一起在阿汝地区的 14 号冰川上及冰碛垄上布设了 cGPS 和地震仪以记录冰川运动和冰震信息,并开展了冰川物质平衡与测厚工作以研究冰川积累-消融状况及冰下地形,以期在此综合研究的基础上,建立冰崩监测预警系统。

► 玉龙雪山站

代表性季风海洋型冰川变化:

1) 玉龙雪山冰川变化:山区复杂地形条件下,获取高分辨率正射影像和数字高程模型是冰川学研究的关键。复杂地形冰川区,尤其是观测难度较大的海洋性冰川,无人机在正射影像和冰面数字高程模型构建中具有显著优势。同时,无人机可以在云下成像,数据的时效性和空间代表性均优于传统的遥感数据。利用小型无人机对白水河 1 号冰川末端复杂地形区进行低空飞行试验,获取了分辨率优于 0.10 m 的冰川末端正射影像和 DSM 数字模型,为复杂地形冰川区精确大比例尺地形图的制作提供了技术支持和资料基础。由地形特征和地物光谱特性造成影像上冰川与附近岩石纹理结构相近的混合区域,导致 GF1 和 Google Image 影像解译的冰川末端面积均大于实际面积,且误判率较高。但无人机航测正射影像能获取更为精确的冰川边界信息,在解译过程中可以有效减少误判。此外,无人机 DSM 数据与 SRTM、ALOS 的数字高程模型相比,在空间分辨率和冰川地表模型构建方面均具有明显的优势。结合地形图数据,试验表明白水河 1 号冰川末端在 1957-2018 年平面距离累积退缩了 $660.54 \text{ m} \pm 10 \text{ m}$ 。

尽管本次试验未能对整条冰川进行航测,但对末端冰川的试验非常成功,冰面高程信息的成功获取,为下一步白水河 1 号冰川物质平衡的无人机监测提供了技术保障。总而言之,中小型无人机在未来冰川研究中具有非常大的潜力,尤其是冰川正射影像获取、DSM 模型构建以及大比例尺地形图制作方面,均有地面观测和卫星遥感不可替代的优势,为解决传统冰川物质平衡观测困难及其不足提供技术参考。

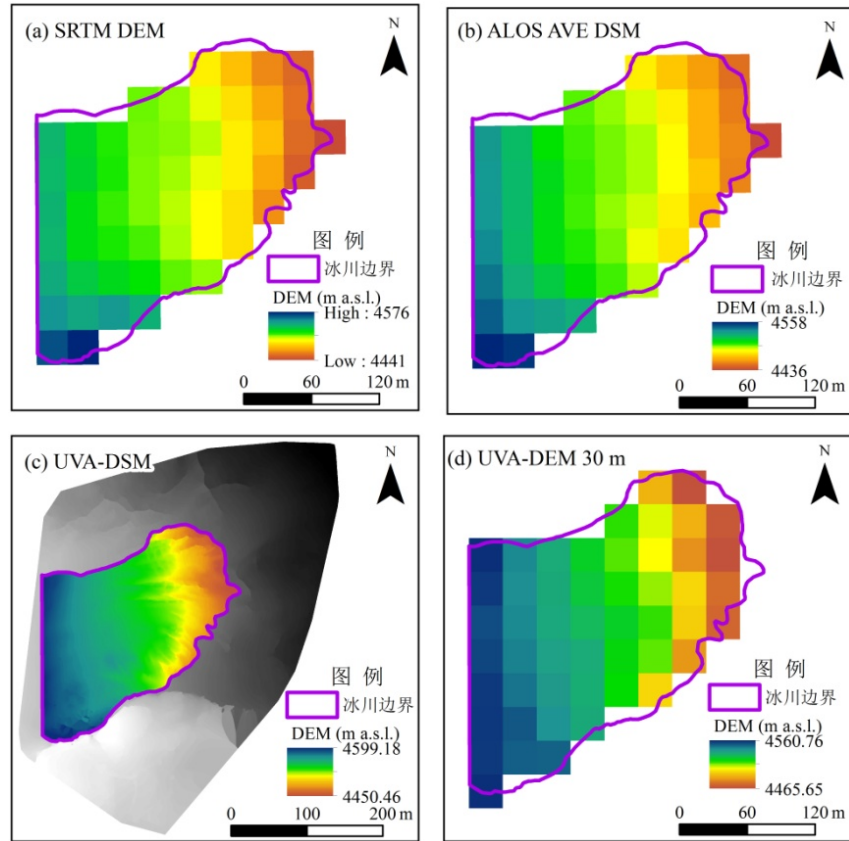


图 3.3.11 冰川末端 SRTM DEM、ALOS AVE DSM 以及 UAV DSM 对比

2) 达古雪山冰川变化研究：达古雪山现有冰川 13 条，现存冰川绝大多数为小型悬冰川、冰斗冰川和坡面冰川。冰川平均坡度 28° 左右，冰川以西坡、西北坡居多，冰川平均海拔 4920 m，冰川厚度介于 10—35 m，冰储量约 0.16 km^3 。其中，达古冰山 17 号冰川 ($E 102^{\circ} 45.94'$; $N 32^{\circ} 14.17'$) 是达古冰山公园规模最大、最长冰川，形态上属于冰斗冰川、物理属性上为海洋性冰川，冰川平均坡度 24° ，冰川整体朝向为东，平均长度约 0.40 km，平均宽度约 0.84 km，冰川厚度介于 5-35 m，冰川弧拱、冰川沉积年层、粒雪盆分布明显。对达古雪山附近松潘气象台站记录分析表明，1961 年以来，气温呈显著增温趋势，增温率为 $0.268^{\circ} \text{ C}/10\text{a}$ ($R^2=0.5567$, $p<0.01$)。从再分析同化资料 CRUTS 4.01 来看，达古雪山及其附近周围地区，在过去的 100 多年中经历了明显的变暖过程。气候正朝着更暖、更干燥的环境发展，将进一步增加达古雪山地区冰川亏损的速率。

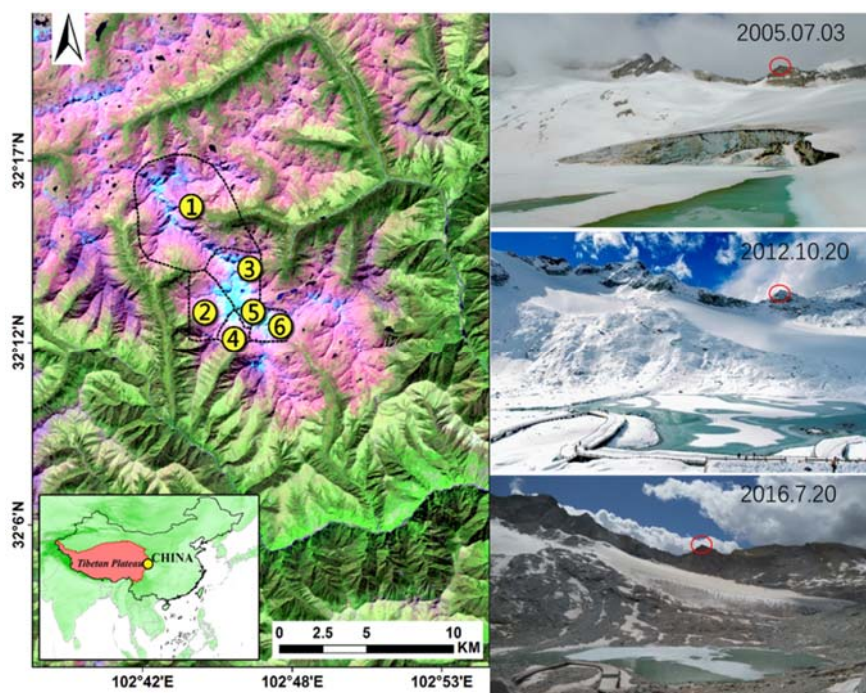


图 3.3.12 达古雪山区位、冰川分布与冰川公园冰川景观变化 (①-⑥为分区)

3) 代表性季风海洋型冰川流域水文特征及其对气候变化的响应: 利用 1979-2016 年金沙江支流漾弓江流域木家桥水文站流量资料和丽江市气象资料, 揭示了漾弓江流域径流变化特征及其主要影响因素。研究表明, 漾弓江流域年径流量呈先增加后减小趋势, 但未通过 0.05 的显著性检验, 表明变化不显著。在年代际时间尺度, 上世纪 80 年代、90 年代至 2000-2009 年, 径流量呈现增加趋势, 而 2010-2016 年径流量呈减小趋势, 与 2000-2009 年相比, 2010-2016 年径流量减少了 42% (减少径流量为 $0.88 \times 108 \text{m}^3$)。

径流量的年内分配不均匀, 径流主要集中于汛期 (5-10 月), 约占全年总量的 70% 以上。据统计, 各年代径流变化趋势较为一致, 1-4 月份, 各年代际的月径流量呈现出减小的趋势, 之后径流量显著增加, 且在 8-9 月份达最大值, 之后又逐渐减小。然而, 各年代月径流量的峰值出现时间有所变动, 上世纪 80 年代月径流量的最大值、最小值分别出现在 9 月份、5 月份, 而 1990-1999 年和 2000-2009 年的最大值出现在 8、9 月份, 而最小值分别则出现于 4 月份, 表明最小值出现时间提前了一个月。此外, 2010-2016 年, 月径流量最小值出现于 3 月份, 最大值出现于 7 月份。径流年内分配不均, 月径流量的最值出现时间逐渐提前, 推测可能与气温升高引起的消融期提前有关系。

1979-2016 年丽江市年气温呈现上升的趋势, 变化倾向率为 $0.35^\circ\text{C}/10\text{a}$, 气温的突变发生在 2010 年, 2010 年以后表现出更为显著的升温趋势。丽江市年降水量呈现微弱的减小趋势。相关分析表明, 气温和降水量对径流的影响均较为显著, 其中, 降水量对径流的影响主要体现在雨季, 而气温对径流的影响主要体现在消融期。气温升高导致冰川累

积负物质平衡, 进而引起冰雪融水变化, 是漾弓江流域 2000-2009 年地表径流变化的主要原因。

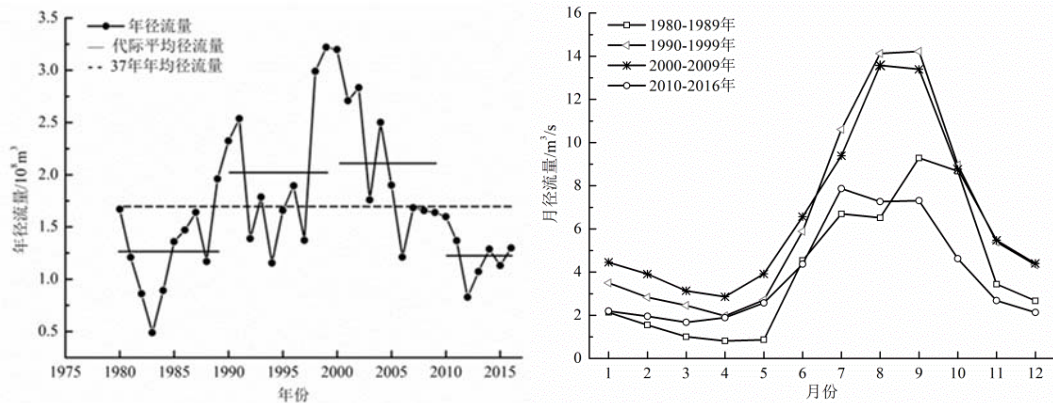


图 3.3.13 玉龙雪山漾弓江流域径流变化

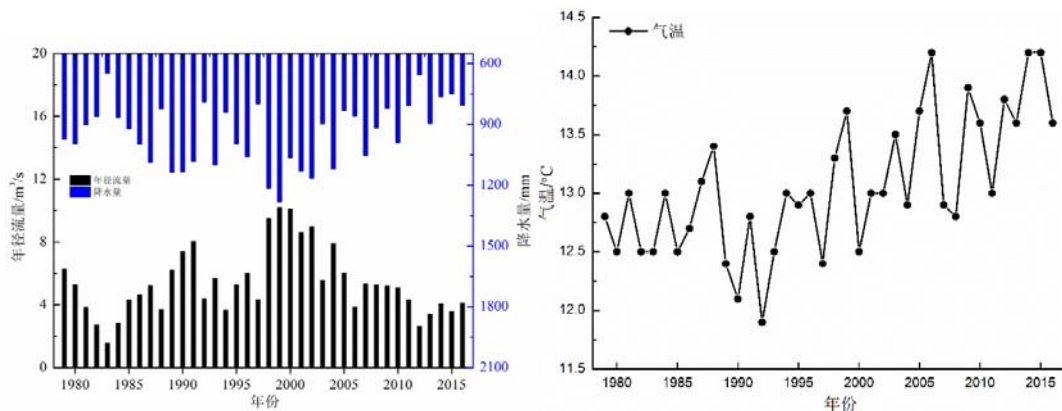


图 3.3.14 1979-2016 年漾弓江流域年径流量与降水量变化趋势

代表性季风海洋型冰川区吸光性物质研究进展:

1) 海洋性冰川区吸光性碳质气溶胶特征: 冰川区吸光性碳质气溶胶的沉降能够改变冰川表面的能量平衡。玉龙雪山冰川区和雪山底部甘海子盆观测站点连续两年(2014 年 12 月-2016 年 12 月)的气溶胶分析表明, 气溶胶中元素碳(EC)和有机碳(OC)的平均含量分别是 1.51 ± 0.93 和 $2.57 \pm 1.32 \text{ g m}^{-3}$ 。虽然年平均 OC/EC 值是 2.45 ± 1.96 , 但玉龙雪山高海拔地区(大约 5000 米)气溶胶中季风期后 EC 的月均值甚至高于 OC 的含量。强烈的光化学反应和局地旅游活动是导致玉龙雪山地区季风期较高的 OC/EC 值的主要原因。用基于过滤方法的热-光碳分析仪测得, 玉龙雪山的样品中波长 632 nm 处元素碳的质量吸收系数(MAC)是 $6.82 \pm 0.73 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$, 与其它相关研究的结果相当。元素碳 MAE 较强的季节和空间的差异很大程度上与气溶胶样品中 OC 的含量高低有关。用嵌套有黑碳源标记技术的全球气溶胶-气候模型进行了玉龙雪山地区气溶胶的源解析。结果表明, 包括局地源排放在内的东亚排放, 对年均玉龙雪山近地表气溶胶中黑碳含量的贡献占主导因素。区域源解析也具有强烈的季节变化, 南亚污染物排放对玉龙雪山地

区季风期前气溶胶中黑碳的贡献较大,而东亚污染物排放主导着季风期和季风期后气溶胶中黑碳的含量。这项研究对准确评估冰川区大气中碳质气溶胶对冰川消融和水资源供给的影响具有较大的意义。

2) 光谱反照率和吸光性杂质的辐射强迫: 利用 SNICAR 模型分析了光谱反照率,并检验了雪冰反照率对不同 BC 浓度和粒雪有效半径 (r_e) 的敏感性。在此基础上,对冰川积雪中黑碳 (BC) 的辐射强迫 (RF) 进行了估算。计算了当 BC 浓度的变化范围从 0 到 2000 ng g^{-1} 和三个不同的粒雪有效粒径情景下,黑碳导致的平均积雪反照率。如 Warren 和 Wiscombe (1985)所述,积雪中吸光性杂质的有效粒径越大,吸光性杂质引起更大的积雪表面反照率的降低。

玉龙雪山积雪中 BC 的浓度为 1200 ng g^{-1} ,积雪粒径为 $500 \mu\text{m}$ 时,积雪反照率比积雪的有效粒径是 $200\mu\text{m}$ 时降低 0.075。吸光性杂质在冰川表面的沉降具有明显的影响,因为洁净雪和冰的表面更容易由于吸光性杂质的沉降而变暗。可见辐射具有较大粒雪半径的在积雪中穿透的更深,因为它的消光系数较小,更重要的是,在它前进方向上的散射更强 (Flanner et al., 2007)。在冰川上穿过吸光性杂质更大的光学厚度,光量子很有可能被雪冰中具有较大粒径的(均匀散布的)杂质所吸收。粒径大小的敏感性突出了积雪老化处理和真实有效粒径的重要性,它们在很小的空间尺度上具有显著的变化 (Painter et al., 2003)。太阳高度角 86.33° 有效粒径 $850\mu\text{m}$ 时洁净雪表面的光谱反照率是 0.78。如果黑碳是雪冰中唯一的杂质且浓度是 161.3 ng g^{-1} 有效粒径为 $850\mu\text{m}$ 时,雪冰表面的光谱反照率是 0.73,相应的辐射强迫是 54.19 W m^{-2} ;如果积雪中黑碳的浓度是 281 和 894.5 ng g^{-1} ,光谱反照率分别是 0.71 和 0.66,相应的辐射强迫分别是 76.38 和 146.96 W m^{-2} 。这些辐射强迫的计算是基于黑碳是雪冰中唯一的吸光性杂质,实际的光谱反照率降低程度和辐射强迫更大。然而,如果粉尘是雪冰中唯一的杂质,当浓度是 51.37 ppm 时,粒雪粒径 $850\mu\text{m}$ 的情境下,光谱反照率减少 0.03 和辐射强迫是 42.76 W m^{-2} 。对于雪冰中黑碳和粉尘是混合杂质 ($850 \text{ ng g}^{-1} + 12.37 \text{ ppm}$) 的情境下,雪冰表面的光谱反照率是 0.65 和辐射强迫 (145.23 W m^{-2}) 是粉尘仅是雪冰中杂质的情境时的三倍。因此,黑碳在雪冰中被认为是控制雪冰反照率和辐射强迫的积极因素;然而,我们的研究显示,粉尘在影响雪冰反照率时扮演着轻微的角色。当粉尘的浓度高达到一定程度时,在影响冰川表面反照率降低中扮演着积极的角色 (Kaspari et al., 2014)。

冰川旅游研究: 选择中国典型冰川旅游目的地-达古冰川景区作为典型区域,借助问卷和抽样调查,系统分析了达古冰川景区客源人口学特征及其时空变化特征,进而揭示了景区客源时空结构影响因素。在此基础上,提出了达古冰川景区客源时空结构优化方

案。结果显示：景区旅游仍处于发展阶段；景区游客量季节性波动明显，夏秋季游客量相对较多；景区客源市场分布集中，以川渝两省近域客源为主，缺乏中远域客源，且客源市场年际变动较小，核心市场不变，重要市场数量在增加；景区主要受离客源市场距离的影响，消费者经济水平影响次之。该研究旨在了解区域冰川旅游现状，优化客源市场结构，转变经营模式和策略，同时，可为未来冰川旅游经营管理者制定客源市场营销战略和提升冰川旅游目的地竞争力提供了理论依据。

► 祁连山站

老虎沟 12 号冰川变化研究：利用多源遥感数据、地面实测资料及历史文献数据，建立了祁连山西段大雪山地区老虎沟 12 号冰川变化序列，分析了 1957-2015 年间该条冰川末端位置、面积及体积变化特征，同时结合周边气象站资料气候变化背景，初步分析了冰川对气候变化的响应。研究结果显示自 1957 年以来，老虎沟 12 号冰川一直处于退缩状态，冰川末端总计退缩 402.96m，占冰川长度的 3.99%，冰川长度缩减为 9.7km；冰川总面积减少了 1.54km²，占总面积的 7.03%；冰川体积减少了 0.1816km³。冰川在 1957-2015 年间退缩趋势呈现出先减缓后加速的过程，而在 1980 年前后有一段短暂的稳定时期。周边气象站气温及降水资料表明，气温的升高是造成老虎沟 12 号冰川退缩的主要原因（Liu YS, Qin X, Chen JZ ,et al., 2018. Variations of Laohugou Glacier No. 12 in the western Qilian Mountains, China, from 1957 to 2015. *Journal of Mountain Science*. 15 (1): 25-32. <https://doi.org/10.1007/s11629-017-4492-y>）。

4. 植被生态系统研究

► 藏东南站

气候变暖下高山林线位置未变化的原因：低温是高海拔地区树木生长的主要限制因子，因此理论上高山林线应随气候变暖而上升。但是，全球林线调查数据显示，近一百年来只有一半的林线位置显著上升，其余林线的位置则保持相对稳定（Harsch et al., 2009）。同样的变化格局也发现在全球海拔最高的青藏高原及喜马拉雅地区林线（Liang et al., 2016）。如何解释这种气候变暖下林线位置未变化的原因是当前全球变化生态研究的热点和难点。林线上升需要林线树种的幼苗能够在林线以上成功定居。因此，林线能否上升主要取决于林线母树的种子产量和质量、种子向上传播的能力以及林线以上的种子萌发和幼苗存活。然而，气候变暖对这些幼苗定居过程的影响十分复杂并具有很大不确定性。国际上相关研究仍缺乏对林线以上幼苗定居完整过程的观测实验，因此目前仍很难解释气候变暖下林线位置相对稳定的原因。

基于藏东南色季拉山两典型树种（急尖长苞冷杉和方枝柏）林线的 10 年微气象观测数据（2006-2015）及冷杉种苗移植实验（2011-2014），并结合林线以上冷杉幼苗的分布格局及其与灌木盖度的关系，发现：1）冷杉幼苗（年龄 3-5yr，高度<10cm）分布上限可以达到林线以上 40 米左右（海拔高差），且幼苗密度与灌木盖度的相关性很弱；2）林线以上的环境并没有限制冷杉种子的萌发；3）由于频繁的生长季早期冻害事件和强烈的光照，移植到冷杉林线以上及阳坡方枝柏林内的冷杉幼苗存活率很低，而移植到冷杉林线（未出现生长季冻害事件）的幼苗存活率较高；4）10 年微气象观测数据显示，冷杉林线以上及阳坡方枝柏林内生长季早期冻害事件的频率随年平均气温的升高而增加，而冷杉林内一直没有出现生长季冻害事件。研究结果表明，气候增暖导致的生长季提前会引起生长季早期冻害事件显著增加，并在林外强烈光照下引发低温光抑制效应，最终限制了冷杉幼苗在林线以上的定居存活。这一研究发现解释了气候变暖下该地区冷杉林线种群密度增加而林线位置却相对稳定的原因，表明生长季早期冻害事件是评估气候变暖下亚高山森林脆弱性的一个重要指标。

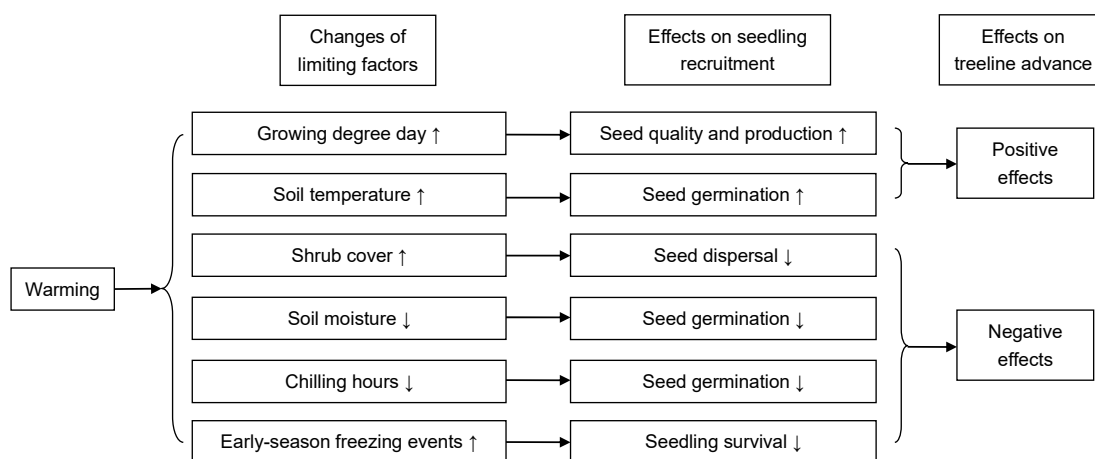


图 3.4.1 气候变暖导致的限制因子变化对幼苗定居和林线上升的影响

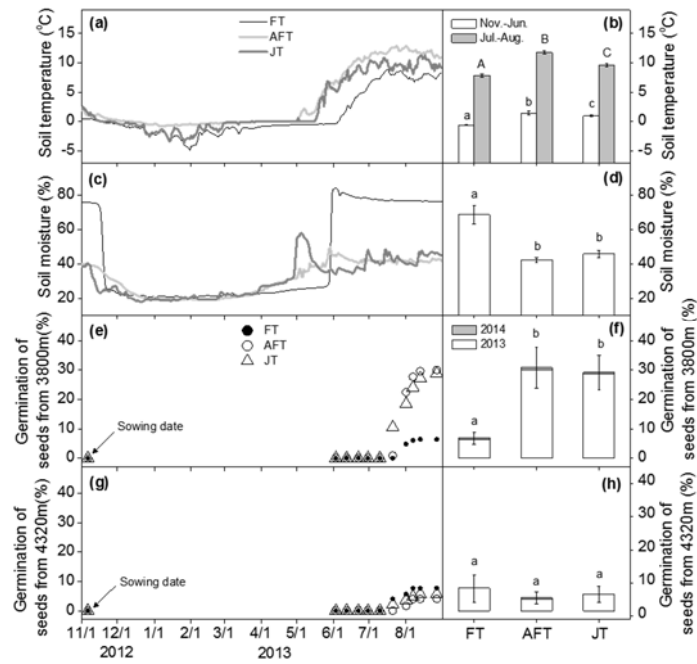


图 3.4.2 不同移植地点间土壤温度和含水量 (a & c: 2012.11-2013.8 数据, b & d: 2006-2015 平均值) 及冷杉种子 (采自分布中心 3800 m 和林线 4320 m) 萌发率 (e-h) 的差异。不同字母表示不同地点间存在显著差异 ($P < 0.05$)。FT: 冷杉林线, AFT: 冷杉林线以上, JT: 方枝柏林线。

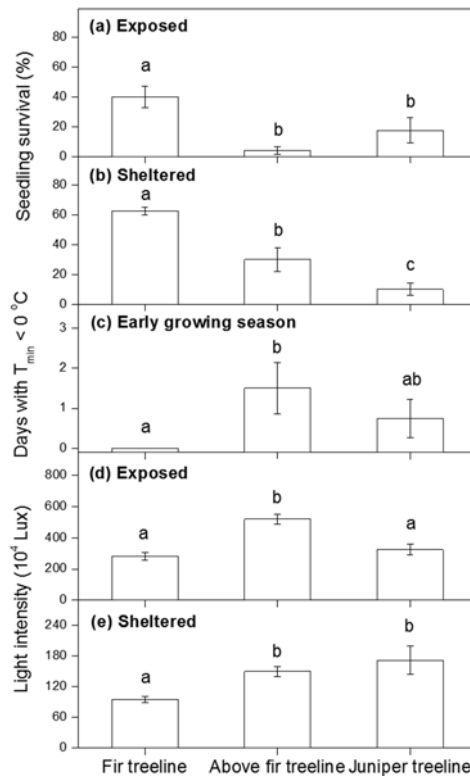


图 3.4.3 不同移植地点之间的冷杉幼苗存活率 (a 开阔地, b 遮荫)、生长季早期冻害事件频率 (c) 和光照强度 (d 开阔地, e 遮荫) 的差异。不同字母表示不同地点间存在显著差异 ($P < 0.05$)。

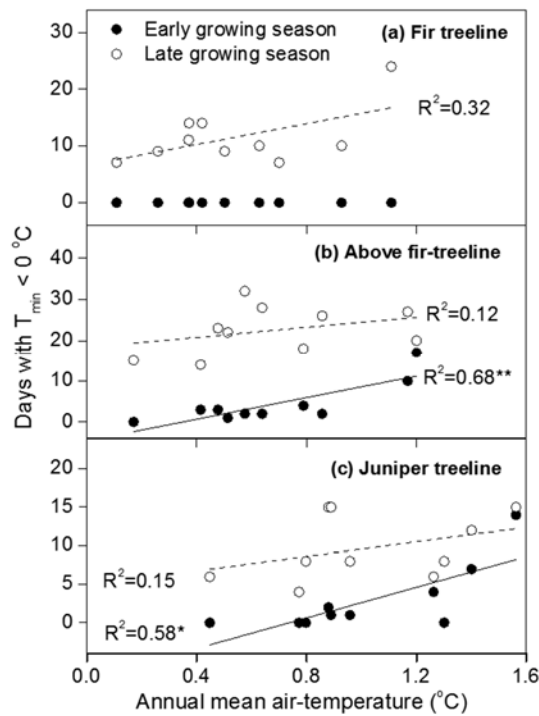


图 3.4.4 生长季早期（5-6 月）和晚期（9-10 月）的冻害事件频率与年平均气温之间的关系（a 冷杉林线，b 冷杉林线以上，c 方枝柏林线）。

遗传发育方面的不对称传粉假说证据：二型花柱（distyly）是广泛存在于被子植物至少 28 个科中的花柱多态现象，长期以来其对于植物的适应意义一直是植物进化生物学界关注的热点问题之一。达尔文曾提出，二型花柱是为了更好的实现在对称表型间的精确传粉，即不对称传粉假说（disassortative pollination hypothesis）。本实验选取中甸灯台报春(*Primula chungensis*)中花柱存在连续变异的个体，通过量化柱头上的花粉落置组成以验证该假说。我们的实验表明：随着柱头的位置越接近对应表型花药所在的位置，其能够接收到的来自于该花药的花粉显著的增加，这一结果为不对称传粉假说提供了新的更可靠的证据。



图 3.4.5 中甸灯台报春中柱头高度逐渐变异的个体

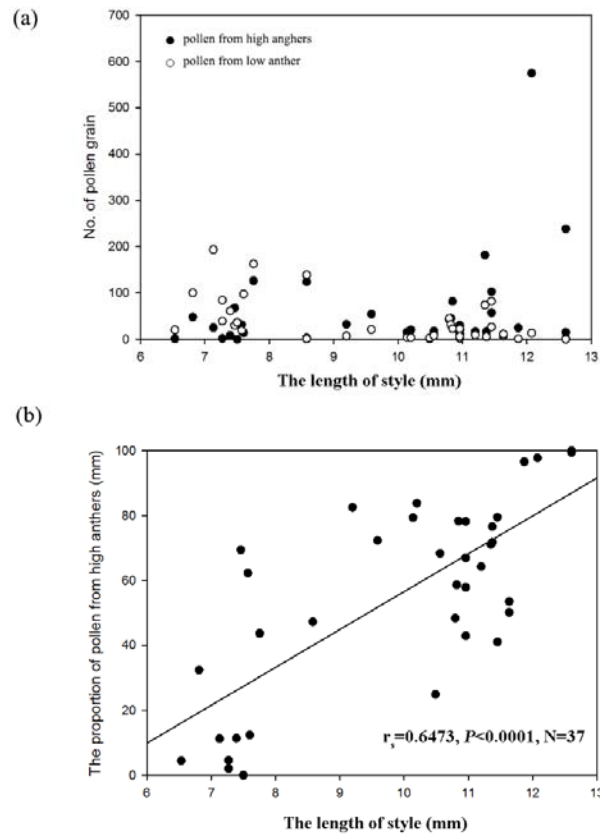


图 3.4.6 (a) 不同高度的柱头上落置的来自于高位花药和低位花药的花粉的数量；(b) 柱头高度与来自高位花药的花粉比例呈显著正相关。

➤ 海北站

物种之间的补偿作用在青藏高原草地生产力维持过程中起关键作用：本研究开展于青海省海贝高寒草甸研究定位站，通过设置增温-降水改变”控制实验，结合海北站连续 32 年的地面监测、以及青藏高原 9 个站点实验研究的 Meta 分析，探讨了气候变化对高寒草地植物群落结构和生产力的影响。研究发现，尽管过去 32 年以来海北站气候呈现暖干化的趋势，但草地生产力无显著趋势性变化。与此同时，草地物种组成却发生了明显改变，即深根系的禾草增加、浅根系的莎草减少。这种功能群组成的变化增强了植物群落对深层土壤水分的获取能力，有利于气候变化下生态系统初级生产力的稳定。气候变化控制实验进一步证明，增温和干旱处理有利于光合产物向地下分配，但对总初级生产力无显著影响。Meta 分析证实了气候变暖条件下物种组成改变在整个高原普遍存在。这些结果表明，青藏高原高寒草地生产力并不像以前认为的对气候变化极其敏感；更重要的是，高寒草地植物物种多样性在气候变化下生产力维持过程中起着关键作用。如果未来植物多样性丧失，高寒草地对气候变化的缓冲作用降低，就会威胁到生态系统的服务功能。

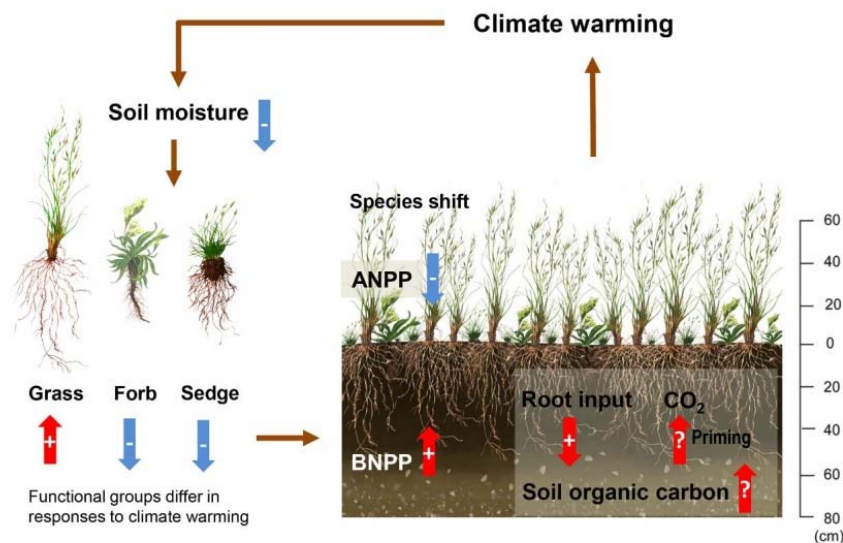


图 3.4.7 物种间补偿作用

青藏高原矮嵩草草甸地下和地上生物量分配格局及其与气象因子关系：本研究基于 2006—2015 年青海海北站 10 年生物量及气候因子监测数据，分析了青藏高原高寒矮嵩草草甸生物量的季节及年际动态，并探讨了气候因子对其影响。结果表明：1) 季节尺度上，高寒矮嵩草草甸地上生物量表现为单峰变化曲线，8 月为其峰值点，为 $(345.72 \pm 27.01) \text{ g/m}^2$ ，代表了高寒草甸的地上净初级生产力。而地下根系的现存量变化较为复杂，其中 5—7 月呈现持续上升趋势，8 月快速下降，之后 9 月份急剧，且各月份之间未达到显著水平 ($P > 0.05$)；年际尺度上，10 年间高寒矮嵩草草甸地上生物量整体呈现波动增加趋势，2014 年为其峰值点，达 $(437.12 \pm 32.01) \text{ g/m}^2$ 。地下生物量呈现波动性变化，变异较大，10 年间平均值为 $(2566.99 \pm 138.11) \text{ g/m}^2$ ；2) 高寒草甸光合产物分配主要分布在地下，80% 地下根系生物量分布于地表 0—10 cm 土层，且不同土层根系生物量占总地下生物量的比值在不同月份较为稳定。3) 气候因子中，大气相对湿度是影响高寒草甸地上生物量大小的主要因素；而气候因子对地下根系生物量的影响极为微弱。研究表明，高寒嵩草草甸对环境变化具有较高的自我调节能力，且高寒草甸的演化受制于人类干扰，而非气候变化。

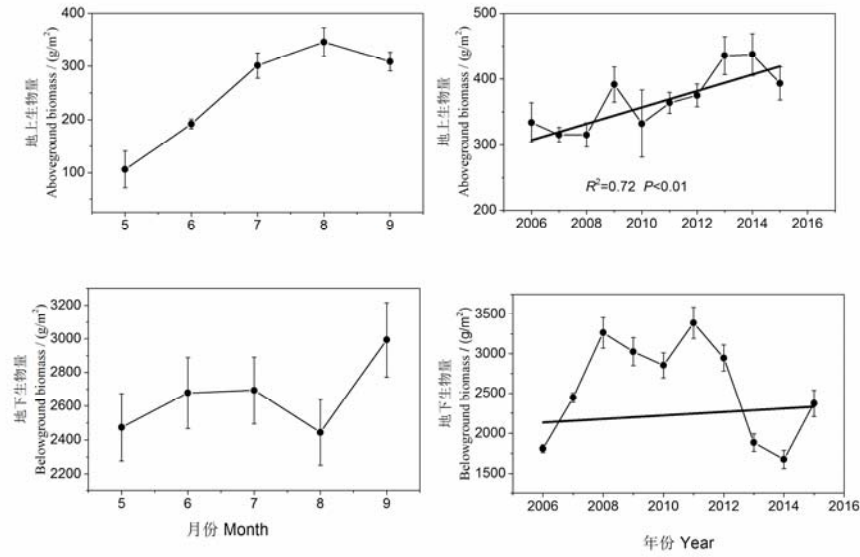


图 3.4.8 高寒矮蒿草甸地上和地下根系现存量季节和年际变异

净辐射而非土壤湿度影响了青藏高原高寒草甸蒸发散：本研究基于海北站 2014~2017 年气象与水分观测数据，海北站地区高寒草甸年蒸发散水量为 598.0 mm，大于年平均降水量 472.8mm，草地蒸散包括植被蒸腾作用和土壤的蒸发作用，其中植被蒸腾 379.4 mm 大于土壤蒸发 175.3 mm，可见高寒草甸蒸散发中植被蒸腾作用占较大比例，结合环境要素：土壤湿度、土壤温度、风速、饱和水汽大气压、净辐射进行结构方程分析，结果显示植被蒸腾主要受控于净辐射，而土壤蒸发因素较为复杂。

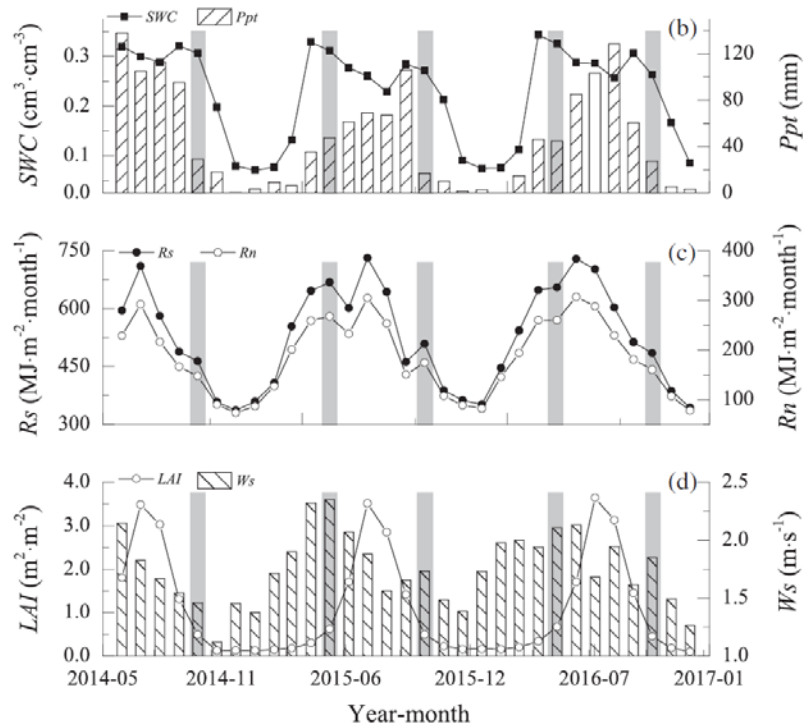


图 3.4.9 高寒草甸环境要素的年季变化特征

➤ 贡嘎山站

山地森林垂直带谱蒸散发的时空格局：基于组分分析法观测了贡嘎山阔叶林、针阔混交林和针叶林湿季的蒸散发分别为 632.2 mm, 655.35 mm 和 607.15 mm; 3 种森林类型中, 树木蒸腾对蒸散发的贡献率最高 (47.5%~54.45), 其次为林冠截留蒸发; 林冠截留蒸发对总蒸散发的贡献随海拔的升高而升高; 而树木蒸腾对总蒸散发的贡献随海拔的升高而降低。基于涡度协方差法分析发现, 3 种森林类型中, 湿季 (5-10 月) 的蒸散发占年蒸散发的 63.70%~69.13%; 从蒸散发与气象因子相关分析的结果来看, 能量相关的因子 (如温度、净辐射等) 与蒸散发的相关性要高于与水分相关的因子 (如相对湿度、土壤湿度等) 的相关性, 说明在研究区, 蒸散发的变化主要受到能量的控制。

利用蒸散发非对称互补关系模型研究了贡嘎山山地垂直植被带的蒸散发, 该区海拔梯度阔叶林、针阔混交林、针叶林和灌丛带的实际蒸散发和潜在蒸散发之间具有较好的非对称性互补关系, 另外互补关系模型的关键参数 α_e 受叶面积指数影响显著, 通过建立 α_e 和叶面积指数的关系方程, 蒸散发非对称互补模型可以准确的模拟山地不同植被带的蒸散发日动态。基于贡嘎山垂直植被带通量观测的研究发现, 基于 $GPP \cdot VPD_{0.5}$ 和 ET 关系建立的 $uWUE$ 模型在低温、湿润地区的适用性一般, 进一步分析发现, $GPP \cdot R_{nn}$ 和 ET 的线性关系在该区域表现最好, 通过建立基于净辐射的 $uWUE$ 模型, 可以准确的拆分蒸散发及其组分, 为进一步研究蒸散发及其组分的生态水文作用提供了可靠的蒸散发拆分方法。成果发表在 *Water Resources Research*.

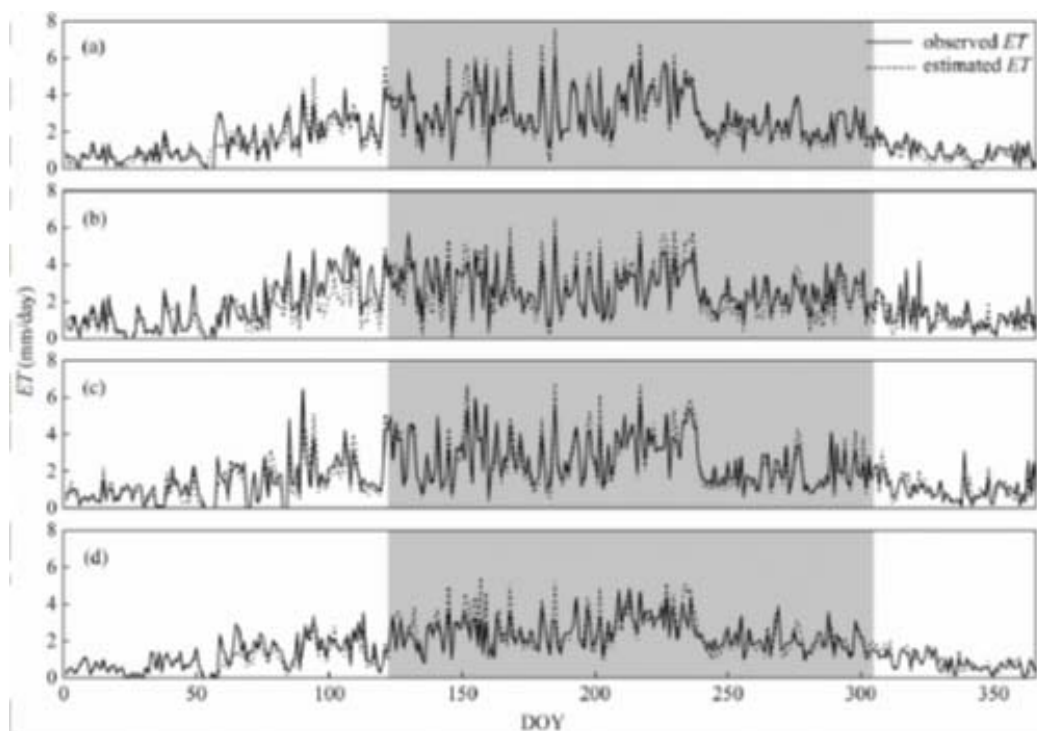


图 3.4.10 贡嘎山森林不同森林类型蒸散发

大气氮沉降增加降低了我国西南高山森林土壤碳的淋溶损失：大气活性氮沉降增加是当前及未来我国所面临的主要环境问题之一。氮沉降一方面可能通过影响陆地生态系统生产力、土壤酸性等方面对陆地生态系统功能及服务产生直接影响；另一方面氮沉降可能通过影响土壤有机质（土壤有机碳）对陆地生态系统功能及服务产生直接或间接影响。然而，目前氮沉降对陆地生态系统土壤碳的影响程度及方式仍不明确且存在争议。

王根绪团队的常瑞英副研究员依托贡嘎山亚高山针叶林长期氮沉降实验平台，并利用零负压淋溶收集器通过高频度的连续观测实验深入研究了我国西南典型亚高山峨眉冷杉林土壤淋溶碳、氮的变化规律、影响因素及对活性氮沉降增加的响应。研究表明：峨眉冷杉有机质层（O层）淋溶液的碳、氮浓度和淋失通量均高于矿质土壤层。O层与矿质层淋溶碳氮浓度具有相似的季节动态：在融雪期（4月）淋溶碳氮浓度较高，随后降低并在生长季季（6月-9月底）保持在较低水平，而10月之后碳氮浓度增加。高氮沉降（4倍自然氮沉降水平）显著降低了森林有机质层土壤淋溶碳的输出，而对矿质土层淋溶碳的作用较小；低氮（2倍自然氮沉降水平）沉降对有机质层和矿质土层淋溶碳的作用均较小。微生物学检测结果表明高氮沉降可能通过抑制有机质层分解进而降低其可溶性碳的淋溶损失，而并不是通过促进土壤对淋溶碳的吸附减少淋溶损失。

此外，高氮沉降水平造成了氮素流失，但仍未改变其氮亏缺状态，表明长江上流亚高山森林是未来氮沉降条件的重要的汇及缓冲器，对于中下流氮素富集具有重要的调控作用。成果发表于期刊 *Soil Biology Biochemistry*。

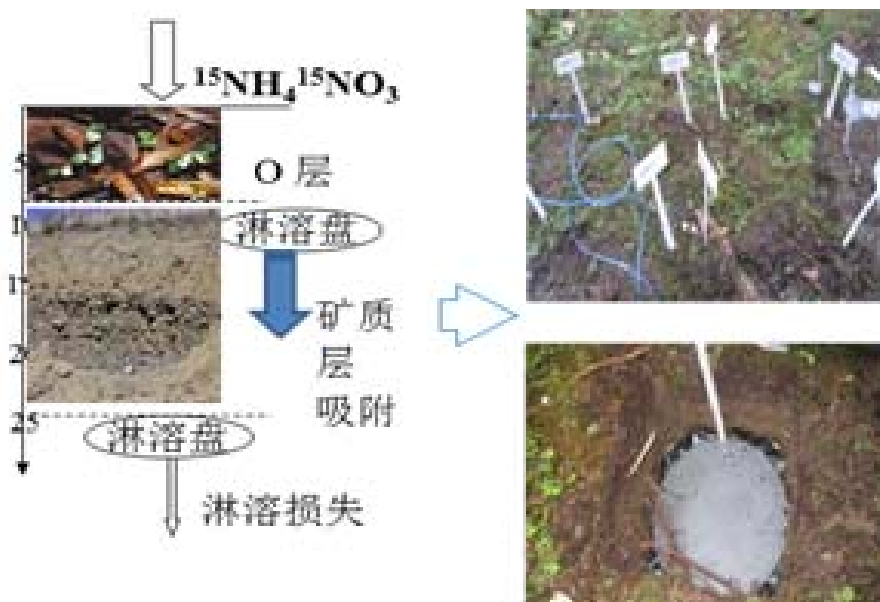


图 3.4.11 贡嘎山亚高山森林土壤碳氮淋失观测实验

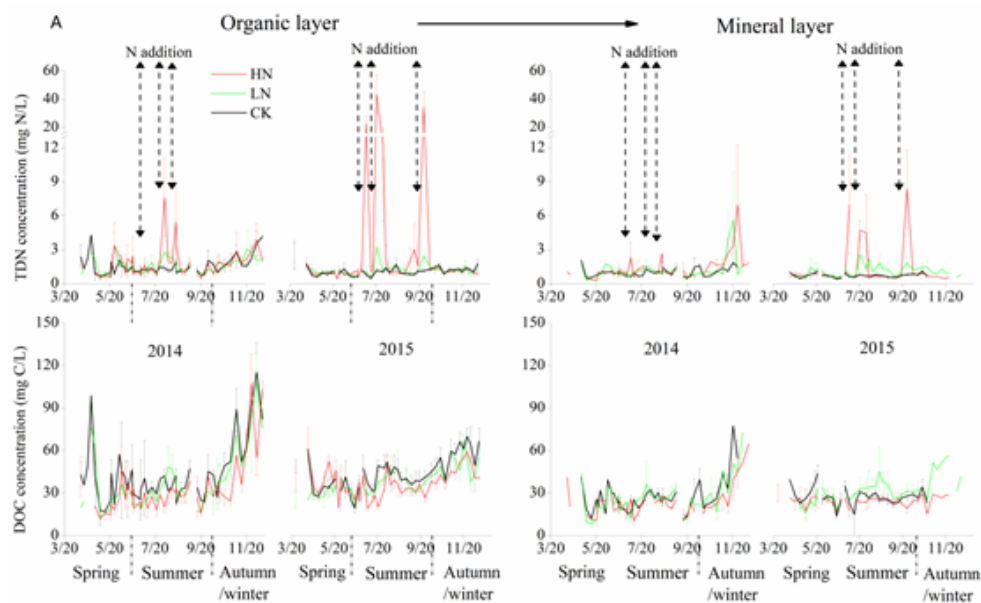


图 3.4.12 峨眉冷杉林土壤碳氮淋溶流失及氮沉降的影响

阐明了雌雄青杨响应氮和钾缺乏的分子响应机制及防御策略：植物的生理和代谢过程往往会受到钾元素缺乏的影响，雌雄青杨对钾元素缺乏的响应差异不仅体现在生理水平上，更体现在分子水平上。雌雄青杨之间的差异表达基因涉及光合作用、细胞壁合成、次级代谢、胁迫响应、基因表达调控及蛋白质合成与降解等过程。与雄株相比，青杨雌株的光合作用、转录后翻译修饰过程变化较大，而次级代谢、胁迫响应过程的变化较小。为雌雄异株植物的养分调节分子机制的研究提供借鉴。

杨柳科雌雄植物在生殖、生长及防御等方面不同的分配策略对其适应氮素缺乏环境产生影响。在雌雄青杨的根系中氮素吸收利用以及碳水化合物代谢过程的基因表达都受到了一定抑制，而与次级代谢和植物激素相关的基因表达则与性别相关。青杨雌株与雄株采取了不同的响应策略，即雌株通过增加次级代谢产物来提高自身防御能力，而雄株则是通过维持防御类基因的高表达水平提高自身的耐受性。研究为雌雄植物响应元素胁迫的分子机制研究提供了新的视角。以上成果表在 *Journal of proteomics* 和 *Physiologiplantarum* 上。

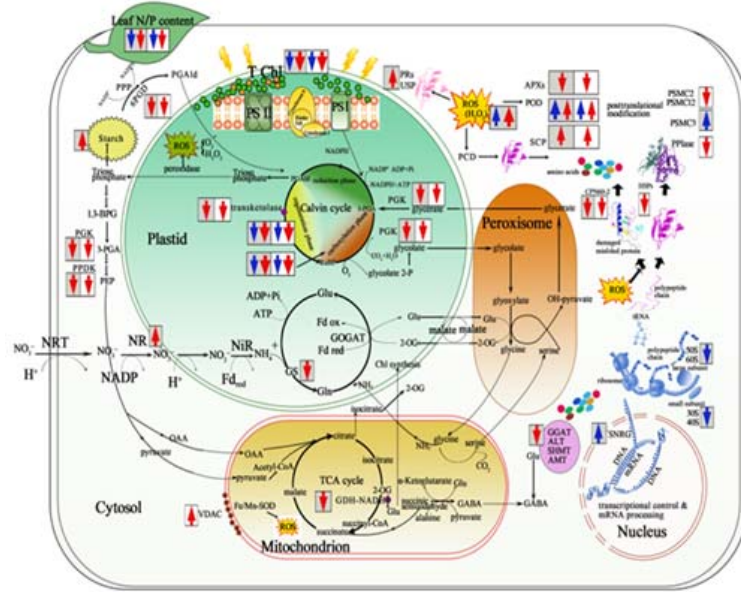


图 3.4.13 雌雄青杨叶片响应 N 和 K 缺乏的分子机理

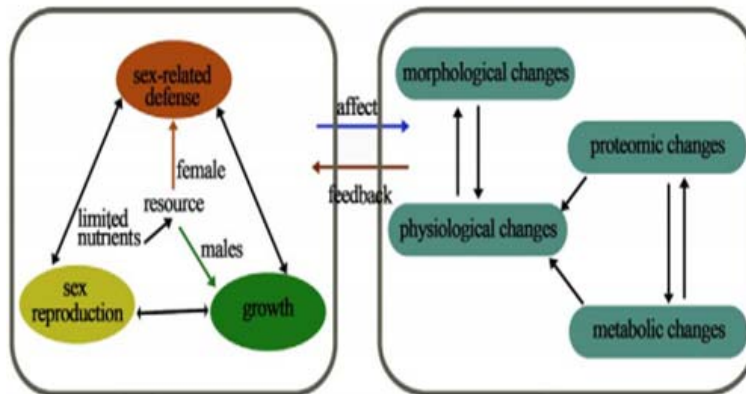


图 3.4.14 雌雄青杨繁殖、生长和防御间的权衡关系

贡嘎山海螺沟冰川退缩区生物群落演替特征、构建机制与驱动因素分析：以海螺沟冰川退缩区不同演替阶段的植被-土壤为研究对象，深入探讨了生物（植物-微生物-线虫）群落演替与土壤发育的互作关系。线虫群落结构可指示冰川退缩区土壤发育和植被演替进程，退缩 30 年，草地到森林的过渡中线虫丰富度实现跃升；其后 40-80 年为成熟阶段，具有最高的物种、食性和功能团多样性，复杂而协调的食物网结构；晚期线虫丰度下降，尤其是一些高 **c-p** 值的稀有线虫逐渐消失，成熟度及结构指数下降。生物类群间比较，植物和线虫的丰富度反应最高，细菌的丰富度反应最低，另一方面，真菌的生物量反应最大，其次是细菌、植物和线虫。大多数生物群在第 5 阶段达到最大的丰富度，在第 6 阶段达到最大生物量，然后在后期下降。

土壤性质是塑造微生物群落结构的主要因素，特别是在早期 1-5 阶段；在最后两个阶段中生物因素，越来越重要，包括植物丰富度和线虫取食，最终控制真菌群落的周转。细菌群落构建中表现为更紧凑的拓扑结构表现为趋同进化，从而支持决定论，而真菌群

落更松散的聚类则说明它们更多地是由随机性过程决定的趋异进化，而线虫中两个过程作用强度类似。表明中性理论和生态位理论在不同生物群落构建中分别起不同作用，明确了随机性过程和确定性过程在生物群落构建中的相对贡献。

川滇柳与冬瓜杨间的相互关系随土壤龄级出现由互惠到竞争的转变，N 缺乏时川滇柳占据优势，而施 N 后发生逆转冬瓜杨占优，施 P 能调控云杉和冷杉的竞争关系，冷杉的生长受到云杉的促进，优势进一步加强，而云杉的相对竞争指数也有所增加。表明土壤养分有效性影响的植物种间种内互作关系是植被演替的关键，且早晚期分别主要受氮和磷的调控。群落水平上植物群落叶片 N:P 比从演替初期的 8.2 到演替后期的 20.1，也暗示演替过程中植物群落由 N 限制逐渐转变 P 限制。微生物酶活性生物化学计量也表明微生物早期受 C 和 N 限制，后期受 P 限制。这是第一次尝试解析冰川退缩区土壤-植物-微生物-线虫的关系。以上成果发表在 *Plant and Soil* 以及 *Soil Biology & Biochemistry* 上。

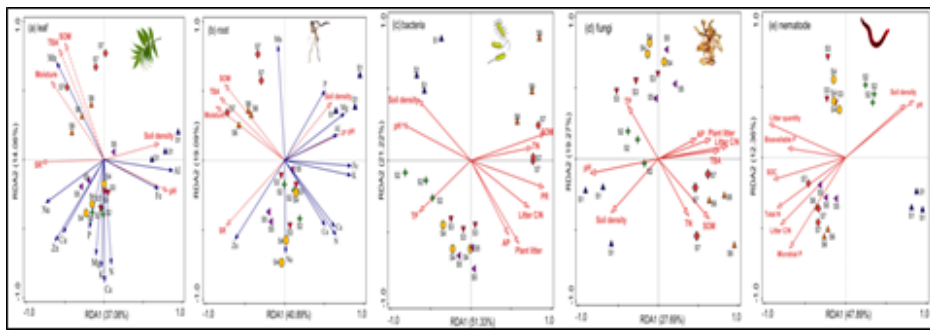


图 3.4.15 环境因素对植物（根和叶）-微生物（细菌和真菌）-线虫的约束性

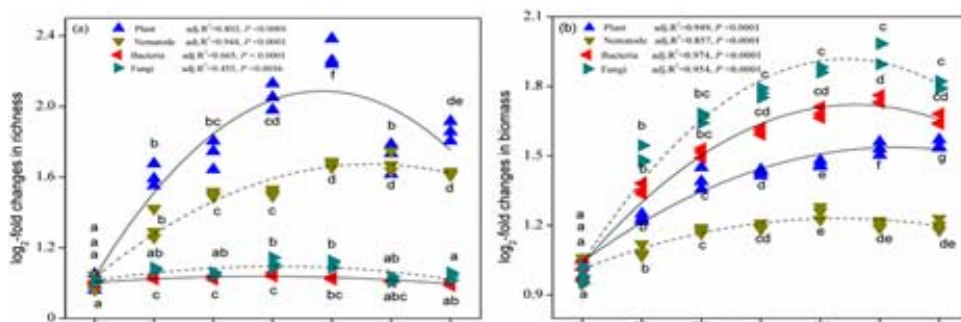


图 3.4.16 植物-微生物-线虫的多样性和生物量对演替进程的不同响应

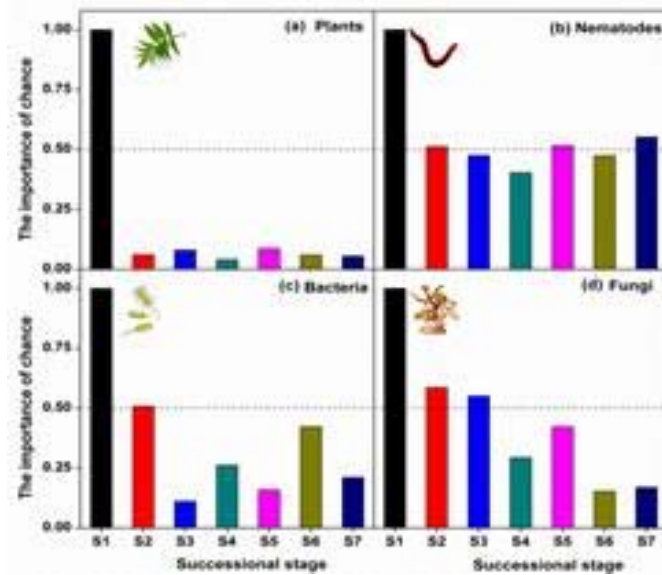


图 3.4.17 随机性过程在植物-微生物-线虫群落构建的贡献

➤ 拉萨站

量化识别藏北草地围栏/放牧/社会经济结构对草地生产力的影响（研究团队：张宪洲、李猛、曹亚楠、武俊喜、张燕杰）：利用长期野外观测所获得的生物量数据，与遥感 NDVI 数据、气候数据分别进行拟合，获得了藏北地区围栏内外的生物量模型。在此基础上构建了藏北地区草地生产力监测体系，分析西藏草地生态系统产草量的时空格局分布及变化趋势。我们认为围栏内是只受气候影响的生物量，而围栏外是受气候和人类活动共同影响下的生物量。通过对比，可以提取出单纯受人类活动影响的生物量，即人类消耗生物量。通过逐年分析气候驱动生物量与人类消耗生物量的变化趋势，结合调查区牲畜数量与草地面积状况，计算高寒草地理论载畜量和实际载畜量，动态评估了西藏草地的草畜平衡时空格局动态变化。同时依据西藏的社会经济统计数据，获得了不同年份青藏高原的经济结构对草地地上生产力的影响。

传统方法采用固定的参数，忽略了非生物因素的影响，也忽略了牲畜对环境的适应性，存在一定的缺陷。传统方法得到结果来看，一些县域的载畜压力仍然严重，为了达到传统方法的合理载畜量，需要减少这些县域大量的牲畜数量，可行性差（经济补偿金额巨大、牧民的意愿等）。而且通过分析藏北草地生物量影响因子，发现气候条件仍是主导因子。放牧活动虽然对草地造成一些影响，但是并未超过草地的承载能力。气候条件好的年份，即使牲畜数量上升，草地生产力也仍呈恢复状态。所以传统方法在评估草畜平衡方面存在一些缺陷。但是其保守的放牧策略，对当地生态保护的仍旧有一定的参考作用。而动态方法基于大量的野外调查数据与遥感数据相结合，对藏北高原 AGB 进行动态监测。在此基础上，结合当地的气候条件和实际放牧情况，对草地状况进行分析，

动态得评估当地的草畜平衡状况。能够以较少的牲畜数量调节, 实现草地的可持续利用, 为放牧管理提供科学的参考和依据。(Zhang Y, Pan Y, Zhang X, et al. Patterns and dynamics of the human appropriation of net primary production and its components in Tibet[J]. Journal of environmental management, 2018, 210: 280-289.

Yanjie Zhang, La Duo, Youzhi Pang, Vivian A. Felde, Hilary H. Birks, H. John B. Birks, 2018. Modern pollen assemblages and their relationships to vegetation and climate in the Lhasa Valley, Tibetan Plateau, China. Quaternary International. 2018(467): 210-221.)

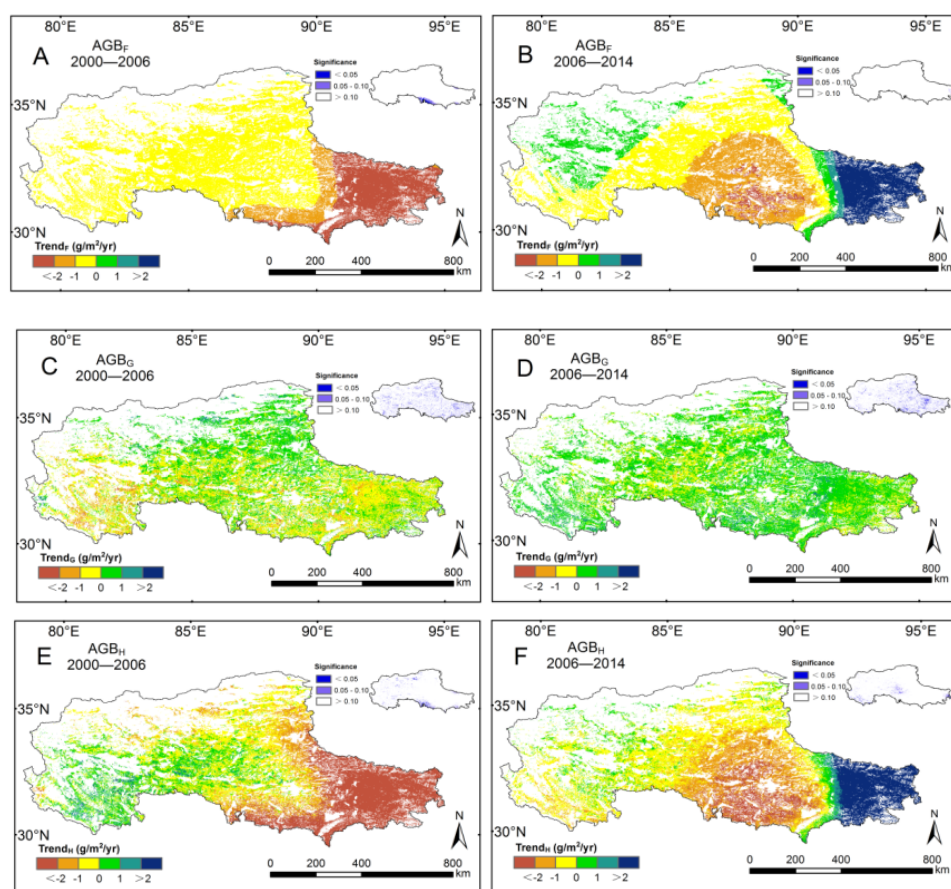


图 3.4.18 藏北地区生物量变化趋势的空间分布。A、C、E 分别为 2000-2006 年间围栏内、围栏外和人类活动消耗生物量变化趋势的空间分布 ($\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{yr}$), B、D、F 分布为 2006-2014 年围栏内、围栏外和人类活动消耗生物量变化趋势的空间分布 ($\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{yr}$)。

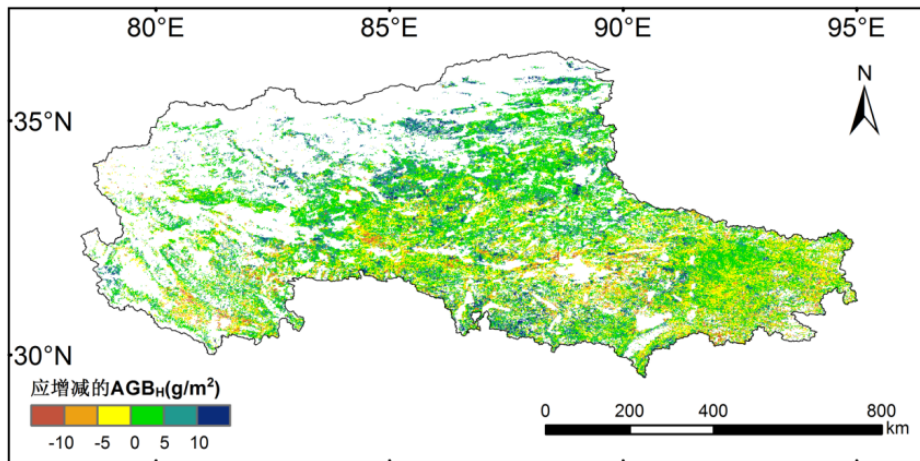


图 3.4.19 2000-2014 年间藏北地区象元尺度草畜平衡状况

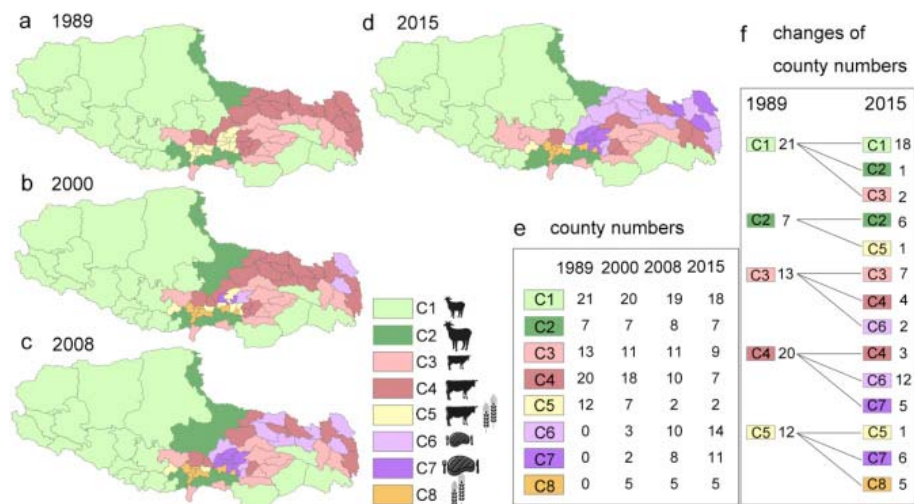


图 3.4.20 1989 年 (a) 中人类活动对初级净生产 (HANPP) 的影响的主要产业结构变化; (b) 2000 年中人类活动占初级净生产 (HANPP) 的结构变化; (c) 2008 年中人类活动占初级净生产 (HANPP) 的结构变化; (d) 2015 年中人类活动占初级净生产 (HANPP) 的结构变化; (e) 每年为每个不同产业结构下组提供的县号; (f) 1989 年至 2015 年期间每个产业结构的县号变化。符号表示每组的主要成分, 符号大小反映了数值的大小。

高寒生态系统对气候变暖与氮沉降的响应 (研究团队成员: 石培礼、宗宁、段呈、耿守保、柴曦、郑莉莉、何永涛): 气候变暖与氮沉降对高寒生态系统的影响主要针对以下三个问题开展: 气候变暖与氮沉降如何影响养分可利用性? 而小气候及养分可利用性的改变如何影响光合产物的分配? 并如何进一步改变生态系统碳排放? 基于 2010 年开始的模拟气候变暖-氮沉降试验研究发现, 增温处理下养分氮含量显著降低, 并导致叶片养分回收效率显著提高, 所以冬季增温引起的土壤养分含量变化有滞后效应, 会影响后续生长季的各个生态过程。从年际和日尺度开展的研究研究发现, 在年际尺度上增温显著降低地上生产, 而把更多的生物量分配到地下; 同时利用同位素测定了日尺度光合产物的分配, 发现增温处理减少了植物新近光合产物向茎叶的分配, 而增加了植物新合成

碳向根系的分配，佐证了年际尺度的结果。进一步分析发现，增温导致的表层土壤含水量降低是植物向根系分配更多碳的主要原因。在没有养分添加情况下，增温显著降低碳排放。通过结构方程模型的分析发现，对于碳排放的影响，增温的间接作用比增温本身影响更大，增温对土壤含水量的降低远大于温度升高的影响。

本研究系统量化了气候变暖-氮沉降对高寒生态系统的影响。以往的研究主要集中在全年增温的影响，但研究发现青藏高原的增温具有季节非平衡性，冬季升温幅度显著高于全年和夏季升温幅度。本研究首次研究了季节非对称增温对高寒生态系统的研究，具有重要的现实意义，对预测高寒生态系统对气候变化的响应具有重要的意义。

西藏脱贫评估与乡村振兴规划（研究团队成员：余成群、沈振西、钟志明、孙维、武俊喜、付刚、李少伟）：按照《中共中央 国务院关于打赢脱贫攻坚战的决定》精神，中共中央办公厅、国务院办公厅下发了《省级党委和政府扶贫开发工作成效考核办法》（下称《考核办法》）、《中共中央办公厅 国务院办公厅关于建立贫困退出机制的意见》，国务院扶贫办印发了《贫困县退出专项评估检查实施办法（试行）》（下称《实施办法》）。根据区脱贫攻坚指挥部决定委托本研究团队作为第三方进行西藏脱贫攻坚评估。团队成员严格执行国家评估办法，深入各县进行培训、座谈和入村到户调查，数据整理等，克服种种困难，目前已完成西藏 23 个县的脱贫评估工作。取得了优异的成绩，并得到了国家和西藏有关部门的认可。

根据《中共中央、国务院关于实施乡村振兴战略的意见》、《中共西藏自治区委员会、西藏自治区人民政府关于实施以“神圣国土守护者 幸福家园建设者”为主题的乡村振兴战略的意见》《西藏自治区乡村振兴战略总体规划（2018-2022）》、《拉萨市乡村振兴战略总体实施方案（2018-2020）》，结合当雄县、达孜区和柳梧新区的实际，编制区乡村振兴战略实施规划。通过到县区各村的调研和资料收集，目前，已完成规划的编写工作。

脱贫评估工作的顺利完成，评估报告得到了西藏政府的高度肯定，并未西藏脱贫攻坚工作提出了建设性的建议，有利于西藏贫困户持续增收。乡村振兴规划为地方政府乡村振兴的健康发展奠定良好的基础。（支持性成果：2017 年贫困县退出专项评估检查报告(西藏)，2018；国家精准扶贫工作成效第三方评估报告(西藏)，2018；西藏自治区空港新区和柳梧新区脱贫攻坚第三方评估报告，2018；山南市贡嘎县脱贫攻坚第三方评估报告，2018；山南市隆子县脱贫攻坚第三方评估报告，2018；西藏自治区空港新区和柳梧新区脱贫攻坚 第三方评估报告，2018；西藏自治区 2018 年脱贫攻坚第三方评估报告，2018；当雄县乡村振兴战略规划；达孜区乡村振兴战略规划；柳梧新区乡村振兴战略规划。）

➤ 三江源站

利用季节性的牧草供需平衡实现青藏高原草地可持续管理：为了减轻草原退化对青藏高原的影响，近几十年来，中国一直在实施大规模的保护计划，并投入了大约 420 亿元人民币（70 亿美元）。然而，这些方案面临着重大挑战，涉及生态功能、牲畜生产和牧民收入之间的权衡。现有的科学评估，以及技术和政策，还没有完全抓住青藏高原草地管理所面临的复杂的生态、社会和经济挑战。青藏高原牧区畜牧业生产的特点是畜牧业季节性养分需求与牧草生产在质量和数量上存在不平衡，迫使牧民长期大量饲养牲畜，导致过度放牧。为了解决这些问题，应该提出一套完整的农畜一体化系统，以提高畜牧生产效率，保护天然草地，并为青藏高原建立可持续的系统。

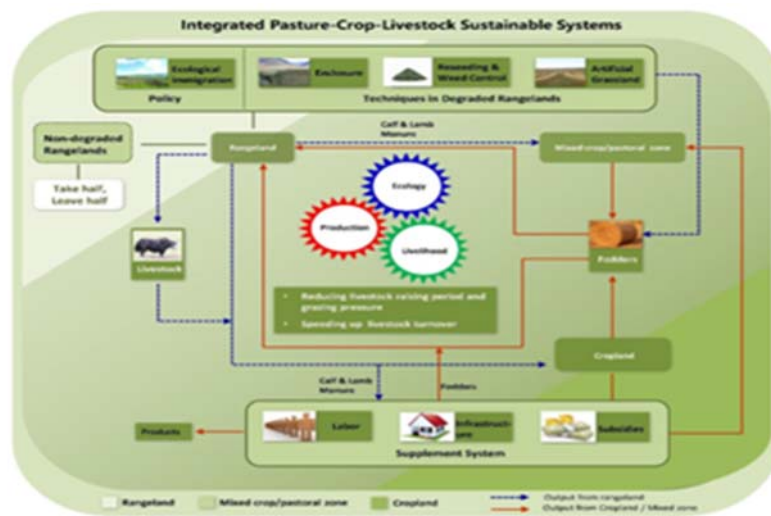


图 3.4.21 青藏高原典型地区天然草地、农牧混交地、农牧一体生产系统的功能 (Zhao Xinquan, et al. Using balance of seasonal herbage supply and demand to inform sustainable grassland management on the Qinghai-Tibetan Plateau. Frontiers of Agricultural Science and Engineering, 2018,5(1):1-8)

近 40 年三江源地区土地利用变化动态分析：针对三江源草地退化、水土流失及生态环境恶化等问题，根据三江源 1980-2015 年七期 1:10 万土地利用数据集，运用 Arcgis10.0 空间统计分析工具，定性与定量相结合的方法分析了该区土地利用时空动态变化及未来变化趋势，结果如下：1)研究期土地利用变化显著，分为三个时期：前 15 年（1980-1995 年）草地退化，中间 5 年（1995-2000 年），土地利用变化缓慢，后 15 年（2000-2015 年）退化草地恢复。2)从土地利用结构看，1980-2015 年，低、高覆盖度草地、水域、建设用地波动上升，未利用地明显减少，减少了 17.61%，中覆盖度草地和林地基本不变，草地总面积增加了 13.45%，主要由未利用土地转化而来。3)从土地利用类型转化看，以低中高覆盖度草地、未利用土地与水域之间的转化为主。4)CA-Markov 模型预测结果可知：水域基本保持不变，高、低覆盖度草地、未利用土地、耕地和建设用地面积不断增加，林地面积减少。

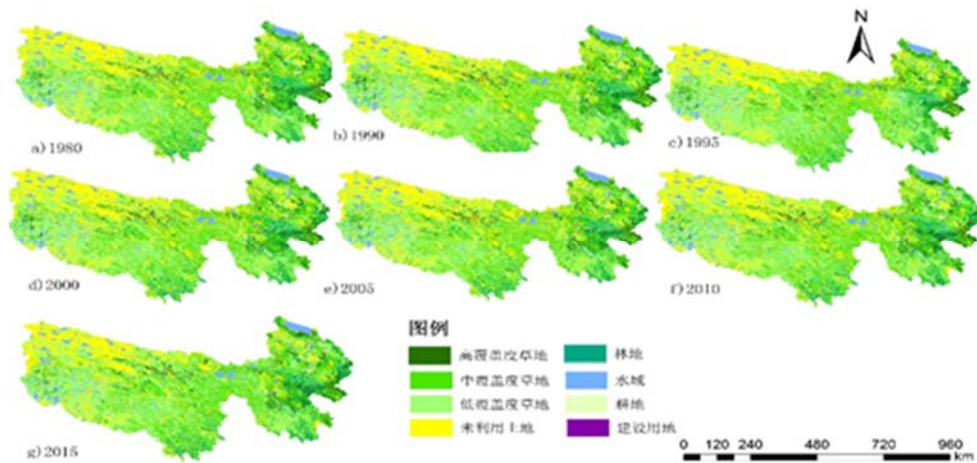


图 3.4.22 1980-2015 年三江源地区土地利用类型空间分布图

三江源土地利用变化预测:以 1980-2015 年为基础,以 2015 年为起始状态预测 2030 年土地利用变化空间分布,与 2015 年土地利用面积相比,高、低覆盖度草地、未利用土地、耕地和建设用地面积都在不同程度的增加,其中高覆盖度草地增加幅度最大,由 2015 年 22018.17 km² 增加到 29226.67 km²,这种变化趋势与退耕还草政策及三江源畜牧业发展的政策导向有极其紧密的关系;水域面积基本没变,与草地的增长有一定的关系,因为草地增长能有效减少水土流失,提高草地生态系统水源涵养功能,水体面积增长同样说明土地资源得到合理利用,生态环境逐渐改善。建设用地随着城镇化的加速,面积在不断增大;中覆盖度草地与林地呈降低趋势,基本都转为高覆盖度草地。

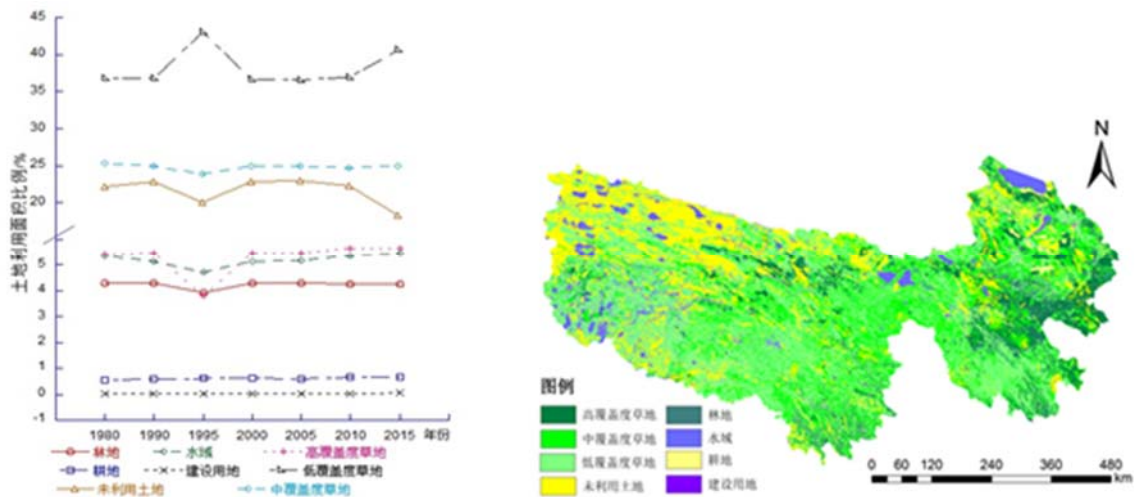


图 3.4.23 1980-2015 年三江源土地利用覆盖变化和 2030 年三江源土地利用类型预测结果

(许茜等. 近 40a 三江源地区土地利用变化动态分析及预测. 干旱区研究. 2018, 35(3): 695-704)

青藏高原鼠兔扩散后的行为及繁殖适应性研究:扩散是动物种群和进化生态学中的一个重要过程,它被认为是个性依赖的。扩散的适应性后果很重要。然而,它们很难在野生种群中进行测量。我们通过标记-再捕获实验、行为测试和父代微卫星分析,连续两

年调查了高原鼠兔种群的行为和生殖适应性。研究结果显示,大约 53.8%的雄性和 16.7%的雌性分别扩散至距离出生地 40.3 米和 28.2 米的地方。留恋原栖息地的个体的攻击性(攻击频率和持续时间)明显高于分散型个体,但在勇敢性上没有显著差异。无论雄性还是雌性,留恋原有栖息地的鼠兔的后代数量均明显高于扩散型鼠兔。结果表明,高原鼠兔可能发生近交。我们的研究结果强调了将行为、生态和遗传分析结合起来探索扩散机制的重要性。研究结果还表明,个性可能在生活史中扮演重要角色。

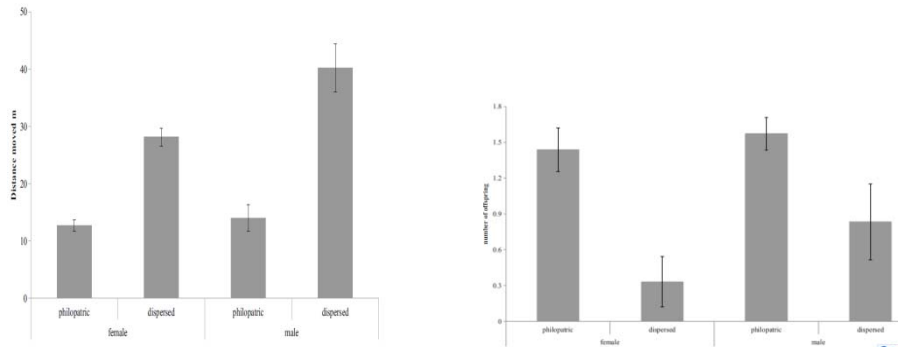


图 3.4.24 雌性和雄性鼠兔的扩散距离(左); 留恋原栖息地鼠兔与扩散型鼠兔的后代数量(右)

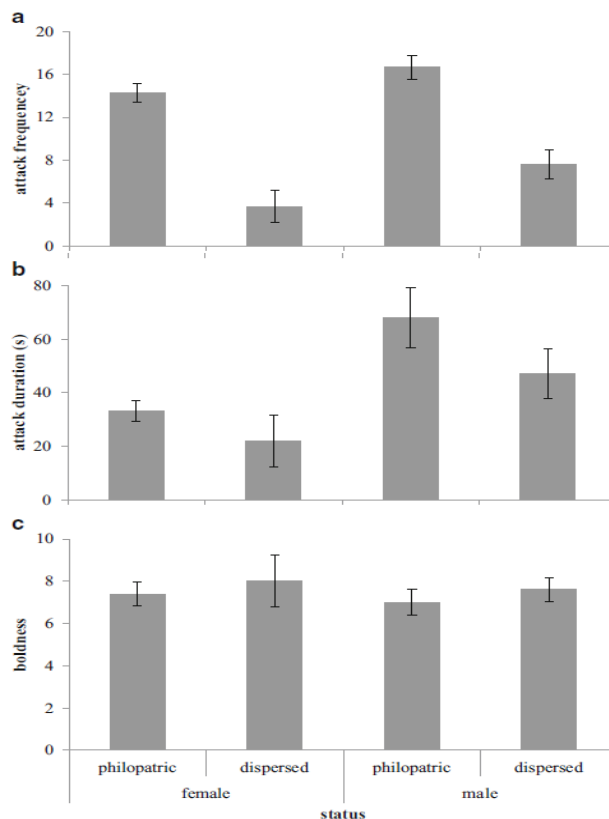


图 3.4.25 玛沁原有栖息地鼠兔及扩散型鼠兔的攻击性、持续时间及勇敢性

(Qu Jiapeng, et al. Behaviour and reproductive fitness of postdispersal in plateau pikas (*Ochotona curzoniae*) on the Tibetan Plateau. MAMMAL RESEARCH, 2018, 63(2): 151-159)

➤ 申扎站

围栏边界遥感提取的方法：基于 2016 年 7 月、8 月份的 GF2 遥感图像，针对围栏内为草甸而围栏外草地、以及围栏内外均为草甸这两种情况，进行了围栏边界遥感提取的方法探索。针对围栏内为草甸围栏外草地的情况，采用基于 NDVI/EVI 值的分割方法，取得的围栏边界效果较高，能准确提取出围栏的边缘信息，进而结合行政边界数据则可以进一步统计出围栏的位置、面积等信息。针对围栏内外均为草甸的情况，本研究采用面向对象分割方法，综合考虑了植被的 RVI 信息，通过多尺度面向对象分割出围栏边缘，围栏边缘的轮廓相对比较完整，没有过多的小图斑，结果相对比较理想。如果后续大范围使用该方法，可以先利用面向对象分割出图斑边界，再结合少量人工处理可达到更好效果，总体来讲是一种应对复杂情况的理想方法。

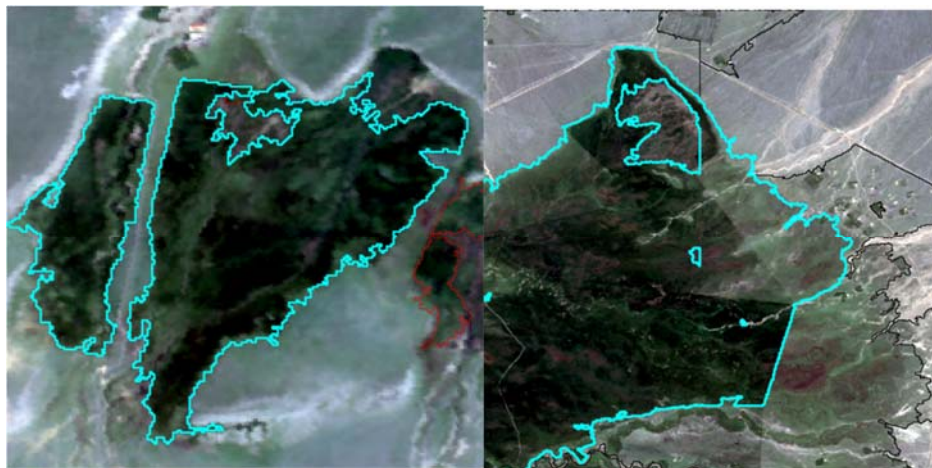


图 3.4.26 单样本提取围栏效果示例

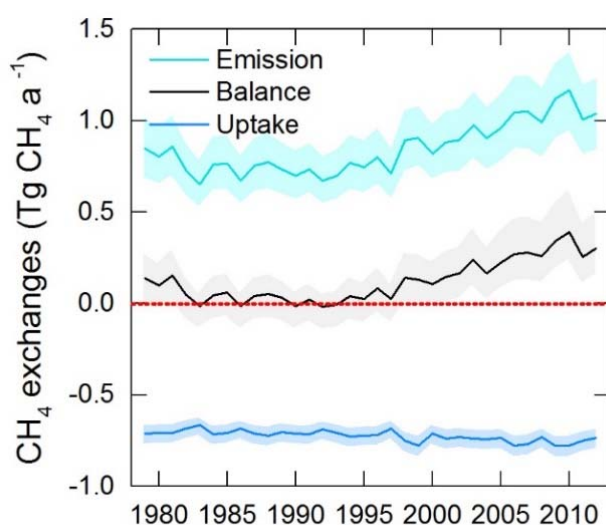


图 3.4.27 青藏高原高寒生态系统 CH₄ 源汇时间变化

砾石对高寒草原植物生物量分配和土壤养分影响进展：通过开展青藏高原高寒气候环境条件下土体砾石存在对高寒草原土壤碳氮养分和植被生长的影响研究发现，藏北高寒草原土壤砾石含量较高，0—30 cm 土层砾石体积含量约为 17.8%—30.5%，砾石空间分布与风力和水力侵蚀、土壤冻融作用以及地形坡度等因素关系密切。最大地上生物量 (921 kg ha^{-1}) 和 0—30 cm 地下根系生物量 (4460 kg ha^{-1}) 分别位于土壤砾石含量最低 (lower) 和最高 (upper) 的取样点上。土壤砾石含量与植被地上生物量显著负相关 ($R_2=0.45, P=0.010$)，而与地下生物量显著正相关 ($R_2=0.60, P=0.002$)。较高的细土含量和植物凋落物输入量以及较低的土壤碳氮径流淋失量使得砾石含量最低的取样点(lower) 具有最高的土壤有机碳 ($28.6 \text{ Mg C ha}^{-1}$) 和全氮 ($2.87 \text{ Mg N ha}^{-1}$) 储量。总体而言，高寒干旱环境下砾石存在有助于减小细土容重和改善土壤水热性质，并可能通过促进植被根系发育和抑制地上生物量生长从而改变高寒草原植被生物量分配格局。

根系特征在植物氮素吸收过程中的作用：

1) 根系特征对植物氮素吸收速率的影响研究结果表明根系系统大小：根重、根面积、根体积、根平均直径等指标与硝酸钠，硫酸铵、甘氨酸和氮素吸收总量呈负相关关系。而根系形态特征，如：比根长，比表面积与氮素吸收效率呈正相关关系。植物为了保持高效的氮素吸收效率，要么选择粗放型策略，例如单纯提高根系生物量；要么采用集约型策略，例如调整/优化形态特征。在藏北高寒草原，土壤养分贫瘠、环境恶劣，植物往往采用更为经济、实惠、高效的集约型策略来提高其养分吸收效率。高的比根长和比表面积意味着单位质量，根系长度和根系表面积越高，有利于根系在土壤中的延伸以及增加与土壤的接触面积。此外，高寒地区，高的根系直径（粗根）有利于高植物抗冻融的能力，但会显著降低其氮素吸收能力。

2) 高寒植物物种氮素吸收偏好：研究结果还表明临近物种存在对紫花针茅吸收偏好无显著影响(硝态氮)，青藏苔草和矮火绒草的吸收偏好会因临近物种存在有所调整。紫花针茅-青藏苔草组合有利于两者氮素吸收效率的提高，而紫花针茅和青藏苔草对矮火绒草氮素吸收有抑制作用。表明临近物种的存在在某种程度上会改变植物对不同形态氮素的吸收策略，这种改变不仅表现在氮类型偏好上的变化，还表现在吸收量上的变化。这一灵活资源利用策略的假设是建立在物种之间竞争基础之上的，在此前的研究中还很少被报道。而这种植物对资源的灵活资源利用策略可能是高寒草原植物重要的生态位互补机制之一。

3) 紫花针茅草原生态化学计量稳定性与种稳定性关系：在高寒紫花针茅草原，植物的氮生态化学计量稳定性变化范围为 1.72-1.96 而且中间差异不大。与其他类型不同，密

花黄芪不存在氮生态化学计量稳定性。这可能是由于密花黄芪是豆科植物，可以和固氮菌共生，因此叶片氮含量与土壤氮含量不存在显著的相关性。高寒草原植物的氮生态化学计量稳定性与温带草原植物的相比，高寒草原的氮生态化学计量稳定性较低。通过分析其相对生长速率可以发现，高寒草原植物存在较高的相对生长速率，尤其在氮添加后，相对生长速率增加。另外对 N 生态化学计量稳定性与物种的优势度和时间稳定性分析，结果表明物种生态化学计量稳定性与种的优势度和物种稳定性不存在显著的正相关关系。这些结果均与温带草原植物存在较大的差异。因此，在寒冷、干旱和营养元素含量低的高寒生态系统中，高寒草原植物采取较低的生态化学计量学稳定性维持较快的生长速率，这与温带草原植物生长策略不同。

➤ 那曲站（地理所）

在禁牧条件下，水分比温度对生态系统碳通量的影响更强（张扬建，张涛，朱军涛，陈宁团队）：温度通常被认为是调节青藏高原高寒草甸碳通量的主要因素，而水资源可用性的贡献则具有很大的不确定性。在本研究中，使用涡动协方差（EC）数据评估温度和水可用性对高寒草甸生态系统碳通量的相对贡献。结果表明，土壤含水量（SWC）是控制碳通量的最重要因素，在任何温度条件下，GPP 和 Re 随着 SWC 的增加而增加，表明对碳通量的水可用性的主要控制。此外，水的可用性调节了生态系统对温度的响应大小，并可以缓解低温引起的压力。结构方程模型（SEM）分析进一步证实了 SWC 对碳通量的主导作用。这项研究表明，气候变化对这一高山生态系统的影响可能更多地受到水模式变化的诱导而不是温度的升高，这为高寒草甸碳通量的气候控制提供了新的见解，并增加了我们对气候变化影响的认识。（Zhang, Tao, Yangjian Zhang, Mingjie Xu et al. 2018. Water availability is more important than temperature in driving the carbon fluxes of an alpine meadow on the Tibetan Plateau. *Agricultural and Forest Meteorology*, 256-257: 22-31.）

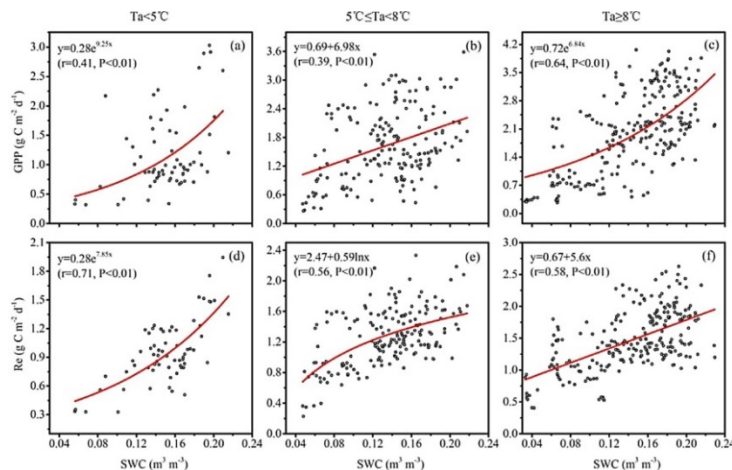


图 3.4.28 不同气温(T_a)条件下，2012 - 2016 年生长季植被碳通量与土壤含水量之间关系

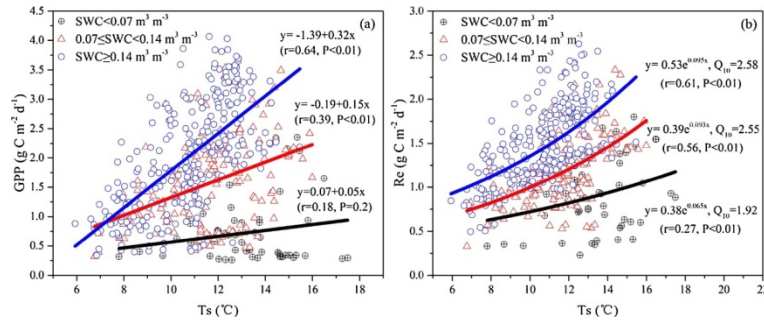


图 3.4.29 不同水分条件下，2012 - 2016 年生长季植被碳通量与温度之间关系

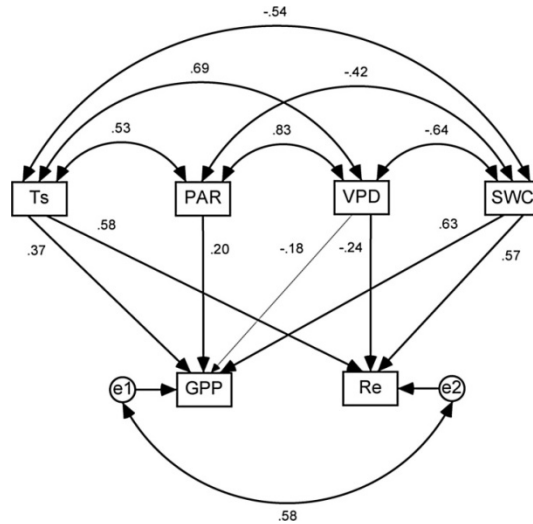


图 3.4.30 气候因素对 GPP 和 Re 的总体影响的路径图

气候因素和生物因素共同调节青藏高原秋季物候(张扬建, 俎佳星, 黄珂, 刘瑶杰, 陈宁, 丛楠团队): 青藏高原的物候研究在全球变化下十分重要, 也一直是关注的热点。本团队使用 MODIS NDVI 遥感数据, 利用 TIMESAT 软件提取了青藏高原高寒植被的物候参数 (春季物候 (SOS)、秋季物候 (EOS) 和生长季长度 (GL)), 采用随机森林的高级统计方法研究表明, 高原的春季物候在前十年间发生显著提前, 但秋季物候的变化相对则较小且不显著。同时, 我们还发现高原草地生长季的长度变化受春季物候的驱动作用更大。分析秋季物候年际驱动要素发现, 太阳辐射是影响高原中部和北部地区秋季物候年际变异的最主要因子; 在东部和南部地区, 影响秋季物候变异的最主要因子是气温和降水; 在高原的西部地区, 植被自身的节律春季物候则对秋季物候年际变异影响最大。我们的研究表明, 在研究植被秋季物候动态变化的时候, 气候因素 (降水 **Pre**、太阳辐射 **Rad**、气温 **Tem**) 首先也是必须要考虑的, 但一些生物因素如植被的自身节律 (如生长最旺盛期 **middle season**, **MD**, **SOS**) 也应该加入到模型中, 这有助于提升我们对于陆地生态系统动态变化的认识。(Zu Jiaying, Zhang Yangjian, Huang Ke, et al. 2018. Biological and climate factors co-regulated spatial-temporal dynamics of vegetation autumn

phenology on the Tibetan Plateau. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 69: 198-205.)

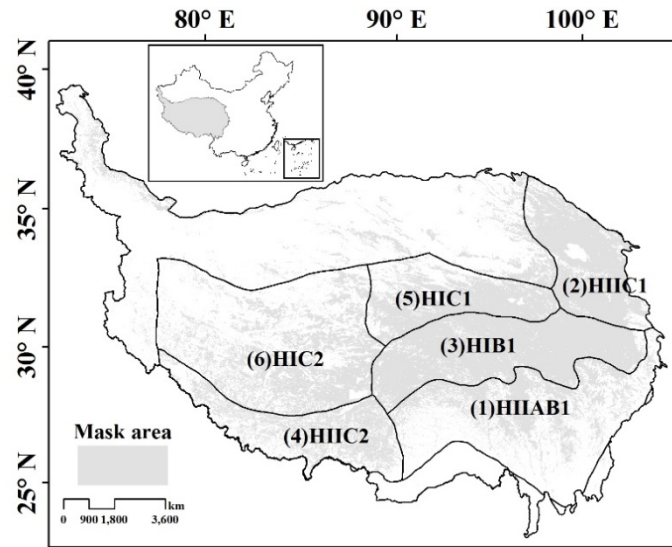


图 3.4.31 青藏高原植被生态区划分

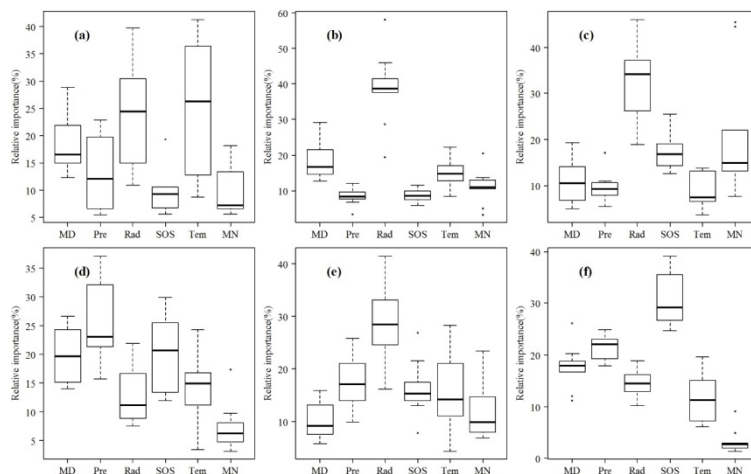


图 3.4.32 各因子对秋季物候年际变异的影响权重，图中 a-f 分别对应图 4 中 1-6 生态区

近 30 年来青藏高原的增温格局发生改变 (张扬建, 刘瑶杰, 朱军涛, 黄珂, 俎佳星, 陈宁, 丛楠团队): 在全球变化的大背景下, 青藏高原的变暖受到越来越多的关注, 我们整合多源数据进行趋势分析表明在 1982-2015 年间, 青藏高原的生长季和非生长季的平均温度、最高温度和最低温度在 1998 年都出现增温减缓的态势。同时昼夜温差也在 1998 年左右出现增温减缓的趋势。高原的增温趋势是存在空间异质性的, 1998 年之前, 高原的北部比高原的南部增温更为强烈, 而 1998 年之后则南部增温剧烈, 北部增温减缓。研究同时推测, 大气水汽含量影响向下长波辐射是驱动高原南部白天最高气温变化的原因, 日照时长的变化驱动了高原北部的温度变化。在北半球大部分地区发现增温停滞的背景下, 证实了高原并没有存在增温停滞的现象, 而只是出现增温现象的空间分布发生

变化，增温速率有所降低，整个高原依然受气候变化影响剧烈。(Liu Yaojie, Zhang Yangjian, Zhu Juntao, et al. 2018. Warming slowdown over the Tibetan plateau in recent decades. Theoretical and Applied Climatology, DOI: 10.1007/s00704-018-2435-3.)

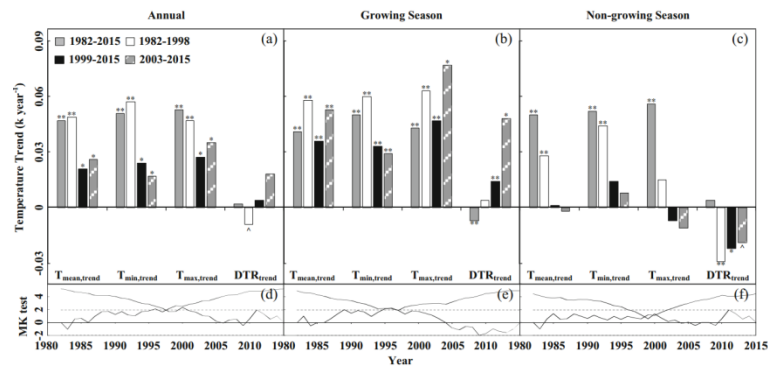


图 3.4.33 (a-c) 不同时间段的气温增温趋势的趋势检验；(d-f) 日平均气温的多年突变点检验

➤ 那曲站（青藏所）

青藏高原草地群落物候非线性响应及其机制研究进展：国际上物候研究的重要发现为增温提前了早期物候并延迟了晚期物候。然而，当前研究对物候是否能维持线性变化还不明确。虽然有些研究表明物候随增温呈线性提前，但也有研究发现随气候增温和降温的波动增加，物候的温度敏感性逐年降低。虽然温度和水分是影响物候的重要因素，但是并不能完全解释物候变化，尤其对群落物候而言。这说明除环境因素外，生物因素可能也在一定程度上影响群落物候的变化趋势。然而，我们仍然缺乏了解群落组成如不同功能群的盖度变化如何调节群落物候。

青藏高原是气候变化的敏感区，并受人类活动干扰较少，是探讨气候和非气候因素对群落物候影响的理想区域。汪诗平课题组通过建立海北站沿海拔梯度双向移栽平台，调查了群落物候序列随持续增温和降温的变化特征。我们发现，非线性模型是大多数群落物候序列对持续增温和降温响应的最优模型。同时，增温下降低的早花和中花植物多样性以及降温下增加的早花植物多样性会降低几乎所有群落物候序列的温度敏感性。这些结果表明要准确预测群落物候温度敏感性的变化应考虑植物多样性的变化。此研究为深入探讨物候敏感性的响应和变化机制奠定了理论基础，为定量模拟气候变暖背景下的群落物候变化提供了新思路。该研究结果发表于 *Agricultural and Forest Meteorology*。

气候变化背景下放牧对高寒草甸植物群落结构影响研究进展：放牧是青藏高原草地生态系统中的重要组成部分，然而近年来人口数量不断增加，放牧家畜种群数量在不断加大。另外，在全球气候变化的大背景下，青藏高原趋于变暖、变湿，但雪灾等极端气候现象在不断加剧。在这种气候变化背景下，放牧对草地生态系统产生如何影响？放牧、

气温变暖、雪灾等因素之间是否存在互作效应？放牧在应对气候变化对草地生态系统的影响过程中起到什么作用？是好还是坏？等科学问题不断凸显，争论也随之而起！但利用实测的野外控制试验数据探讨这些机制性问题的科学研究却十分匮乏。我们在西藏纳木错区域利用开顶式增温箱（OTC）进行增温，并利用早春加雪和适度牦牛放牧等试验手段研究增温、早春雪灾和放牧在独立和交互作用下对高寒草甸草地植物群落结构的影响。结果发现，OTC 增温导致植物物种丰度较未增温小区平均降低了 13%，增温显著降低了杂类草物种丰富度，但提高了物种均一度和灌木群落的覆盖度。早春加雪未影响植物物种丰富度和多样性指数，但增加了物种均一度。适度放牧则降低了物种均一度、提高了优势物种小嵩草的覆盖度。另外适度放牧和增温之间的交互作用十分明显。适度放牧显著减缓了增温对杂类草物种丰富度的降低作用和增温对灌木群落的扩张作用，同时显著提高和保持了优势物种小嵩草在高寒草甸中的覆盖度。另外，在高寒草甸生态系统中植物物种丰富度、均一度和多样性的变化随优势植物物种小嵩草种群覆盖度增加而降低，因此小嵩草对气候变化和人类活动（放牧）的响应特征将决定整个高寒草甸植物群落对气候变化和人类活动的响应特征。这些研究结果表明，适度放牧可通过提高高寒草甸优势植物物种小嵩草在群落中的比例，调控增温对物种丰富度、均一度和多样性的影响，同时可以减缓因增温导致的灌木种群扩散趋势，为高寒草甸生态系统在全球气候变化背景下可持续放牧管理提供了理论依据。该研究结果发表于《农林气象》(Agriculture and Forest Meteorology)。

长期增温背景下植物通过提高有机氮吸收维持其在群落中的优势地位：1880-2012 年间全球表面温度升高 0.8 度，并在可预测的未来仍呈上升趋势（IPCC）。温度改变很有可能通过改变植物的优势度而改变群落内植物的物种组成，从而影响生态系统的服务功能（Maclean and Wilson 2011, PNAS; Wang et al. 2012, Ecology; Shi et al. 2016, Nature Communications）。然而，迄今为止，在增温背景下优势植物是否可以继续维持其在群落中的优势地位及其机理仍然不清楚。

基于 2006 年汪诗平研究员在中科院西北高原生物研究所海北站建立的增温放牧试验平台，近期中科院青藏高原研究所、中科院高寒生态重点实验室、青藏高原地球科学卓越创新中心汪诗平研究员课题组，利用 ^{15}N 双标记技术，追踪到长期增温条件下优势植物可通过增加有机氮的吸收维持其在群落中的优势，从而从植物物种共存的角度揭示了高寒草甸植物应对气候变化的适应性策略，为模拟变暖背景下高寒草甸生态系统结构和功能变化提供了理论支撑。该研究成果最近以 “Plant organic N uptake maintains species dominance under long-term warming” 为题，在该领域主流刊物 Plant and Soil 上以

封面文章予以发表。

➤ 若尔盖站（西北生态环境资源研究院）

高寒植物叶功能性状特征：对不同类型高寒植物功能群叶片 $\delta^{13}\text{C}$ 值比较结果表明，旱中生植物的 $\delta^{13}\text{C}$ 值平均为 -27.1% ，最高；湿中生植物为 -28.7% ，最低。高位芽植物的 $\delta^{13}\text{C}$ 最高，平均为 -27.1% ，与旱中生植物一致；地上芽植物的 $\delta^{13}\text{C}$ 平均为 -29.2% ，最低。高寒植物比叶体积越大，抗逆性越强。（P. Su, R. Shi, Z. Zhou, T. Xie. Characteristics and relationships of foliar element content and specific leaf volume of alpine plant functional groups. International Journal of Agriculture & Biology, 2018, 20(7): 1663-1671.）

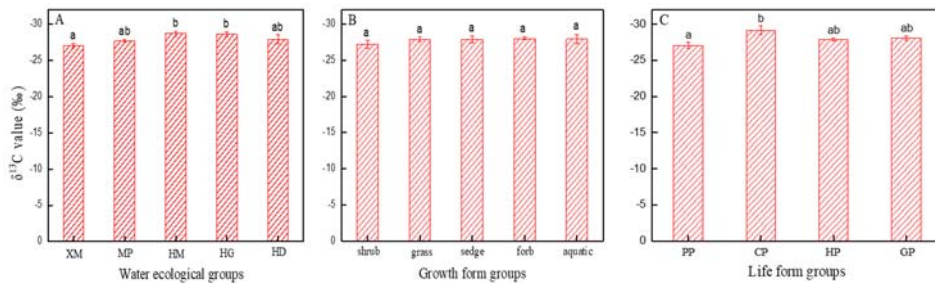


图 3.4.34 不同类型高寒植物功能群叶片 $\delta^{13}\text{C}$ 值比较

➤ 青海湖站

遥感影像中提取生态位因子：从遥感影像中提取生态位因子在物种潜在分布模型中扮演着重要角色，然而这些模型存在数据质量低和训练样本少等问题。随着先进数据采集设备的应用，所获得的大量动物轨迹数据可以用来对物种潜在栖息地进行标记，进而从遥感影像中提取用于物种分布模型的有效训练样本。本文首先利用 DBSCAN 算法对动物轨迹数据进行聚类，基于聚类结果将遥感影像按照小区域分成正负样本，然后利用提出一种改进的卷积神经网络进行训练，支持向量机方法用来预测斑头雁在青海湖周边的潜在分布情况。通过和传统基于灰度共生矩阵的方法进行比较，本文提出的方法在各项评价指标上都有一定提升，同时实验结果也表明我们的方法能更好的预测斑头雁在青海湖周围的潜在分布情况。详细分析结果的论文已发表于 2018 年《animals》。

中等分辨率遥感图像用于土地利用和土地覆盖分类：类似 Landsat 的中等分辨率遥感图像广泛用于土地利用和土地覆盖 (LULC) 分类。受较粗糙分辨率的限制，大多数传统 LULC 分类基于中等分辨率遥感图像的分类聚焦于光谱单个像素的特征。受到景观生态学空间评价方法的启发，本研究提出了一种提取中分辨率图像像素周围邻域特征的新方法。3 个类似景观指标的指数，即平均指数，标准差指数和距离加权值指数被定义

为邻近区域特征以包括周围环境特征。改进的 LULC 分类中相邻区域的特征和不同的特征集的影响通过一系列良好控制的 LULC 分类实验评估配置, LULC 分类实验使用 K 最近邻 (KNN) 和支持向量机 (SVM) 在 Landsat 8 (OLI) 图像上进行分类。当相邻区域增加了特征, 两个分类器的总体精度高于仅有光谱时的总体精度。对于仅使用光谱特征的 KNN 和 SVM 分类器, 总体而言, LULC 分类的准确度分别为 85.45% 和 88.87%, 准确度为分别提高至 94.52% 和 96.97%。所有 LULC 类型的分类精度得到改善。高度异构的 LULC 类型很容易被错误分类, 实现了更大的改进。作为比较, 灰度共生矩阵 (GLCM) 和卷积神经网络 (CNN) 方法也在同一数据集上实现。结果显示新的方法优于 GLCM 和 CNN 方法, 可以显著改善分类基于中等分辨率数据的性能。详细分析结果的论文已发表于 2018 年《Remote sensing》。

微塑料在动物体内的存在: 微塑料是一种新型环境污染物质, 它主要是指环境中粒径小于 5mm 的塑料微粒。微塑料主要是由于人类使用后的废弃塑料制品在环境中物理化学作用下分解而成, 也有一部分微塑料颗粒来自于成品工业产品。越来越多的研究发现, 这类塑料微粒进入环境中后, 会在海洋、湖泊和河流中富集, 并进入食物网中。目前在海鸟、鱼类、海洋哺乳动物体内都有发现微塑料的存在。由于塑料较高的疏水性, 容易吸附各种有机污染物, 同时塑料生产本身也会添加较多添加剂, 这些都可能随着微塑料被有机体的摄食而进入动物体内。因此, 微塑料的相关研究越来越成为环境领域的关注热点。青海湖作为中国最大的湖泊, 虽然处于内陆偏远地区, 但是周边的人类活动仍然可能会给其带来微塑料的输入。本年度的调查在去年调查水体微塑料的基础上进一步调查了湖岸带的微塑料。调查结果显示, 青海湖湖岸带也存在明显的微塑料污染现象, 特别是在南部旅游活动较为发达的区域, 微塑料污染特别严重, 而西部靠近鸟岛的旅游区内也存在明显的微塑料污染。东北部原旅游活动的湖岸微塑料丰度相对较低。这说明旅游活动是青海湖微塑料污染的重要来源, 这需要在今后引起进一步的重视。详细分析结果的论文已发表于 2018 年《Environmental Pollution》。

5. 土壤/冻土观测研究

➤ 纳木错站

高寒荒漠和草原土壤固碳微生物数量远低于草甸土壤, 但具有更高的固碳潜力: 固碳微生物是一类与植物相似将大气 CO₂ 转化为有机质的微生物。土壤微生物固碳功能的重要性最近几年才逐渐被认识, 但土壤固碳微生物群落特征、固碳潜力及其环境因子驱动机制尚未被认识。干旱半干旱生态系统约占全球陆地面积的 41%, 该生态系统植被生

长受到包括土壤水分在内的多种环境因子限制，凸显土壤微生物固碳的重要性。青藏高原属寒冷型干旱半干旱生态系统（冷漠，年均温低于零度），其低温、干旱和强紫外等极端环境极大限制了草地植被固碳潜力，是生态脆弱带和气候变化放大器。

以青藏高原这一典型冷漠生态系统为例，采用微生物分子生态学和 $^{13}\text{CO}_2$ 稳定同位素标记技术，深入研究了草地土壤固碳微生物群落特征及其固碳潜力。研究表明，荒漠草地和草原土壤固碳微生物数量远低于草甸土壤，但其固碳潜力却比草甸土壤高 61%。土壤微生物固碳量与地上植被生物量和土壤氮浓度显著负相关，表明越贫瘠土壤中微生物固碳潜力越大，如荒漠草地。土壤固碳微生物数量随年均降水量、地上植被生物量和土壤铵态氮浓度增加而显著升高，但随干旱度指数（1-AI）增加而降低。采用结构方程模型耦合所有环境因子进一步分析表明，年均降水量可直接提高土壤固碳微生物数量，也可通过驱动地上植被生物量、土壤有机质和土壤养分而间接提高土壤固碳微生物数量。不同草地类型，form IAB 及 IC 类固碳微生物群落结构差异显著；这个两个固碳微生物类群的群落结构均由年均降水量及干旱度指数驱动。

该研究量化了青藏高原草地土壤微生物的固碳潜力，阐明了气候因子是驱动土壤固碳微生物数量、群落结构和固碳潜力的主控因子，从土壤碳循环过程和功能微生物类群角度证实了青藏高原草地冷漠生态系统对气候变化敏感。此外，由于遥感技术目前不能捕捉土壤微生物固碳信号，故植被遥感会低估全球干旱半干旱生态系统土壤固碳潜力。因此，目前基于植被遥感技术测算的全球陆地碳储量可能会被低估，从而加大地球系统模型评估土壤碳循环过程的不确定性和偏差。

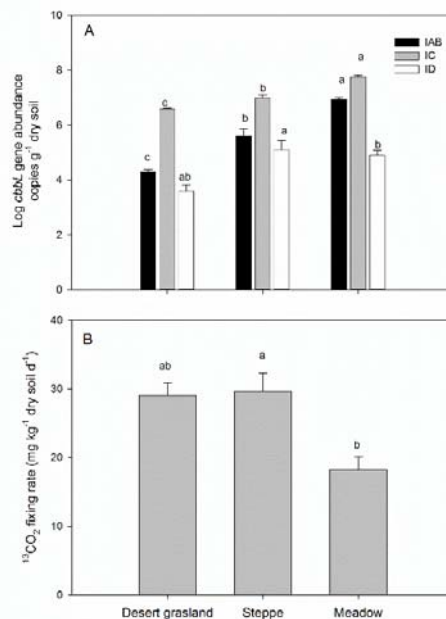


图 3.5.1 青藏高原草地土壤中 *cbbL* 基因丰度 (A) 和土壤 $^{13}\text{CO}_2$ 固定速率 (B)

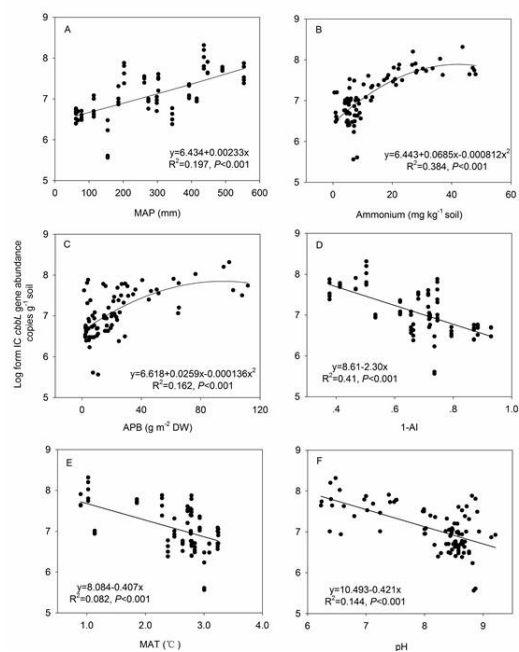


图 3.5.2 青藏高原草地土壤固碳微生物数量（以 cbbL 基因表示）与环境因子的相关性

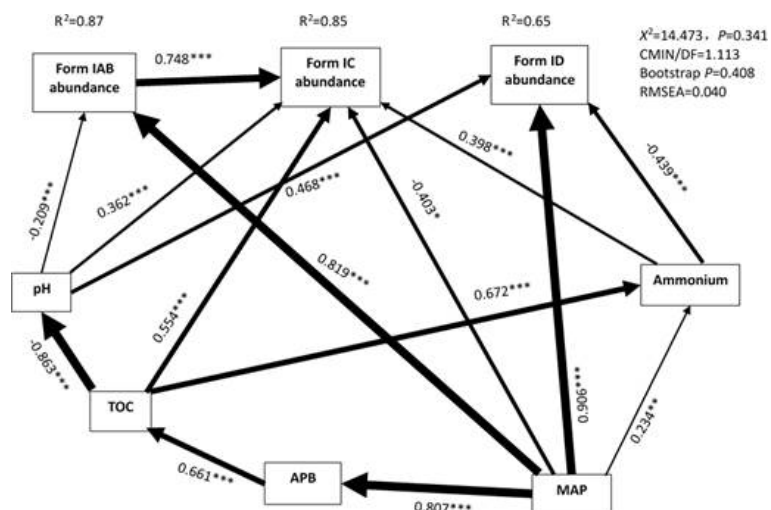


图 3.5.3 气候、植物和土壤因子对青藏高原草地土壤微生物数量的直接及间接影响。

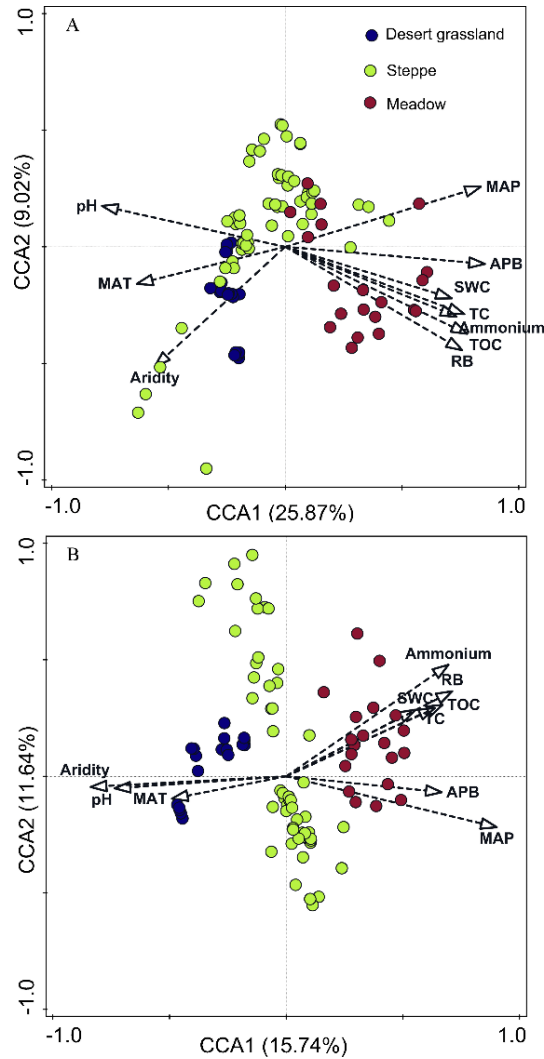


图 3.5.4 青藏高原草地土壤固碳微生物群落结构及其驱动因子。A: Form IAB 类固碳微生物, B: form IC 类固碳微生物

➤ 格尔木站

青藏高原多年冻土区水热过程及其模拟研究: 本研究工作分析了青藏高原空气和地面冻结/融化指数的变化特征, 并对近地表土壤冻融状况变化趋势及其与气温、海拔和纬度的相关性做了探究, 主要进展如下所述: 地下冰是多年冻土的独有特征, 对区域水文水资源有重要影响, 也是古气候的一个代用指标, 对气候变化很敏感。青藏高原上正在退化的多年冻土, 显著改变区域的水文过程和生态过程。多年冻土地下冰的补给来源一直是冰冻圈科学关注的难点问题之一。多年冻土水化学的垂直分布及其控制因子, 对于探讨多年冻土冻融过程中水-盐运移机制以及理解寒区水文循环过程非常重要。基于中国科学院青藏高原冰冻圈综合观测研究站 2015 年 9 个采样点实测气象数据, 利用青藏高原中部多年冻土区 9 个土壤剖面调查数据, 分析了多年冻土氢氧稳定同位素和水化学特征, 并应用稳定示踪剂和水文分割模型, 初步探讨了多年冻土水-盐运移特征及其与环

境因子的关系。研究结果初步揭示了地下冰的补给来源,可为深入理解多年冻土变化的水文水资源效应提供参考,主要结论如下:1)降水氢氧稳定同位素值的季节动态显著,其可溶性离子浓度和盐度均较小,阳离子浓度排序为: $\text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+$,阴离子浓度排序为: $\text{HCO}_3^- > \text{NO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-}$ 。2)多年冻土氢氧稳定同位素值呈现显著空间差异,波动范围较大,不同水组分具有差异的氢氧同位素值。多年冻土氢氧同位素与环境因子间的相关性在水组分之间存在明显差异,氢氧同位素变化的主控因子是海拔和深度,植被类型显著影响氢氧同位素空间分布。 δD 和 $\delta^{18}\text{O}$ 显著负相关于深度、含水量和高程, δD 显著正相关于土壤温度和气温, $\delta^{18}\text{O}$ 显著正相关于土壤温度。3)多年冻土水分中阴离子浓度呈现显著空间差异,没有明显水平空间变化趋势,阴离子浓度随深度增加,主要归因于蒸发富集、冲洗、淋溶和自净脱盐作用。冻土水分中可溶性离子浓度波动范围较大,不同水组分具有差异的离子浓度。4)多年冻土水化学垂直分布特征可为冻融过程中的冻土水-盐运移研究提供一个方法。多年冻土上限附近地下冰主要受到活动层与多年冻土水分补给,贡献率分别为 59%-87%、13%-41%,活动层水分是主要补给源。植被类型显著影响活动层水分对多年冻土上限附近地下冰的贡献,高寒草甸区域活动层水分的贡献率(介于 59 与 69%之间)显著低于高寒草原区域活动层水分的贡献率(介于 70 与 87%之间)。

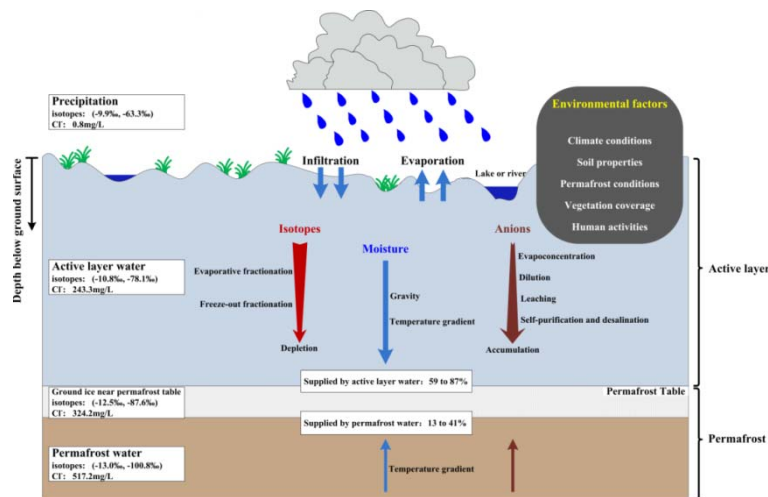


图 3.5.5 青藏高原中部多年冻土区地下冰水源及其水-盐运移的概念图

青藏高原多年冻土区碳氮生物地球化学循环研究: 河流碳输移: 河流是连接陆地生态系统和水生生态系统碳库的唯一通道,其溶解性有机碳(DOC)的输移是全球碳循环的重要环节,河流中 DOC 本身也是水生生态系统食物网的重要组成部分。三江源地区多年冻土普遍发育,受低温和多年冻土的影响,有机质分解缓慢而长期积累下来,导致多年冻土区的土壤有机碳含量普遍高于非多年冻土区。在全球变化背景下,多年冻土出现了普遍的退化现象,具体表现为活动层厚度增大和多年冻土消失。多年冻土退化会导致

之前长期冻结保存的有机质融化,从而发生分解或随水流跨区域输移。同时,青藏高原多年冻土退化一般还会导致植被退化,这不仅改变有机碳的形成和积累过程,还会影响地表径流,从而影响 DOC 的输移。因此,在全球变化和我国西南水资源开发力度不断增强的背景下,迫切需要认识三江源这一重要河源区域的河流 DOC 及相关水质特征及其变化规律。但是,目前这一方面的研究还非常缺乏。

通过对三江源地区 47 条小河流和 2 条大河进行了一个水文年的现场观测和采样,并将样品的室内分析结果与空间分析相结合,研究了高寒沼泽草甸、高寒草甸、高寒草原、高寒荒漠和裸地几种植被覆盖类型下河流 DOC 浓度、总悬浮物固体浓度 (TSS)、光学特征参数 SUVA₂₅₄、电导率、pH 等水质参数的变化特征;探讨了流域面积、流量大小与河流 DOC 浓度的相互关系;分析了河流 DOC 输移浓度和通量的逐月变化规律以及对气温、降水变化的响应;选取典型植被下的 12 条河流进行了 DOC 培养分析,对河流 DOC 的生物可利用性、化学组成及微生物分解动力学开展了研究。研究发现:

在夏季,青藏高原三江源多年冻土区的河流 DOC 浓度范围为 2.89 mg/L~5.98 mg/L,平均值为 3.89 mg/L;不同植被类型下河流 DOC 的浓度存在较大的差异且与土壤有机碳含量相一致。河流 DOC 含量依次为高寒沼泽草甸>高寒草甸>高寒草原>高寒荒漠和裸地;河流 DOC 浓度与流域内高寒沼泽草甸覆盖的比例呈显著正相关,而与高寒草原、高寒荒漠和裸地覆盖面积比例显著负相关;不同植被类型下河流 pH 值、SUVA₂₅₄ 值、浊度与 DOC 浓度存在显著负相关关系,即流域内植被覆盖率越低,河流 DOC 浓度越小,土壤侵蚀越严重,河流 pH 值越高;河流 DOC 浓度与采样点的流量及流域面积呈显著负相关关系,表明在输移过程中,河流 DOC 的部分活性碳被快速分解,导致其浓度下降。

对三江源 47 条小河流的时间逐月变化进行研究,发现在 2016 年 8 月到 2017 年 7 月期间,所有河流的 DOC 浓度均值为 4.39 mg/L,DOC 逐月平均浓度介于 2.92 mg/L~6.82 mg/L 之间。在春季到夏季初,月平均气温从-11℃升高到 2℃的过程中,DOC 浓度急剧上升,5 月份达到全年最高;而在随后月平均气温从 2℃继续升高到 13℃的最高温的过程中,DOC 浓度又表现为急速降低的态势;从仲夏到冬季,月平均气温从 13℃下降到-11℃的过程中,DOC 浓度呈缓慢降低的趋势,在冬季 11 月份达到全年最低水平。

DOC 的单位面积日输移通量表现出明显的逐月差异,47 条河流输移量的中位数为 0.406 kg/(km²·d)~11.022 kg/(km²·d)(图 6)。DOC 的输移量与河流的平均径流量呈显著正相关,即 6 月份 DOC 输移量最高,之后逐渐降低,3 月份达到最低;在春季,DOC 的输移量随 DOC 浓度升高而增加。

在青藏高原三江源多年冻土区,流域内的植被类型是影响河流生物可利用溶解性有机碳(BDOC)浓度的主要因素。在不同植被类型之间,高寒草甸和高寒沼泽草甸为主的流域内河流 BDOC 浓度较大,高寒草原和裸地覆盖面积比例较高的流域内,河流 BDOC 浓度较小。在不同的植被类型之间,DOC 可降解程度(BDOC%)的变化范围在 11.72%~23.66%,且与 DOC 和 BDOC 的含量正相关。微生物分解动力学分析结果表明:BDOC 在培养过程中遵循一级反应动力学原理,河流 DOC 浓度越高,DOC 的分解速率越大;随流域内植被覆盖度的减小,DOC 的芳香性程度和分子量不断增大,DOC 的可降解程度降低。此外,河流 BDOC%受流域内多年冻土和河流流量的影响,连续多年冻土区河流的 BDOC%大于非连续多年冻土区的 BDOC%,大河的 BDOC%小于源头小河的 BDOC%。

以上研究结果表明,若气候继续变暖加快青藏高原多年冻土和植被的退化,那么土壤侵蚀将会加剧,河流中的 DOC 浓度将下降;同时,河流 DOC 中生物可利用性有机碳的比例比流域内土壤中生物可利用性有机碳的比例更高,且河流 DOC 在输移过程中被迅速降解并以温室气体的形式释放到大气中。因此,在气候变化背景下,三江源地区河流的 DOC 浓度会降低,河流泥沙输移量将增大,且增加的泥沙输移量对下游水电开发和环境保护的影响需要予以考虑。

多年冻土和土壤微生物:土壤碳分解根本上是由微生物活动驱动的,且土壤微生物和酶参与所有的生物地球化学过程。利用高通量测序方法对多年冻土区土壤细菌群落进行分析,发现环境因子中土壤 pH 和有机碳是细菌群落的决定因子,同时活动层厚度与某些细菌门的相对丰度显著相关,但其与细菌群落结构并无显著关系。这一结果表明多年冻土退化会影响到土壤水分、pH,从而影响到微生物结构并影响到碳循环。在热融沉降地区研究发现,沉降区的土壤细菌群落结构的垂直分布规律消失,说明沉降改变了土壤的理化因子,影响到土壤微生物。利用土壤酶活性为指标,发现在较低的土壤水分、较低的营养盐条件下,土壤碳氮的生物化学循环强度会提高。多年冻土退化会改变土壤水分、温度和基质可利用性而影响到土壤酶活性,进而影响到碳氮循环。

土壤酶活性分析表明,在较低的土壤水分、较低的营养盐条件下,土壤碳氮的生物化学循环强度会提高,多年冻土退化会改变土壤水分、温度和基质可利用性而影响到土壤酶活性,进而影响到碳氮循环。

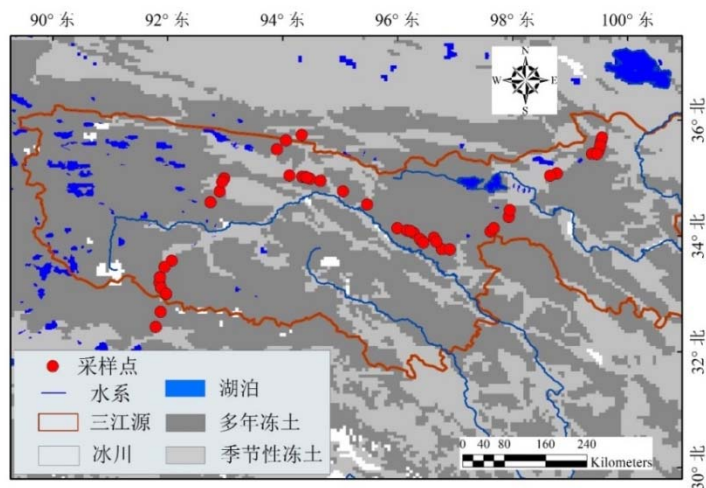


图 3.5.6 研究区植被类型和采样点位置和多年冻土分布

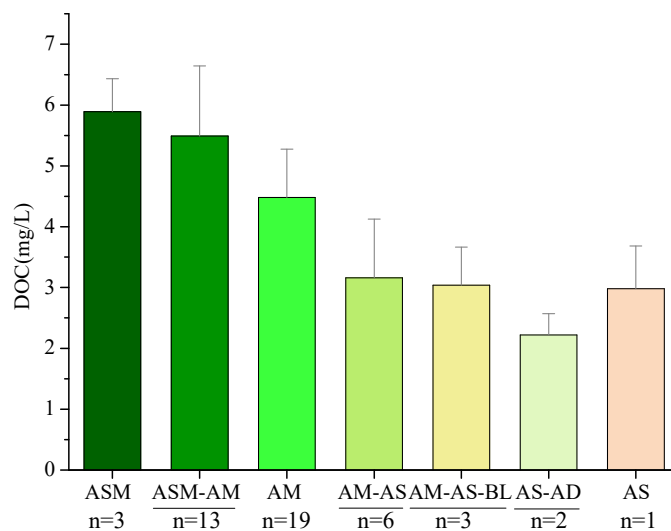


图 3.5.7 不同植被类型下河流 DOC 的浓度

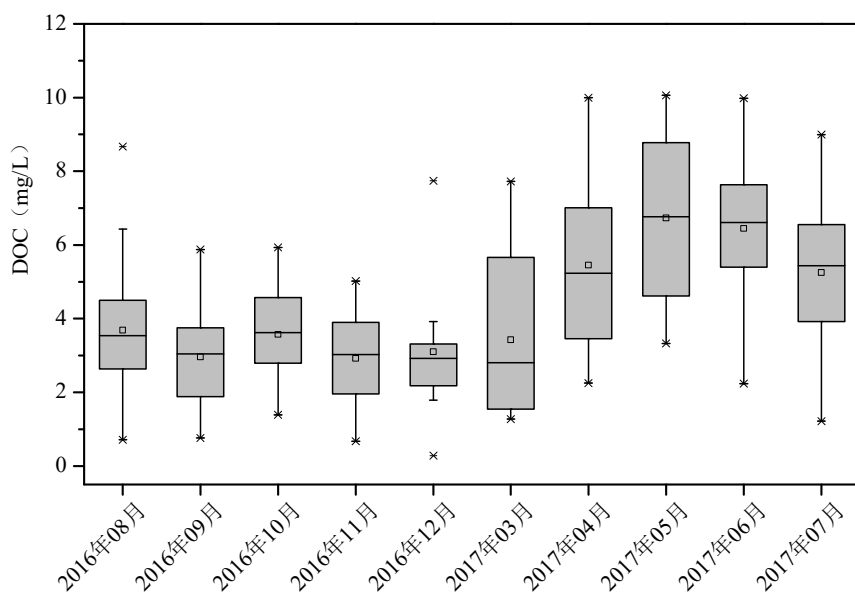


图 3.5.8 DOC 含量的逐月变化

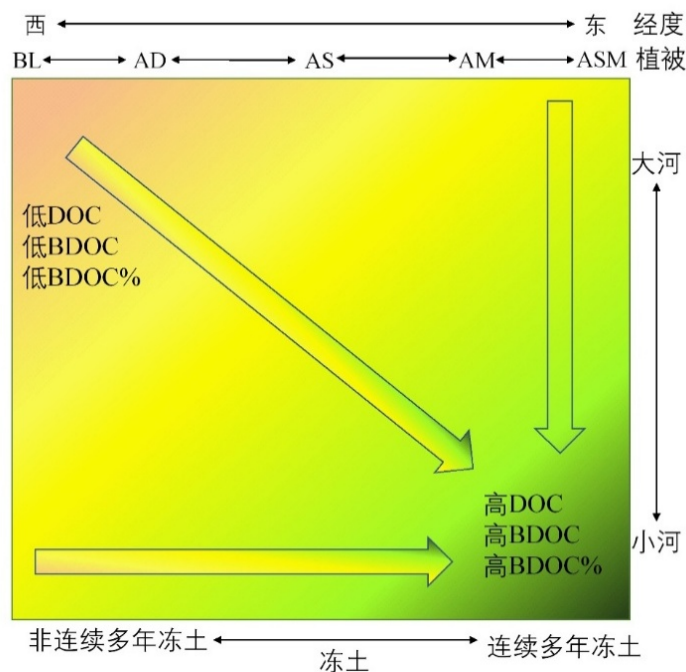


图 3.5.9 三江源地区河流 DOC、BDOC 含量示意图

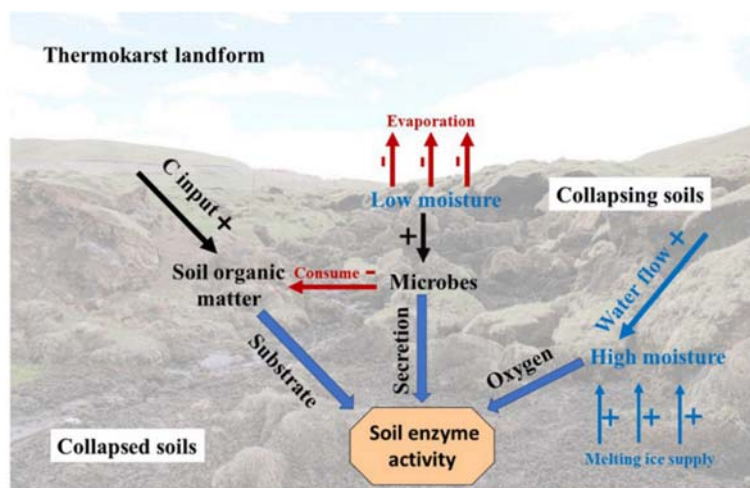


图 3.5.10 多年冻土区环境因子改变对土壤酶活性影响的示意图

青藏高原多年冻土区土壤热通量参数研究：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。

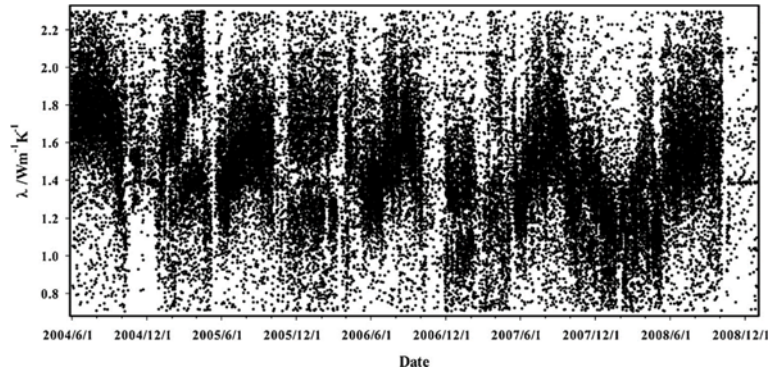


图 3.5.11 逐时次唐古拉导热率

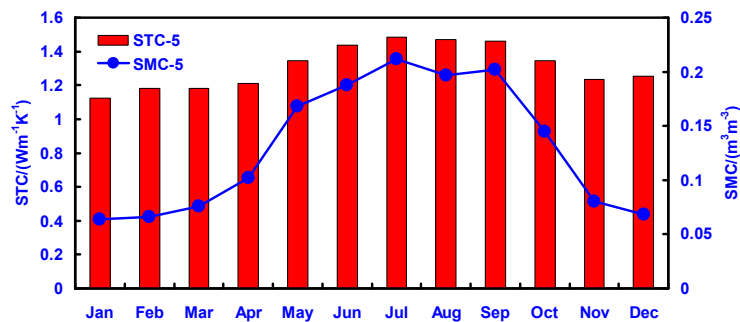


图 3.5.12 唐古拉活动层表层导热率与土壤含水量的季节变化（2004-2013）

➤ 海北站

青藏高原季节冻土区土壤冻融过程水热耦合特征：青藏高原被誉为中华水塔，其广泛分布的季节冻土，在保证我国水资源安全上具有重要的战略地位。基于 2015 年 7 月—2016 年 7 月青海海北站季节冻土和水热监测数据，分析了冻土深度的季节变化和冻融过程水热运移特征。结果表明：1)不同土层土壤温度与土壤水分含量变化规律均表现为“U”型变化规律。此外，不同土层土壤温度变化规律与平均气温基本一致，但明显滞后于平均气温的变化，滞后时间取决于土层深度。2)与多年冻土冻融规律不同，季节冻土表现为单向冻结、双向融化特征，且根据冻土的冻结与消融过程大致可划分为三个阶段：冻土初期、冻结稳定期和冻结融化期等三个时期。同时，季节冻土消融速率大于冻结速率，且融化过程中主要以上层冻土融化为主。3)在冻土冻结过程中，土壤水分向上下两个方向分别向冻结锋面迁移，不同土层土壤水分含量迅速下降。而在冻土融化过程

中，不同土层土壤含水量逐渐增强，且在浅层土壤形成一个土壤水分高能区。4)土壤冻融过程未冻水含量与不同土层土壤温度具有较好相关关系，且浅层土壤拟合效果优于深层土壤拟合效果。本研究对于揭示我国高原关键水文过程以及寒区水热耦合模型构建具有重要意义。

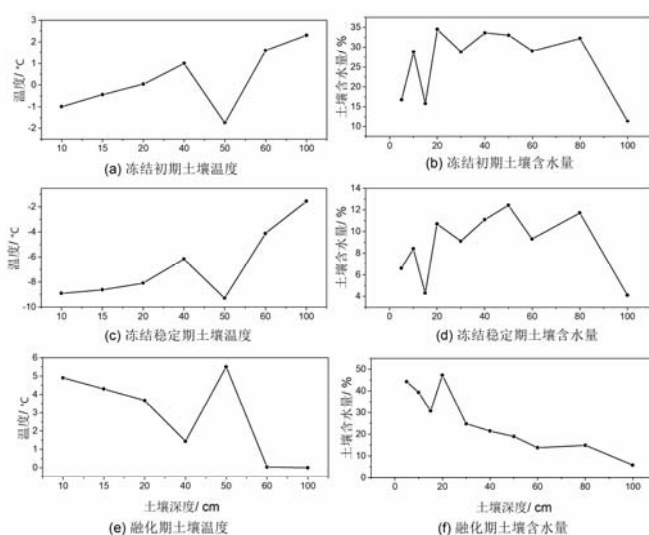


图 3.5.13 土壤冻融不同时期土壤温度和含水量剖面特征

➤ 若尔盖站（成都生物研究所）

土壤有机碳研究：通过测定土壤 C/N 比，灰分含量，腐殖化度（HI）和 ^{13}C 等随着水位和土壤深度的变化趋势，了解水位波动影响下不同深度土壤有机碳的分解程度和土壤退化强度。实验发现表层土壤（平均水位之上）性质主要受植被输入的影响，深层土壤性质主要受分解的影响。在若尔盖高原，土壤 C/N 比，灰分含量和 HI 随着深度的变化记录了泥炭土壤的形成及分解，可以作为泥炭土壤有机碳分解程度的指标。而 ^{13}C 随深度没有显著变化，不能作为土壤有机碳分解程度的指标。研究结果发表在 CATENA 杂志（Liu et al., 2018, 170:119 – 128）。

通过培养实验了解若尔盖高原不同深度土壤有机碳厌氧矿化对增温的响应。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。研究结果发表在 Geoderma 杂志（Liu et al., 2019, 337:1218 – 1226）。

➤ 若尔盖站（西北生态环境资源研究院）

青藏高原夏季土壤湿度对降水的响应：青藏高原以其独特的热力、动力作用影响我国和东亚地区天气气候的形成和演变。同时青藏高原又是包括长江、黄河在内的许多国际河流的发源地，维持着世界上 40% 人口的生产生活，是气候变化的敏感区和“亚洲水塔”。土壤湿度作为陆地表面状态的重要参数之一，在中高纬陆地上对气候变化的影响甚至超过海温。全球变暖背景下，青藏高原地表土壤湿度发生了怎样的变化，目前为止研究还存在争议。

本研究利用欧空局（European Space Agency）最新发展的土壤湿度产品（ECV soil moisture product）研究了 1978-2013 年夏季青藏高原土壤湿度的变化及其对降水的响应。土壤湿度与降水气候态均显示其由东南向西北减少的分布特征。趋势分布图上可见，土壤湿度 34 年来总体呈现增加趋势，仅在高原西部和北部部分区域呈现减少趋势，其中高原东南部增加趋势明显，与降水趋势表现不完全一致。偏相关分析表明，高原主体土壤湿度增加趋势与降水增加趋势相关性较好，表明高原主体土壤湿度随降水增加而增加。分析高原东南部土壤湿度呈现增加趋势认为可能与该区域径流显著减少有一定的关系。

（X. Meng, R. Li, L. Luan, S. Lyu, T. Zhang, Y. Ao, B. Han, L. Zhao, Y. Ma（2018）. Detecting hydrological consistency and changes of soil moisture in summer over the Tibetan Plateau using the European Space Agency satellite soil moisture products. Climate Dynamics, DOI: 10.1007/s00382-017-3646-5.）

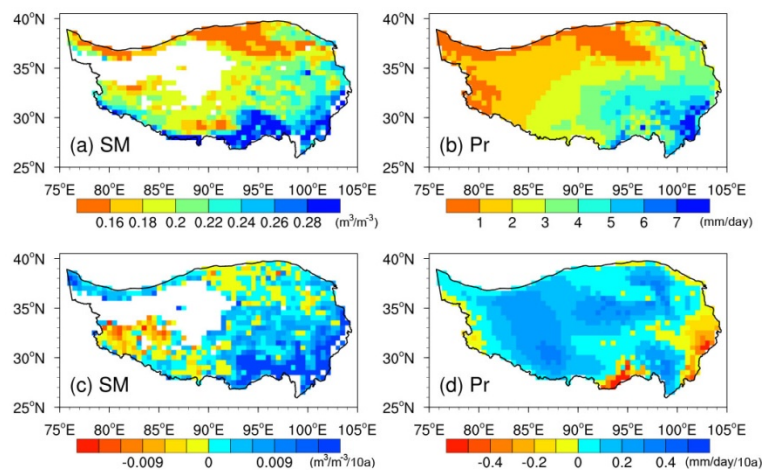


图 3.5.14 青藏高原夏季土壤湿度和降水气候态及趋势分布图（1979-2013 年）a: 土壤湿度气候态；b: 降水气候态；c: 土壤湿度趋势；d: 降水趋势

四、试验示范

➤ 天山冰川站

1 号冰川被 WGMS 选为全球 10 条重点参照冰川之一，中国和中亚干旱区冰川的代表。WGMS 评估报告显示，1 号冰川过去 50 年的物质平衡变化曲线，与全球山岳冰川物质平衡的平均变化曲线一致，表明通过 1 号冰川的研究，可以了解世界冰川的平均消融状况，不仅在在界冰川监测网络中不可或缺，而且在国际冰川与全球变化研究中发挥着独特的作用。冰川的物质平衡反映的是冰川净积累（或消融）量，是冰川学最为基础的观测数据之一。从图中看出：1）1 号冰川的观测时间序列长于世界标准曲线；2）1 号冰川物质平衡为负值（表明物质亏损）从 1977 年开始逐步增多，表明冰川处于加速消融状态；3）1 号冰川物质平衡与世界标准曲线有较为一致的变化规律，表明通过 1 号冰川的研究，可以了解世界冰川的平均消融状况。

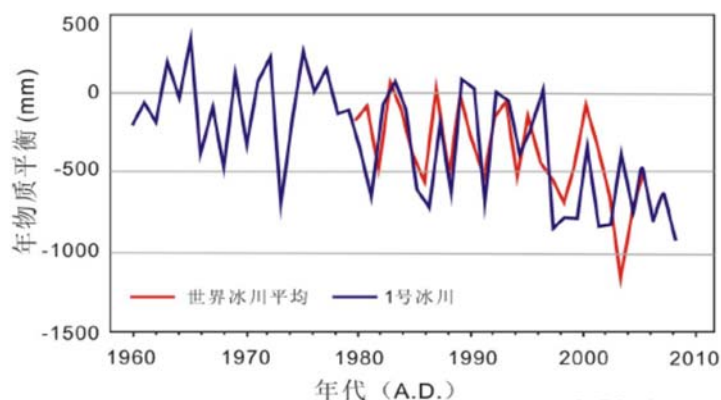


图 4.1 1 号冰川 50 年物质平衡观测曲线。其中红线为根据全球 30 条冰川资料绘制的世界冰川物质平衡标准曲线。

➤ 海北站

家庭制式高寒草地适应性管理与功能提升示范服务得到了较好的社会评价及政府认可，本服务专题多次开展牧民培训，为当地提出了一套易掌握、效果好的草地管理模式。同时矿上植被恢复今年也取得了地方成果一项



图 4.2 禾草-矮嵩草样地（左）和矮嵩草样地（右）



图 4.3 小嵩草样地（左），成果证书（右）

➤ 格尔木站

1) 青藏高速唐古拉山口至安多段冻土分布及特征评估

服务对象：北京交科公路勘察设计研究院有限公司、G109 格尔木至那曲公路改建工程第三标段

服务的背景和意义：结合国家公路网规划，本项目在建设过程中适应国家的远景发展规划。本项目远期可作为国家高速公路网中 G6 北京至拉萨高速公路的远期展望线。目前京藏高速北京至格尔木段均已建成高速公路，唯有格尔木至拉萨段尚未启动。本项目的建设将改写西藏与外界不通高等级公路的历史，拉近西藏与内地的距离，密切西藏与内地的联系，对促进西藏、青海地区社会经济发展和改善民生，将起到巨大的推动作用。

服务内容和方式：根据青藏高速公路唐古拉山口至安多段工程勘察工作需要，北京交科公路勘察设计研究院有限公司（甲方）委托中国科学院寒区旱区环境与工程研究所（乙方）（以下简称中科院寒旱所）开展沿线多年冻土分类及特征的评估工作，并签署了“青藏高速唐古拉山口至安多段冻土分布及特征评估劳务合同书”。

组织管理情况：本项目依托中国科学院寒区旱区环境与工程研究所中国科学院冰冻圈观测研究站，谢昌卫、王武、杨贵前、张钰鑫、刘文惠等人参与了北京交科研究院组织的野外踏勘选线工作，协助开展地表不良地质现象调查工作和钻探孔位布设工作。2017 年 9 月份至 11 月份，参与了野外钻探工作，指导钻探人员开展了冻土区地层描述、岩土含水量测定工作以及冻土上下限的确定工作。同年 10 月份，对典型区多年冻土环境进行了探地雷达勘察工作，对多年冻土的分布、冻土上限及浅层地质环境进行了勘察，完成了 12 公里的雷达勘察剖面。2017 年 12 月份-2018 年 2 月份，组织并编写了区域内

冻土分布及特征评估报告的初稿工作。。

取得的成效：本次勘察的线路位于唐古拉山南坡，行政区划上属西藏自治区安多县范围内。本段线路是唯一远离 109 公路规划的线路，但与区域内青藏铁路走向一致，有青藏铁路修建及后期维护工作需要而开通的简易公路，交通条件相对良好。唐古拉山脉是青藏高原上横贯东西的高大山系，在青藏公路通过的南坡地区是高原上不连续多年冻土分布区域与岛状多年冻土分布区域，临近多年冻土分布的南界。这一区域多年冻土分布主要受高大山系海拔控制，同时区域微地貌和地表环境对冻土发育特征有十分重要的影响。规划线路一般沿河流谷地通行，在唐古拉山口段，由于高海拔环境，多年冻土大多连续分布，由此向南随着河流流水作用影响的逐渐增大，多年冻土渐变为不连续多年冻土和岛状多年冻土。在接近安多的后三十公里区域，线路通过的河谷地区基本为深季节冻土发育区，但在周边高山区，仍然发育多年冻土。

从多年冻土地下冰分布图可以看出，唐古拉山高山区多年冻土地下冰含量并不丰富，大部分区域以至于少冰多年冻土。在曲果曲谷地，多年冻土地下冰含量丰富，以至于富冰到饱冰多年冻土。一般来说，在较大河流的河床和河漫滩部分区域会有融区出现，但在融区外侧，一般发育有含冰量较高的多年冻土，且这些区域植被生长良好，一般为沼泽洼地。同样的，在扎加藏布谷地，虽然融区范围较大，但当线路偏离河道时，仍然要穿越富冰或者饱冰多年冻土，且由于这些冰层受河流水体的补给，冰层厚度一般较大，地表植被破坏后热融灾害更加明显。因此，在曲果曲谷地和扎加藏布谷地，仍然要关注高温富冰多年冻土的存在对工程建设有较大影响。

按照多年冻土测温结果结合区域环境，可大致估算勘察线路内多年冻土冻土地温类型及热稳定性空间分布。监测结果与青藏铁路在该区域勘察结果基本一致。需要指出的是，本地区多年冻土处于青藏高原多年冻土分布的南界附近，多年冻土的热稳定性随着区域微地形和植被、水文环境因素的变化而发生显著的变化。

2) 青藏高原可可西里盐湖溃决风险评估

服务对象：三江园国家公园、可可西里国家级自然保护区、青藏公路、青藏铁路等利益相关部门。

服务的背景和意义：2011 年，位于青藏高原可可西里腹地的卓乃湖在经过多年水位持续上升后发生了溃决，成为气候变暖背景下青藏高原地区湖泊变化的一个极端案例。卓乃湖溃决后，湖泊面积骤减了一百多平方公里，而下游的盐湖接收洪水后水域面积则增加了一百多平方公里，很有可能会象卓乃湖一样发生溃决，并对临近的青藏公路工程走廊内道路和光缆等线性基础设施造成破坏。从 2012 年开始，中国科学院青藏高原冰

冻圈观测研究站科研人员针对湖泊面积、水位以及区域冻土环境的变化开展了长期的监测工作。在 2016-2018 年期间监测发现，湖泊水位上涨了 8.3 米（其中 2016 年上升了 1.95 米，2017 年上升了 2.35 米，2018 年上升了近 4.0 米，目前水位仍在持续上涨）湖泊面积增加了 42 平方公里，湖水储量增加了 14.1 亿立方米。湖水储量增加量相当于格尔木河两年的年均径流量。目前湖泊面积仅比估算的溢出面积小 30 多平方公里，湖泊水位仅比分水岭最低处低 4.0 米左右。依据 2016-2018 年变化趋势，预计盐湖将在未来 1-2 年内发生溢水溃决。目前可可西里盐湖的面积已经接近 200 平方公里，盐湖溢水溃决破坏程度应该与卓乃湖相当。卓乃湖溃决时形成的冲沟宽 100 多米、深 6-7 米、长十多公里，对区域地形的破坏十分严重。可可西里盐湖目前距离青藏公路仅 8 公里左右，溃决如果形成同样的冲沟，将直接冲毁青藏公路、青藏铁路和兰西拉光缆，并对保护区内其它设施造成危害。

组织管理情况：本项目依托中国科学院寒区旱区环境与工程研究所中国科学院冰冻圈观测研究站，由谢昌卫研究员负责，王武助理研究员、庞强强助理研究员、刘广岳助理研究员以及站上研究生参与了监测研究工作。

取得的成效：本项目组织科研人员对可可西里盐湖溃决分险进行了评估，并接受了《中国科学报》记者的采访，并在《中国科学报》头版头条进行了报道。同时通过《中国科学报》专报、新华社青海分社、新华社西藏分社三个渠道上报到中央和地方政府，引起了有关部门的高度重视，起到了很好的预警作用。



图 4.4 中国科学院报关于我站对盐湖监测成果的报道

➤ 贡嘎山站

1) 一种高陡边坡护坡用绿化毯技术

随着国家公路铁路网的大规模建设及矿山的大规模开发，大量开挖的裸露边坡，对水土保持、生态平衡和环境保护产生了严重影响，造成了重大损失。边坡生态破坏不仅

会直接导致水土流失甚至崩塌滑坡而摧毁建设工程本身，而且也会通过环境与安全灾害对人民生命财产安全造成影响和威胁。因此，边坡开挖后必须及时对其进行合理的防护，以降低环境与安全灾害的发生。生态护坡方式则是同时解决边坡生态与安全问题的最佳选择。

已有各种生态护坡技术均存在各种不足：①栽植绿色植物存在见效慢，成本高，养护费用高，对坡面的生长条件要求高等问题，如对于石质边坡或边坡生长环境极其恶劣的地方，很难直接采用栽植植物的方法改善边坡环境。②喷覆客土不但浪费大量农田种植用土并在开挖过程中破坏农田生态环境，且土壤质量重，会加重边坡及支架负荷，养护成本高等问题。③土工格室通常是塑料材质，难以降解，日晒雨淋容易破坏，且弯曲幅度不大，只能在较平整的坡面上使用。④传统的无纺布粘合剂草坪植生毯或植生带，抗拉强度低，植物生长基质易滑落，只适用于铺设缓坡草坪，此外，植生袋装土堆砌方法，施工复杂、成本高，且自身存在整体稳定性安全隐患。

贡嘎山站高级工程师李伟带领团队研发了一种高陡边坡护坡用绿化毯，可有效克服已有生态防护技术在高陡边坡护坡方面存在的不足。该绿化毯自上而下由上表面网层、上包裹层、保温层、种子层、基质层、吸水层、下包裹层和下表面网层构成，所述上表面网层和下表面网层通过骨架、骨架之间的隔板相连形成小隔室，且上表面网层、下表面网层与骨架的材质为不可降解的钢丝。绿化毯用钢钉锚定在高陡边坡基面上，通过上下表面网层的主动防护和种子层生根发芽来修复固定岩石边坡。该技术以边坡安全为前提，其防护效果好，尤其适用于高陡岩石边坡，具有良好的应用价值。该技术已获得国家实用新型专利授权（ZL201720911018.6）。

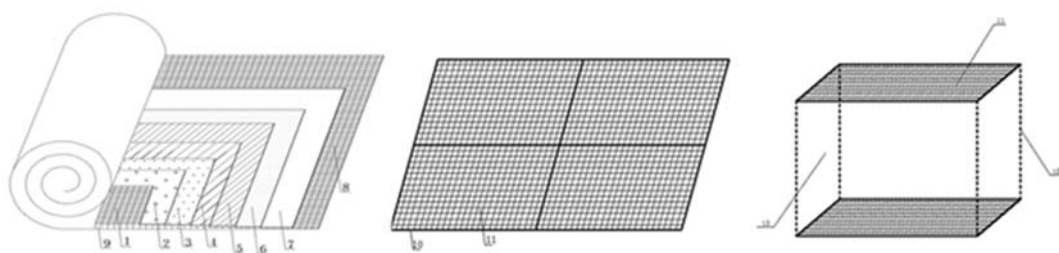


图 4.5 绿化毯结构示意图（1-上表面网层，2-上包裹层，3-保温层，4-种子层，5-基质层，6-吸水层，7-下包裹层，8-下表面网层，9-小隔室，10-上下表面网层，11-麻网，12-骨架，13-隔板）

2) 大渡河干暖河谷植被恢复技术与试验示范

大渡河干暖河谷及其所在的横断山区是独特的自然、气候和地理单元，具有地质作用强烈，水土流失严重，滑坡、泥石流、崩塌等山地灾害频繁，以及生态环境脆弱等特点。过去长期的过量森林砍伐，落后的农、牧业生产方式，导致水土流失、草场退化、

森林退化严重，生态服务功能低下。开展大渡河干暖河谷植被恢复技术与试验示范可开发、集成干暖河谷植被恢复技术，可为干暖河谷区植被恢复、水土保持和自然灾害防治提供技术支撑。

贡嘎山站朱万泽研究员带领其团队在开展国家重大研发计划专题“干暖河谷退化植被恢复与稳定性技术试验示范”过程中，筛选干热河谷区优势乡土物种，依据立地基底、立地形态特征、立地表层特征和生物气候条件等因素划分立地类型，并针对不同立地类型开发集成有针对性的植被恢复技术，并展示推广示范。

2018年，专题组结合当地干旱半干旱地区生态综合治理项目的实施，在汉源县富林镇清富村营造植被恢复试验示范200亩，树种选择为黄连木、合欢，株行距为 $2\text{m} \times 3\text{m}$ ，种植密度为110株/亩，种植成活率在95%以上。



图 4.6 乡土树种筛选

3) 植烟土壤质量提升关键技术与集成应用

由于多年连作，在生产中过度使用无机肥料和农药，造成四川省植烟区土壤理化性状变差、重金属污染严重、土壤肥力下降，烟草病虫害逐年加重，严重影响烟叶的产量与品质。开展植烟土壤质量提升关键技术与集成应用，可改善土壤结构，提高烟叶产量和品质，增加烟农收益。

贡嘎山站张丹研究员带领团队完成了四川省植烟区（攀枝花烟区、广元烟区、宜宾烟区、泸州烟区）土壤理化性质调查，分析了植烟区土壤肥力及重金属污染程度，建立了四川省植烟区烟草重金属含量分布图谱。集成并示范了四川省植烟区土壤质量提升关键技术9项，完成了四川省植烟区土壤质量提升前后的土壤肥力综合评价。研究结果证明项目承担过程中进行的大量田间试验效果显著，在今后的生产中可继续延用并优化已获得的科学成果。项目于2018年9月通过验收，完成了四川省植烟区土壤环境的调查，开发集成了9项植烟区土壤肥力提升关键技术，显著改善了植烟区土壤结构，提高烟叶产量和品质，增加烟农收益。



图 4.7 菌渣培肥试验



图 4.8 不同土壤肥力提升技术推广示范

4) 协助精准扶贫，提出加强四川省连片贫困区山地灾害风险防控的政府决策咨询

近年来，四川省山地灾害防灾减灾成效显著，一定程度上支撑了甘孜州、凉山州等连片贫困区精准扶贫战略的实施。但是当前仍存在一些亟待解决的关键制约问题，成为山区权重致贫或返贫的重要原因。加强四川省连片贫困区山地灾害风险防控，推进部门之间在灾害防治与扶贫工作方面的有机协调、统筹山地灾害风险防控与扶贫开发规划、建立防灾减灾知识和技能培训体系，充分发挥山地灾害风险防控对精准扶贫的支撑作用，可保证精准扶贫效果长效维持。

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，协同参事室其他参事起草了“关于加强我省连片贫困区精准扶贫中山地灾害风险防控的建议”的政府咨询报告，该报告由四川省人民政府参事室报送四川省人民政府，并得到了主管省长的批示。

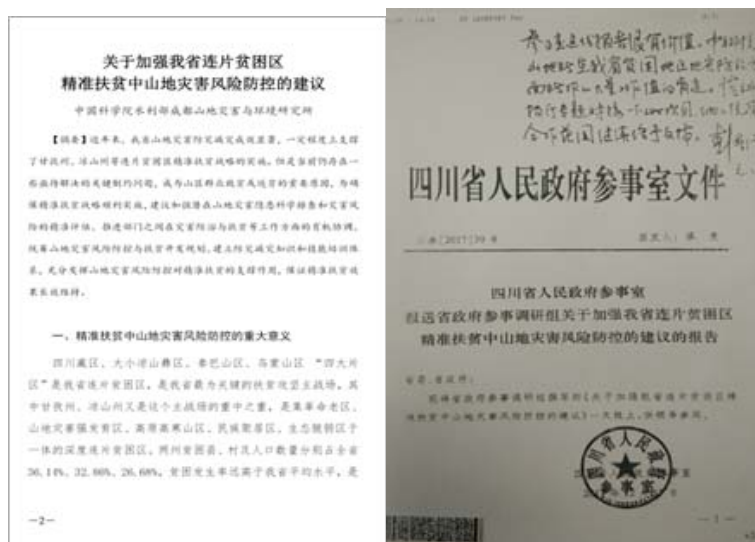


图 4.9 咨询报告复印件

5) 提出关于我省乡村振兴战略实施中全面推进“厕所革命”的对策建议

乡村地区厕所状况的好坏直接影响着群众健康与生活品质，关系着乡村振兴战略的实施、全面小康社会的实现。当前我省乡村地区厕所发展水平仍然不高，面临着卫生状况不佳，建设、改造步伐滞后，标准体系不完善，建设、运营、管理长效机制不健全等系列突出问题。因此，全面推进我省乡村地区“厕所革命”，持续提升厕所建设管理水平和卫生状况，对切实改善乡村人居环境，提升群众生活品质，加快推进“美丽四川”建设，全面建成小康社会具有重要意义。

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，联合宗浩参事起草了“关于我省乡村振兴战略实施中全面推进“厕所革命”的对策建议”的政府咨询报告。在报告中分析了乡村厕所存在的主要问题，并给出了相应的对策建议。该咨询报告由四川省人民政府参事室报送四川省人民政府，并已得到四川省人民政府办公厅的批示。

► 拉萨站

青藏高原草业工程技术研发与示范推广

参与平台名称：青藏高原草业工程技术中心

服务对象：西藏草牧业发展和农牧民增收

服务的背景和意义：草牧业是西藏自治区覆盖范围最广、从业人数最多的特色优势产业。发展草牧业经济是增加自治区农牧民收入、全面建设小康社会的重要手段，是国家生态文明建设的重要组成部分。而饲草短缺和家庭经营模式是西藏草牧业发展转型升级的主要限制因素。为此，研发集成草牧业关键技术，培育新型农牧民经营组织，以技术创新增加饲草产量，以组织创新推动产业化发展，是西藏草牧业发展转型的重点研究

方向。

服务内容和方式：拉萨站以共享服务为理念，建立协同创新平台，紧紧围绕西藏草牧业发展关键问题，引进区内外相关领域顶尖科研人员，组建协同创新团队，从野生牧草种质资源收集驯化、牧草繁育与主栽牧草种子繁育、牧草抗寒抗旱高产种植到草产品生产贮藏利用开展了全方位系统研究，突破西藏草牧业发展转型的技术瓶颈。

组织管理情况：西藏高原草业工程技术研究中心是在西藏科技厅科技管理机制改革推动下，由中国科学院拉萨农业生态试验站牵头，拉萨站余成群研究员担任中心主任。联合西藏草业科学研究所、西藏农业资源与环境研究所、西藏农牧学院、中国农业大学、南京农业大学、中国农业科学院兰州畜牧与兽药研究所、日喀则市草原工作站等区内外科研机构成立的开放、流动、共享的协同创新平台。在国家野外台站网络、西藏科技厅和中国科学院的大力支持下，草业中心以协同创新、集群创新为引领，逐步发展成为西藏高原草业科学研究的领军团队，在高原草业学科体系建设、生态环境保护、民生改善发展、本土关键人才培养等方面做出了积极贡献。

取得的成效：近年来，依托“十一五”、“十二五”时期国家科技支撑计划、农业成果转化资金、星火计划重大项目、中国科学院科技服务网络计划及西藏区域创新集群建设重点任务、西藏重大科技专项等连续十余年区内外协同创新工作，针对饲草短缺、利用低效、草地退化等西藏草牧业发展瓶颈，突破了高原地区草牧业关键技术和共性技术，发表学术论文 135 篇（其中 SCI 论文 38 篇，CSCD 论文 58 篇），出版专著（编著）4 部，研制西藏地方标准 8 项，申请发明专利 6 项、软件著作权 2 项，相关研究成果获得西藏自治区科学技术一等奖 3 项，二等奖 1 项，建立了西藏高寒地区生态保护和精准脱贫双赢的发展模式。

具体成效如下：

1) 野生牧草驯化、牧草育种与种子繁育

开展了西藏本地野生牧草种质资源收集驯化选育、优良牧草品种引种筛选与选育、主栽牧草品种种子本土生产的研究与示范工作。其中，收集了西藏野生牧草种质资源 1000 余份，建立了西藏野生牧草种质资源圃，驯化选育出了“巴青披碱草”等本地优良野生牧草品系，为退化草地恢复治理和高寒地区人工饲草基地建设提供了优良的牧草资源。引进牧草种质资源 160 余份，筛选出“中兰 1 号”紫花苜蓿、“333/A”箭筈豌豆、“青稞 1 号”青饲玉米、绿麦草等耐寒、耐旱、耐瘠薄、适宜性广的高产牧草品系，在全区推广面积已达 4000 hm²。选育出了“中兰 2 号”紫花苜蓿，具有较好的抗逆特性。突破了紫花苜蓿、箭筈豌豆、鸭茅、垂穗披碱草等主要栽培牧草品种本土大面积繁种技

术，种子产量均提高 20%以上，苜蓿实现了大面积繁种的技术突破。这些成果有效解决了西藏优良牧草种质资源匮乏、本土种子繁育能力弱的问题，为近年来西藏草牧业快速发展的奠定了坚实的基础。

2) 牧草抗逆高产种植管理

在详细调研西藏土地资源状况、农业气象条件基础上，提出了人工饲草基地建设的时空拓展理念及配套技术体系，充分利用和挖掘边缘土地、麦后余热资源潜力，建立规模化牧草种植示范基地。针对农区大量可利用荒地、中低产田等立地条件，系统研究集成了牧草抗旱、抗寒、耐瘠薄的高产栽培技术，以及粮饲复种技术，制定了黑麦草、箭筈豌豆、苇状羊茅等 6 个牧草品种的种植技术标准。该成果有效解决了西藏人工饲草基地建设保障青稞安全的“争地”问题，将为西藏“十三五”时期新增 100 万亩人工饲草基地提供技术保障。

3) 草产品加工与利用

结合青藏高原特有的光热条件，研究集成出西藏特殊生境条件的青干草干燥技术以及草颗粒、草块生产工艺，探讨了青贮饲料发酵品质动态变化规律，研发出主栽牧草和农作物秸秆混合青贮技术及发酵品质调控方案，开发了青稞酒糟青贮添加剂，研制出适应西藏特殊自然条件的特异性乳酸菌剂，提出了青贮饲料分装及抗有氧腐败技术措施。该成果不仅降低了牧草营养成分流失，而且充分利用作物秸秆资源解决了青贮原料不足问题，克服了农作物秸秆单独饲喂营养价值低、适口性差的缺陷，为进行草产品商品化生产积累了扎实的技术基础。

4) 草牧业技术体系构建与精准扶贫

西藏地形地貌复杂，生态系统类型多样，典型区域草牧业发展缺乏成套技术体系支撑。根据农牧资源禀赋和草牧业发展现状，在典型农业村、半农半牧村建立了草牧业技术体系，通过创新组织经营模式、建立草牧业科技服务网络，打通了科技成果转化的“最后一公里”障碍。在典型农业村，建立了草地农业技术体系，探索了股份合作、专业合作两种农牧民专业合作社运营机制，开展了人工牧草种植、青贮饲料生产、牲畜健康养殖、畜产品加工技术示范；在典型半农半牧村，建立了草地畜牧业技术体系，开展了退化草地恢复治理、放牧+补饲等技术示范，推动示范村畜牧业产值翻倍增长，促进农牧民户均每年持续增收 2000 元。该成果为深入贯彻落实农牧结合发展战略和推进草牧业发展转型建立了模式样板。

随着全面建设小康社会节点的不断逼近，以及脱贫攻坚工作的深入开展，西藏各地市加大了草牧业发展支持力度，把推动草牧业发展转型作为促农增收、产业扶贫重要抓

手。在西藏地方政府的宏观指导下，草业科技成果转化迎来了前所未有的契机，先后在山南市建成牧草种子繁育示范基地 1500 余亩，在拉萨市、山南市、日喀则市、那曲地区建立优质牧草高产栽培示范基地 6 万余亩，在山南市建立粮饲复种基地 4000 余亩，针对典型农业村、半农半牧村、农林牧结合村资源禀赋和生产现状，研究集成了草地农业、草地畜牧业、农林牧一体化技术体系，建立了草牧业科技服务网络，建成农牧结合示范基地 3 处。同时，结合南木林县艾玛乡草牧业开发，饲草产业专项提供了全方位的成套成熟技术服务，建成全国第一家省级草牧业科技示范园——西藏草牧业科技示范园（筹）。

据不完全统计，饲草产业专项取得的科技成果西藏地区也得到了大面积推广与示范，累计面积已达 30 余万亩，推广示范区人工草地单位面积产草量增产 40%~50%，经济效益达 4 亿元，为西藏“十三五”时期实现“新增人工种草面积 100 万亩、肉奶产量达到 100 万吨”的发展目标提供了坚实的技术支撑。

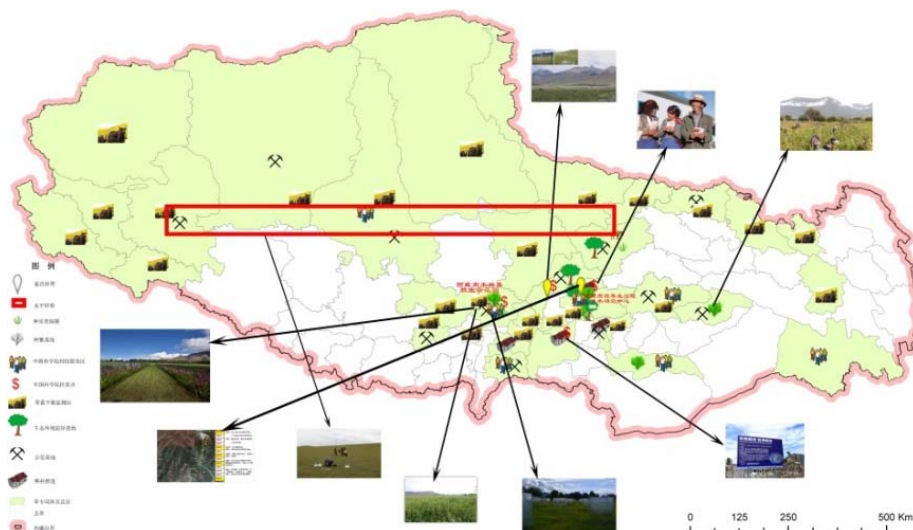


图 4.10 高原草牧业科技成果推广示范布局图

5) 2018 年开展的重点工作

① 种植空间潜力分析 利用遥感与 GIS 技术对日喀则宜草土地进行了估测和评价，为草牧业规划奠定基础。日喀则地区最适宜开发的宜草荒地 32.8 万亩，约占日喀则总面积的 0.12%；适宜面积为 113.3 万亩，占日喀则总面积的 0.42%；勉强适宜面积 87.1 万亩，占日喀则总面积的 0.32%。根据实际情况适宜以上面积共 146.4 万亩，占日喀则总面积的 0.54%。

② 时空拓展复种技术研发 全区有 50% 的耕地（250 万亩）适合开展复种，麦后复种芫根产量为鲜重为 4801.0kg/亩，麦后机械复种饲料油菜+箭筈豌豆产量 3600kg/亩，可提供约 500 万只以上绵羊饲草供给，极大地缓解草畜矛盾。目前，西藏复种的耕地面

积仅有 30 万亩左右。

③ 草地混播技术研发 箭筈豌豆、绿麦草、燕麦 3 种牧草混合播种时混播体系表现出了明显的产量优势，JYL1（40%+30%+30%）是最适宜拉萨河谷区的混播组合。。

④ 草产品加工-草饼干研发 开发了高原牲畜冬季补饲饲料配方和草饼干产品，试验组羊按每天平均 1.43 Kg “草饼干”进行饲喂（上下浮动 10%，即 1.29 Kg~1.57 Kg），结果表明，试验组羊 60 天平均增长 13.0 ± 3.1 Kg，即每天平均增长 200 ± 50 g/d；而对照组（放牧不补饲）羊每天体重损失 22.77 g/d。其中试验组羊的育肥快速增重期在第 12 天~第 57 天。

⑤ 草产品加工-FTMR 饲料研发 青稞酒糟替代箭筈豌豆四个 FTMR 配方有氧稳定性比较研究，酒糟在发酵 TMR 中所用比例为 30% 时其发酵品质、营养价值和有氧稳定性最佳。

⑥ 项目出版专著 1 本，获得发明专利 3 项；发表论文 32 篇，培训人员 400 人次。





图 4.11 专利证书；芜根复种；草饼干研发

➤ 祁连山站

受“十二五”国家科技支撑课题“冻土过渡带退化草地恢复技术和试验示范”资助，在疏勒河上游河源区选取数千公顷“黑土滩型”高寒退化草地开展人工建植试验示范工作。通过建立人工建植技术标准（如播种深度选取地下 5 cm 深），合理筛选乡土草种（如垂穗披肩草），使得疏勒河源多年冻土区“黑土滩”型高寒退化草地植被覆盖度已提高至大约 46%，草地地上生产力每公顷增加 911 kg（增幅 165.6%），地下生产力每公顷增加 2455 kg（增幅 31.3%）；植物生长盛期表层土壤均温降低约 2.0℃ 而含水量增加约 5.4%，土壤有机碳和全氮含量分别提高约 12.2% 和 25.9%；鼠害防治效果显著，鼠洞密度合计减少约 45%，其中新生鼠洞密度减少约 60%。草地生态系统多项指标均趋于良性变化，生态系统服务功能得以显著改善。



图 4.12 疏勒河上游河源区高寒退化草地人工建植试验示范工作

➤ 三江源站

1) 天然草地牧草返青期休牧和季节性配置技术

牧草返青期是植物生长的关键物候期，也是草地生态系统最脆弱的时期，实施返青期休牧可使草地得以休养生息，有效防止草地退化，对提高草地生态系统生态服务功能、实现草地可持续利用有重要意义。

2018 年课题组继续在贵南县嘉仓生态畜牧业专业合作社、贵南县黑藏羊场和贵南县雪域诺央家庭牧场三个示范地开展牧草返青期休牧试验示范。基于天然草场中度放牧利用原则，结合牛羊数量、草场面积和退化状况，制订了三江源区天然草场季节性放牧利用优化技术方案，并因地制宜加以试验示范。对示范样地的监测结果表明：返青期休

牧使得群落高度、物种丰富度等都有大幅提高，而杂草盖度和杂草生物量比例则显著降低。

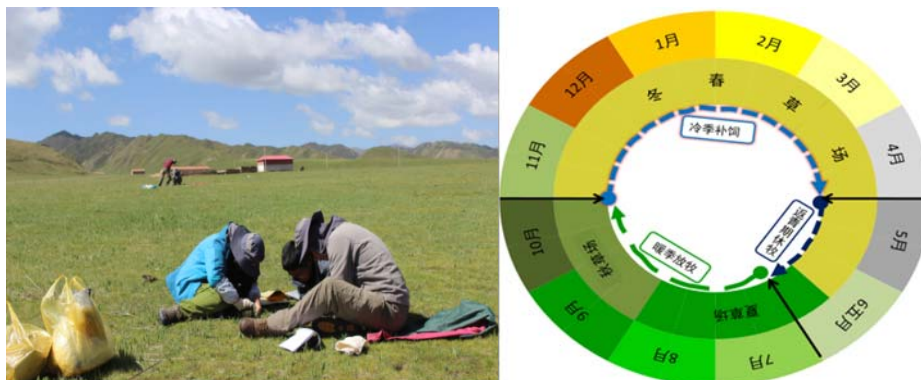


图 4.13 天然草地牧草返青期休牧和季节性配置方案

2) 藏羊高效繁殖技术

青藏高原雨热同期及“夏季短暂而湿润、冷季漫长寒冷”等特殊的生态环境条件导致高寒草地牧草生长呈现出特殊的动态变化：生长季短暂，在暖季迅速生长繁殖，冷季迅速枯萎，生物量和营养品质波动明显。与此相适应，牦牛和藏羊在暖季迅速生长并沉积脂肪，在冷季依靠消耗体内脂肪等来维持生命需要，其生长表现出“夏饱、秋肥、冬瘦、春死亡”的锯齿状上长的动态变化。根据藏系绵羊生长发育特征和生理特点，以青藏高原生态环境条件和草场牧草季节性变化为基础，结合多年的研究成果，创新性集成了藏系绵羊高效配套技术。

藏系绵羊在草场状况最好的七月底、八月初配种，在冷季牧草最为匮乏的时期即胎儿生长最为迅速的母羊妊娠后期和哺乳期采用精料补充料进行补饲，补饲量 0.1 公斤/只和 0.125 公斤/只，满足母羊和胎儿、羔羊的营养需求；根据放牧藏母羊哺乳期泌乳规律及其羔羊生长规律，确定羔羊断奶时间为 50 天，比传统放牧饲养 4 个月断奶相比缩短了 2 个月。母羊泌乳期补饲 60 天，对断奶羔羊进行半放牧半舍饲或舍饲，实现当年羔羊适时出栏。从而在缓解草场放牧压力、保护草场生态环境的同时，大幅提高藏系绵羊养殖效益。

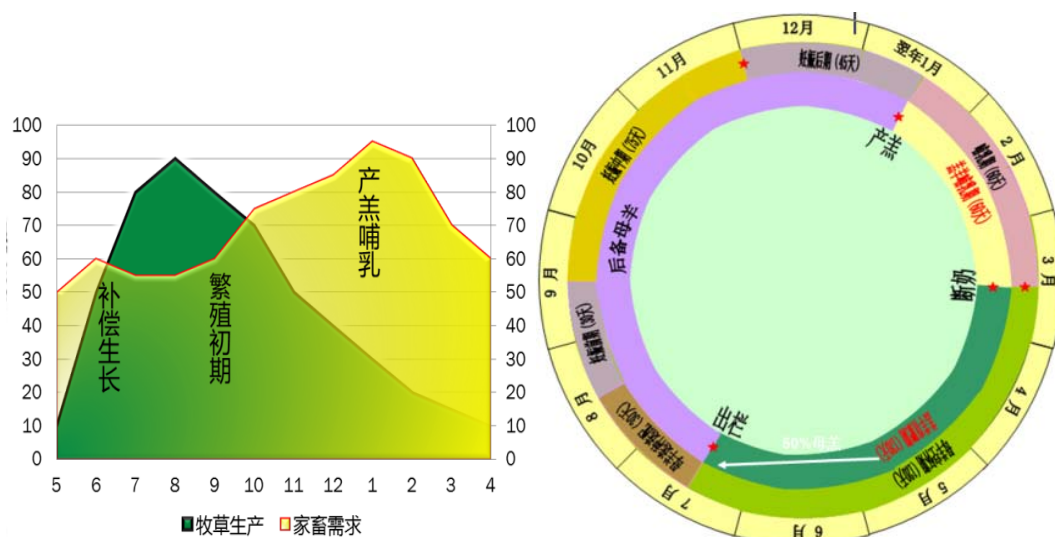


图 4.14 高寒牧区水热及牧草变化月动态及草-畜供需季节性差异 (左), 藏系绵羊冷季补饲技术流程示意图 (右)



图 4.15 高效繁殖示范羔羊群

放牧藏母羊妊娠后期适宜补饲时间及其补饲量的示范。母羊分娩前 45 天补饲 0.1 公斤/只。根据放牧藏母羊哺乳期泌乳规律及其羔羊生长规律, 确定羔羊断奶时间为 50 天, 比传统放牧饲养 4 个月断奶相比缩短了 2 个月。母羊泌乳期补饲 0.125 公斤, 补饲 60 天。通过对羔羊早期断奶及其营养供给, 羔羊 6 月龄活体均重达到了 35 公斤以上, 比传统养殖相比分别增加了 18 公斤, 成活率为 95%以上, 比传统养殖相比分别提高了 15 个百分点。科学核定了藏羔羊早期断奶后规范精准饲养技术, 使每只羔羊半舍饲养, 需要精料补充料为 72 公斤。

3) 牦牛高效养殖技术

(1) 营养补饲对围产期母牦牛生产性能的影响

由表 5 可以看出, 在自然放牧条件下, 试验组平均增重 3.71 kg, 对照组平均失重 7.41 kg, 围产期牦牛补饲后的体重比对照组平均增加了 13.39 kg, 两组差异极显著 ($p < 0.01$)。由表 6 可以看出, 在自然放牧条件下, 试验组体况上升至 3.25 分, 对照组体况下降至 2.13 分, 试验组体况比对照组多恢复 1.12 分, 两组差异显著 ($p < 0.05$)。从表 7、表 8 可以看出, 试验组产奶量比对照组多增产 340.5 g/天·头, 两组差异显著

($p < 0.05$); 试验组乳蛋白、乳脂肪、乳糖略高于对照组两组差异均不显著 ($p > 0.05$), 干物质试验组显著高于对照组 ($p < 0.05$)。可以看出, 试验组牦牛初生重比对照组平均多增重 1.6 kg/头, 两组差异显著 ($p < 0.05$)。综上所述, 通过牦牛围产期营养补饲技术能有效改善体况条件, 提高母牛体重和产奶量; 同时, 还能显著提高牦牛的初生重, 技术应用效果良好。数据调查显示, 通过实施营养补饲能使母牦牛出现一年一产的比例为 20%; 冷季母牦牛产奶量提高明显, 30 头母牛一天能出售 1-2 桶, 2.5 公斤/桶, 每桶 80-100 元。

(2) 牦犏牛适度补饲

牦犏牛出生后 30 天即开始逐渐补饲精补料, 至 3 月龄进行适时断奶。实施牦犏牛适度补饲, 精补料营养水平为代谢能 11.75 MJ/kg, 粗蛋白 20%, 粗脂肪 4.7%, 总钙 0.8%, 总磷 0.45%; 日补饲精料量 100-300 g, 青干草自由采食。实施补饲后, 犏牛生长良好, 促进胃肠道功能及早建立, 能提高犏牛断奶后对粗饲料的采食量和消化利用率; 同时能提高母牦牛发情率达 65% 以上。

冷季牲畜暖棚与营养补饲相配套 (有效降低维持能量需要), 放牧时间合理调整 (早晨不要过早出牧, 避免牦牛维持需要消耗动用自身体能量), 按生理阶段组群管理, 才能保证好的补饲效果。



图 4.16 牦犏牛补饲图

4) 冷季精准补饲全混合日粮 (TMR) 加工技术

针对项目区牛羊补饲至今仍未实现产业化、规模化和规范化饲养的问题, 以农牧区充足的牧草资源及周边地区丰富的农副产品为原料, 运用成熟的牧草种植技术和先进的生产加工手段, 进行了全混合日粮 (TMR) 技术集成示范, 将粗饲料、精饲料、矿物质元素、维生素和其他添加剂充分混合, 使牲畜在相应阶段能够采食营养平衡的饲料, 着力提高资源利用效率, 解决三江源周边农牧交错区牛羊补饲粗放的问题。

已在贵南草业公司、现代草业公司和森多镇嘉仓生态畜牧业专业合作社开展了 TMR 饲养技术开展试验示范。试验结果表明, 利用 TMR 技术饲喂牦牛比传统方式的粗蛋白消化率提高 13.27%, 料重比降低 58.25%, 有效提高了牧草利用率。

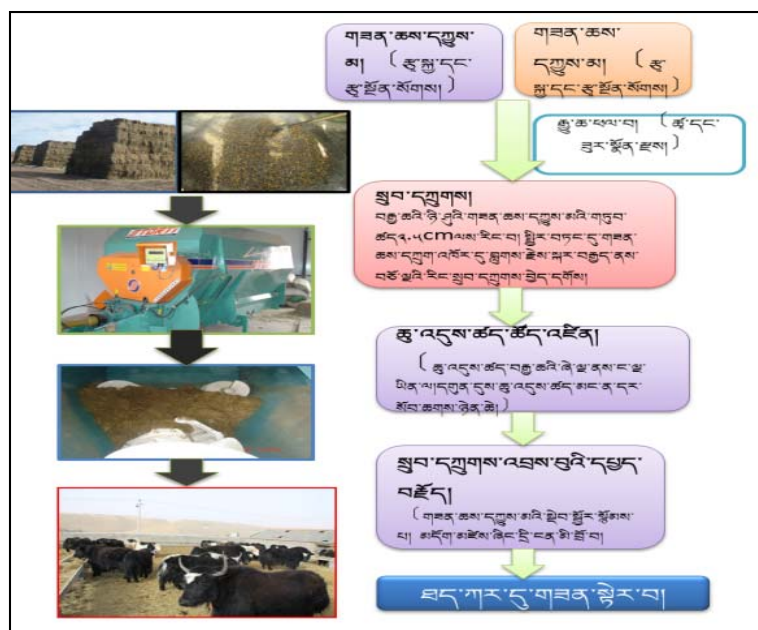


图 4.17 高寒牧区全混合日粮（TMR）技术流程

5) 优良牧草青贮的产业化

牧草青贮技术可以在保持牧草较高营养成分的基础上延长牧草保存时间，且受收获季节雨水天气影响较小，是青藏高原地区适宜的优良牧草加工保存方式。

重点监测了贵南县不同牧草混播草地的牧草产量和营养品质季节动态，同时，比较了不同商业化青贮菌剂对牧草青贮品质的影响，筛选得到三江源区适宜的青贮菌剂。在此基础上制订了三江源区优良牧草青贮技术流程，并在贵南县和泽库县的五个示范点进行了牧草青贮示范，经现场和实验室检测，青贮牧草现场评价等级为优良。同时，对其 3 个示范点青贮牧草和青干草营养品质的实验室检测表明，青贮牧草平均 pH 值为 4.14，粗蛋白和粗脂肪含量分别为 8.05%和 2.33%，分别比优质燕麦青干草高 10.4%和 61.81%。

针对牧草收获、粉碎机械化程度低、效率低这一制约贵南县牧草青贮加工进度的瓶颈问题，首次引入集牧草收割、捡拾与粉碎于一体的自走式牧草青贮收获机，牧草青贮加工效率提高了 5 倍以上。在贵南示范区和泽库县拉格日生态畜牧业专业合作社共计建成自走式青贮收获机 5 套、建设青贮壕 10 座。

另外，针对青贮牧草二次发酵等阻碍传统青贮壕青贮牧草商业化的主要问题，在贵南县示范区建成大型牧草捆裹包膜一体机 1 套。

课题实施期间，共完成优良牧草青贮加工示范 8642.3 吨

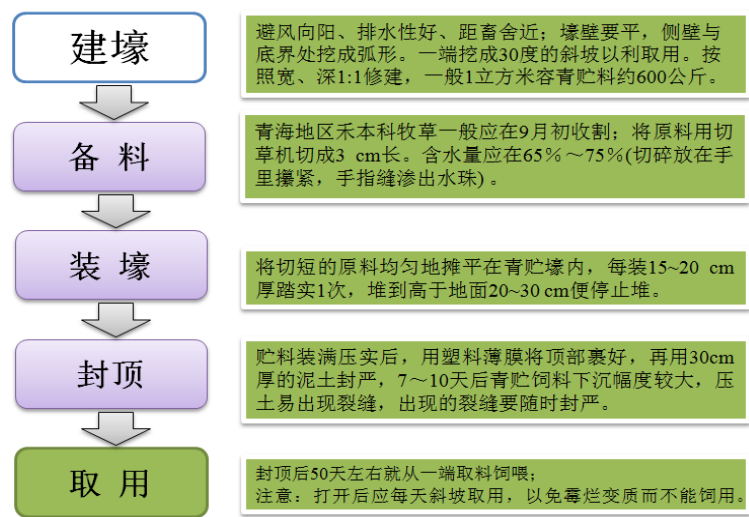


图 4.18 牧草青贮壕青贮技术流程



图 4.19 优良牧草青贮壕青贮产业化平台及青贮牧草营养品质

6) 饲草料智能配方系统

针对青藏高原饲草料资源相对短缺，尤其是冷季更为紧缺的现状，饲草料无论从质量上还是从数量上均无法满足妊娠期藏羊(牦牛)营养需求。而且随着冬春季节的到来，高原牧区牧草极度匮乏，妊娠母畜进入围产期，围产期作为藏羊(牦牛)整个生产过程中的关键环节，其吸收营养的好坏直接影响到后期生产性能的提高和犊牛的繁活率。此时妊娠家畜只放牧不补饲，这种处境对怀孕母畜和腹内的胎儿的生长发育极为不利，严重的情况下会影响到母畜的分娩、流产及母体死亡，严重影响了畜牧业养殖效益。参照美国 NRC《绵羊饲养标准》和《中国肉羊饲养标准》(《肉牛饲养标准》)中妊娠期母羊(肉牛)每日营养需求量，采用近红外光谱分析技术快速测定青海省内农副产品及牧草营养水平，基于“一种藏系绵羊母羊妊娠期补饲饲料及其制备方法和补饲方法(专利号：ZL 201110287090.3)”专利技术，借助智能饲料配方设计软件设计配合饲料配方。以充分利用油菜饼等当地饲草料资源、降低生产成本、提高饲料报酬、满足母畜和胎儿营养需要、

提升藏羊（牦牛）养殖的经济效益，为生态畜牧业发展提供技术支撑。

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。

► 青海湖站

充分利用现代化信息与技术手段，高效率地开展数据获取、传输和分析工作。运用信息化技术提升野外监测水平。2018 年，在青海湖开展了利用无人机和红外相机对保护区沙地和水鸟栖息地、野生动物的监测工作，获取了沙地的最新全景影像和大量的高分视频监控资料，为沙地的变化分析和野生动物的分析提供了重要的数据资源。使用新的技术和手段很大程度上提高了监测能力，取得很好效果，可进一步推广应用。

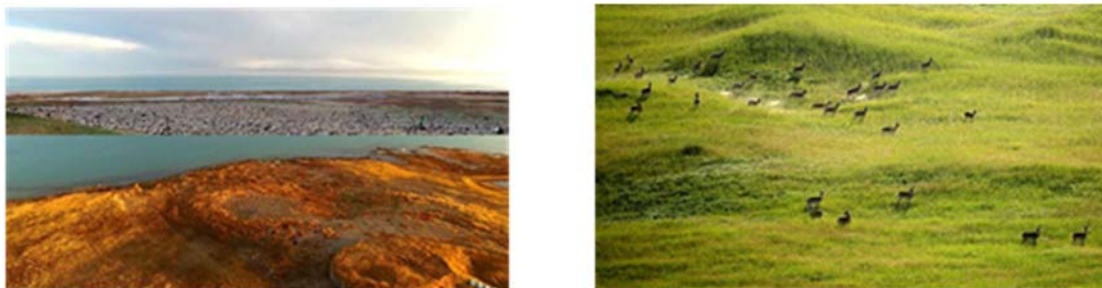


图 4.20 斑头雁栖息地变化对比（左），无人机拍摄的普氏原羚（右）

五、公众服务

► 天山冰川站

2018 年,天山冰川站接待各类学校夏令营活动、社会团体参观访问累计超过 200 人次。参观访问人员主要来自大学、中学、小学、科研院所以及社会公众。天山冰川站由专人负责,采取专题讲座、参观介绍与多媒体展示等方式,有针对性地介绍社会普遍关注的全球变暖、冰川消融、水安全等焦点问题,普及了冰川和冰冻圈科学知识,介绍了科学工作者的研究思路、研究方法、研究手段等,使公众感受到科研的严谨和求真务实的态度等,使在校学生充分认识到学习基础知识的重要性,使公众对全球变暖有了全面的理解。天山冰川站每年 2 次对 1 号冰川开展的综合观测(4 月底与 8 月底),被媒体称为对 1 号冰川的“体检”。届时,国内外主要媒体,如新华社、中国青年报、南华早报、BBC、美联社和新疆地方媒体记者都会随行进行实时报道,仅此一项,每年有新闻报告在 10 篇以上。一些记者还与考察人员同吃同住,调查采访。媒体从不同角度对公众展示冰川研究的内容、意义、以及艰苦与乐趣,引起了社会的广泛关注。

“天山杯青年学术报告会”由天山冰川站于 2009 年发起,旨在通过野外科研学术活动和报告会的方式,汇聚、挖掘和培养西部科研院所和高校研究生中具有从事冰冻圈科学领域潜力的专业人才。到 2018 年已经举办了 9 届。举办和参加单位扩大到兰州大学、西北师范大学、兰州城市学院、天水师范学院的地环学院,通过这一活动,吸引到 10 余名博士和硕士生加入冰冻圈科学研究领域行列。“本科生科研启航计划”是天山冰川站于 2013 年联合冰冻圈科学国家重点实验室,每年出资 10 万元,针对西部高校本科生而设立的人才培养计划。2018 年,有 4 所高校 31 名优秀本科生到站从事 20 余天的科研活动。

► 玉龙雪山站

2018 年 1 月,云南大学一行多人赴玉龙雪山站开展学术交流与合作

2018 年 1 月 14-15 日,中科院玉龙雪山冰川与环境观测研究站(玉龙雪山站)王世金副站长、牛贺文助理研究员,云南大学国际河流与生态安全研究院胡金明院长、何大明、田立德、刘时银教授,云南大学旅游文化学院(旅游学院)李平院长、祁顺华书记等,中科院昆明植物研究所丽江高山植物园(植物园)工作人员一行在丽江玉龙雪山对冰雪-生态旅游资源开发与保护、发展现状进行了全面调研,之后,一行人员分别对玉龙雪山站、植物园和旅游学院进行了访问交流,了解了各单位当前对丽江-玉龙雪山冰雪、生态、环境变化研究领域及其进展情况。最后,四方在未来冰雪-生态旅游学科建设、人才培养、课题研究等方面的合作框架进行了深入商讨,当前已初步形成了四方合作运行机制。



图 5.1 云南大学国际河流与生态安全研究院胡金明院长一行玉龙雪山海拔 4680 m 处合影（2018 年 1 月）

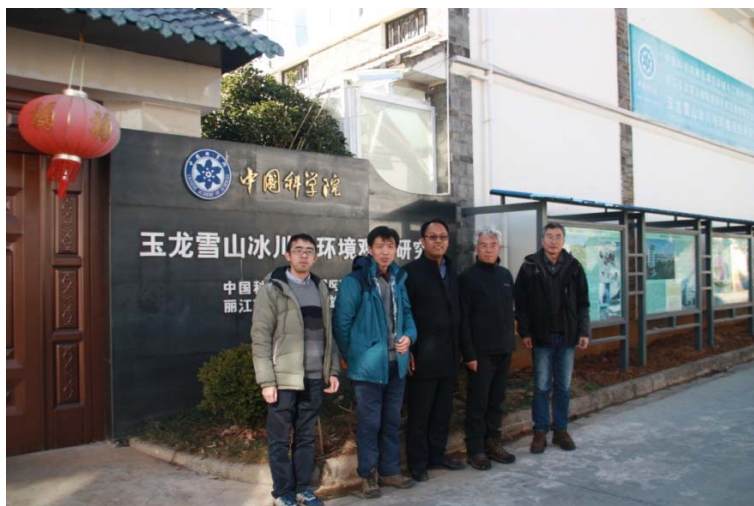


图 5.2 云南大学国际河流与生态安全研究院何大明教授一行在中科院玉龙雪山冰川与环境观测研究站合影

2018 年 5 月，玉龙站王世金站长与丽江玉龙雪山省级旅游开发区管理委员会等共同开展科普教育宣传活动

2018 年 5 月 22 日，以“关注生态环境、建设美丽丽江”为主题，丽江玉龙雪山省级旅游开发区管理委员会、中国科学院玉龙雪山冰川环境观测研究站、丽江市科技局和丽江市能环科普青少年绿色家园共同承办的科普教育宣传活动，来到位于玉龙县大具乡甲子村的甲子完小。中国科学院玉龙雪山冰川与环境观测研究站的站长、中科院副研究员王世金，用严谨的科学语言，给甲子完小的同学们讲解了有关冰川的知识。王世金用巨幅的图文做了详细的介绍，随后指着远处的雪山说：“冰川是极地高山地区地表上多年存在并具有沿地面运动状态的天然冰体。冰川是水的一直存在方式，是雪经过一系列变化转变而来的，要形成冰川首先要有一定数量的固态降水，没有这些，就等于无米之

炊，形成不了冰川。”活动最后，主办方给孩子们赠送了百余册《雪山足音书系》系列书籍以及众多学习用品，希望孩子们在学习的同时，能够继续守护我们的玉龙雪山。



图 5.3 王世金副研究员在丽江市甲子完小学开展科普教育宣传活动（2018 年 5 月）

2018 年 7 月，中国科学院玉龙站召开“第一届玉龙雪山冰川测绘研讨会”

2018 年 7 月 1 日-7 月 2 日，中国气象科学研究院气候系统（极地气象）研究所丁明虎副研究员一行 7 人，中国南极测绘研究中心艾松涛教授、杨元德教授一行 5 人，北京大学丁恣博士后、浙江省地震局孙鹏教授一行 4 人，中科院西北生态环境资源研究院沙漠研究室张威副研究员一行 2 人，山东师范大学怀保娟博士、宜春学院车彦军博士前来玉龙雪山站调研，参加我站主办的“玉龙雪山冰川测绘研讨会”。此次会议为使玉龙雪山冰川表面及冰下地形数字化，以及冰川物质平衡自动化处理与能量物质平衡模拟预测研究的实现，汇集不同领域专家的观点和意见，探讨玉龙雪山地区冰川与环境研究相关监测先进的技术方法与监测方法，促进海洋型冰川与环境变化过程与机理的研究，有助于探究区域经济可持续发展的适应对策。



图 5.4 玉龙雪山冰川测绘研讨会与会专家调研玉龙站（2018 年 7 月）

2018 年 9 月，玉龙雪山站与云南大学旅游文化学院进行深入的学术交流

2018 年 9 月 18 日，云南大学旅游文化学院旅游管理学院院长张光平一行 4 人访问玉龙站。双方就各自研究领域进行了简要的介绍，特别是对玉龙站和旅游管理学院研究中具有交叉的内容进行了深入磋商。双方提议，今后要加强与丽江市旅游发展委员会之间的联系，特别是对未玉龙雪山乃至滇西北冰雪旅游资源产品开发、客源定位、效益分析进行交流。为落实中科院野外台站的科普和环境教育属性功能，以及加强中科院研究力量服务旅游管理学院的计划，在张光平院长提一下，聘请王世金站长为该学院特聘教授，以加强双方在冰雪旅游方面的合作与交流强度。19 日，中科院玉龙站王世金站长应邀赴云南大学旅游文化学院进行学术交流，并在学院辅导员之家作了题为《中国冰雪旅游资源空间开发与规划——兼论玉龙雪山冰雪资源开发》的学术报告。



图 5.5 学术交流现场

➤ 贡嘎山站

1) 打造山地生态环境研究生教学实习基地

2018 年期间，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，进一步提升了对四川农业大学、中山大学、四川大学、北京大学等有关植物学、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。

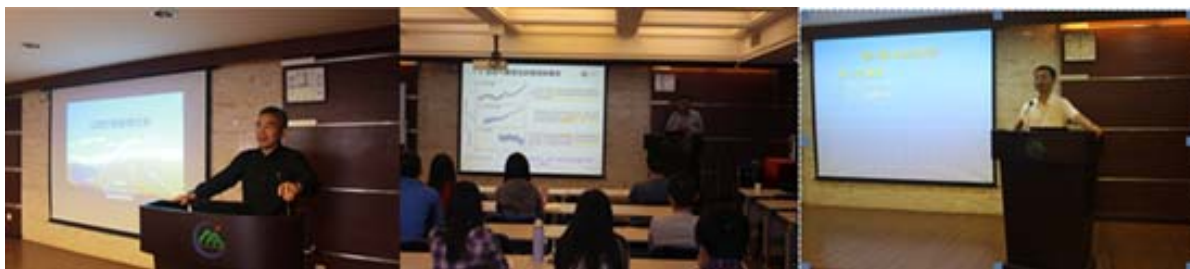


图 5.6 “山地科学概论”精品课程



图 5.7 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。

2018 年，贡嘎山站继续为海螺沟景区、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，贡嘎山站张文敬研究员、罗辑研究员、张丹研究员、刘巧副研究员等多次受金沙大讲堂、国内高校和中学的邀请，举办有关极地科考、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。

2018 年，贡嘎山站接待各类科普、研学和自然教育团体 8 个，先后举办各类科普讲座 11 场，受众 700 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。

2018 年，中国科学院科学传播局公布了 2018 年中国科学院优秀科普图书评选结果。成都山地所张文敬研究员原创的《四极探险》科普丛书荣获 2018 年中国科学院优秀科普图书。该丛书由山西希望出版社 2018 年 06 月出版发行，包含了《青藏高原探险》、《大峡谷探险》、《南极探险》和《北极探险》四册图书。该丛书翔实地

记录了作者在南极、北极、青藏高原和雅鲁藏布大峡谷进行科学考察过程中的所见所闻，以冰川学家独特的视角，运用浅显生动的文字，深入浅出地将鲜为人知的科学研究、科学发现、探险故事，以及当地的风土人情、生态环境、自然风光和人文景观，有机而巧妙地呈现出来。



图 5.8 科普报告



图 5.9 科普书籍

➤ 那曲站（西北生态环境资源研究院）

暑期野外考察实践活动

2018 年 7 月 20 日至 24 日，成都信息工程大学大气科学学院 8 名学生在那曲站进行了为期 5 天的暑期野外实践学习活动。此次暑期野外实践学习活动依托于“中国科学院大学生创新实践训练计划”项目。在站长胡泽勇研究员和站长助理王树金工程师的指导与协助下，学生们了解了各种类型的气象观测系统，学习了大气边界层的基本知识和野外观测试验各环节的重要事项，考察了那曲站周边的地形地貌，并参与了部分观测试验。



图 5.10 成都信息工程大学学生在那曲站开展暑期野外实践学习活动

2018 年 8 月 5 日至 8 月 14 日，兰州大学地学行知会 11 名成员在那曲站进行了为期 10 天的暑期野外考察实践活动，该实践团队在那曲站工作人员的指导下学习了在高原环境下工作需要了解的各方面注意事项，参观了那曲站各类型气象观测系统，了解了进行野外观测试验从计划到实施的各个环节，考察了站点周边的地形地貌，调查了当地牧区居民的生活状况，并结合当地的气候进行了分析讨论，顺利完成了这次野外考察实践活动的任务。



图 5.11 兰州大学学生地学行知会成会在那曲站开展暑期野外实践学习活动

2018 年 8 月 12 日至 16 日，浙江大学 2 名学生在那曲站进行了为期 5 天的暑期野外实践活动。此次暑期野外实践学习活动依托于“中国科学院大学生创新实践训练计划”项目，参加的学生们听取了站长胡泽勇研究员讲解的大气边界层知识构架梳理报告，了解了各种类型的气象观测系统，学习了进行野外观测试验各环节的重要事项，考察了站点周边的地形地貌，走访了当地牧区居民的生活状况，并与那曲站工人员分析讨论了大气边界层相关的理论与实践等诸多问题。



图 5.12 浙江大学学生在那曲站开展暑期野外实践学习活动

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
	影响因子	IF $\geq$ 4.0	4.0>IF $\geq$ 2.0	IF<2.0	小计	平均 IF						
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
2013 年	第一标注	13	48	63	124	2.431	5	106	7	4		2
	第二标注	5	18	8	31	4.376	1	31	1	3		1
	其他标注	10	16	12	38	4.5345		4		1		
	总计	28	82	83	193	3.157	6	141	8	8	356	3

2. 在研项目统计

基金类别		2018年(经费单位: 万元, 下同)			2017年(经费单位: 万元, 下同)			2016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	64	4605.7	659	56	4449.28	710.42	38	3277	701.9
	地区科学	0	0	0	2	89	44.5	2	100	25
	杰青	4	1550	0	2	800				
	青年基金	28	720	102.2	15	398.25	60.25	17	829	92
	优秀青年	1	130	0	1	130				
	重大项目	3	780	247	8	1537	307	1		14
	重大研究计划	12	1665	80	5	695.8	20	6	847.3	154
	重点项目	8	2447.3	12.4	5	1406.28	150	8	4629.5	880.8
	其他	9	988.3	216	7	690	238.4	8	980.2	30
	小计	129	12886.3	1316.6	101	10195.6	1530.57	80	10663	1897.7
科技部	973/重点研发计划	28	6463.4	503.3	4	1231.5	211.5	8	1466.5	290
	科技支撑计划				3	657		5	884	30
	重大科学研究计划	5	1299.6	230.1	6	1904	36	3	1514	448
	国家基础性工作专项	3	219	36	1	33		3	1415	23.6
	其他	6	1287.7	585.2	23	9160.6	1412.32	6	1555.91	186
	小计	42	9269.7	1354.6	37	12986.1	1659.82	25	6835.41	977.6
中科院	百人计划	2	470	40	2	330	60	3	600	40
	西部系列	1	20	20	10	145	52	5	100	40
	创新系列	1	80	20	1	80	20	2	180	50
	重点部署项目	6	1400	130	9	1735	320	7	925	175
	STS 计划	2	1048	28.8	2	310	60	2	180	50
	先导专项	17	9017.6	1873.3	5	5		14	465.5	142.84
	其他	15	2739	731.2	13	3002	1124.8	11	1952.5	703
	小计	44	14774.6	2843.3	42	5607	1636.8	44	4403	1200.84
其他	博士后科学基金	2	28	0	2	30	10	4	33	31
	国际合作	10	3098.1	520.5	6	2499.3	490.5	2	186	50.4
	各级实验室开放基金	1	10	0						
	所级	7	545	77	8	476	62	12	754.6	281.6
	地方	36	5696.8	2222.1	29	4645.7	1075.6	21	4077.7	1547.9
	其他	8	1242.5	583.3	8	1711.39	400.95	5	1217.24	166.8
	小计	64	10620.4	3402.9	53	9362.39	2039.05	44	6268.54	2077.7
总计		279	47551	8917.4	233	38151.1	6866.24	193	28170	6153.84

基金类别		2015 年			2014 年			2013 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	71	5269	1150.1	52	4225	1039.6	37	2638.5	758.7
	地区科学	6	236	49.49	3	158	40.5	2	108	10
	杰青	3	800	90	2	400	90	3	600	220
	青年基金	52	1228	371.8	36	958	376.1	33	914	278.2
	优秀青年	2	200	50	2	200	80	1	100	50
	重大项目	4	420	116	1	320	120	3	446	179
	重大研究计划	3	830	165	2	450	90	2	380	74
	重点项目	6	1387	281.5	6	1467	547	4	1028	344.4
	其他	1	25	25	3	330	117	1	100	30
	小计	148	10395	2298.89	107	8508	2500.2	86	6314.5	1944.3
科技部	973/重点研发计划	15	5366	1154	15	4647.5	1132.51	17	8137.5	1160.1
	科技支撑计划	21	4390.5	345	15	3410	432	14	3008.1	419
	重大科学研究计划	0	0	0	2	714	358	2	1484	
	国家基础性工作专项	5	1656	265	5	1680	385	2	2794	300
	其他	6	454	442	2	220	220	4	360	184
	小计	47	11866.5	2206	39	10671.5	2527.51	39	15783.6	2063.1
中科院	百人计划	3	470	110	2	400	110	4	800	140
	西部系列	12	725	158	16	845	291	7	685	220
	创新系列	3	740	100	5	1930	200	13	4766.9	1462.1
	重点部署项目	5	945	235	6	850	222.5	3	280	167.5
	STS 计划	6	1760	530	5	1700	650			
	先导专项	27	4051.66	523.37	21	5922.05	648.44	21	5962.05	847.43
	其他	14	466	378.65	16	2036.5	805.68	10	1166.5	1044.5
	小计	70	9157.66	2035.02	71	13683.6	2927.62	58	13660.5	3881.53
其他	博士后科学基金	7	58	16	8	66	29	1	15	
	国际合作	15	838.32	484.57	6	385	159	2	320	45
	各级实验室开放基金	7	237.5	127.5	7	255	145	4	91	85.5
	所级	15	1188.4	356.63	8	724	177.8	13	490	133.75
	地方	30	1700.4	600.8	38	1664.7	650.67	18	701.2	286
	其他	25	1342	658.9	7	1073.4	360.48	4	942.9	375.67
	小计	99	5364.62	2244.4	74	4168.1	1521.95	42	2560.1	925.92
总计		364	36783.8	8784.31	291	37031.2	9477.28	225	38318.7	8814.85

3. 新增项目统计

基金类别		2018 年		2017 年		2016 年		2015 年		2014 年		2013 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	24	1483	20	1370	18	1153.5	24	1921.02	13	1254	13	1187
	地区科学			2	56	1	39	1	50	1	50		
	杰青			3	1150			1	350	1	400		
	青年基金	11	287	17	446	9	224	9	211.5	14	374	10	260
	优秀青年	1	150					1	130	1	100	1	100
	重大项目	1	184	2	490	1	230	0	0				
	重大研究计划	1	320	1	300	2	150	6	1242.3	1	170	1	380
	重点项目	4	1240	1	330	14	8429	1	348.28				
	其他	5	1300	5	244	3	279	0	0			2	320
	小计	47	4964	51	4386	48	10504.5	43	4253.1	31	2348	27	2247
科技部	973/重点研发计划	3	483.8	6	1076.1			1	448			3	255
	科技支撑计划							0	0			1	1379
	重大科学研究计划	1	543	1	70			0	0				
	国家基础性工作专项	2	56	1	30			0	0				
	其他	5	280	4	235			0	0			2	210
	小计	11	1362.8	12	1411.1	0	0	1	448			6	1844
中科院	百人计划							2	210				
	西部系列	3	145			1	10	2	35	1	10	4	80
	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	3	144	2	1140			2	60	5	1550		
	先导专项	19	12913.5	1	566			0	0				
	其他	20	2892.2	5	702.15	5	230	2	55			2	178.7
	小计	46	16174.7	9	2708.15	10	2885	8	360	6	1560	6	258.7
其他	博士后科学基金	1	8			2	30	3	20	1	15	4	23
	国际合作	2	275	3	102			2	135				
	各级实验室开放基金							3	37.5			6	120
	所级	1	10	4	165	5	290	3	390				
	地方	18	3669.6	6	2402	11	3701	8	139	3	36	4	186
	其他	4	710.5	9	1723			11	2594.64	2	182	2	210
	小计	26	4673.1	22	4392	18	4021	30	3316.14	6	233	16	539
	总计	130	27174.6	94	12897.3	76	17410.5	82	8377.24	43	4141	55	4888.7

4. 结题项目统计

基金类别		2018 年			2017 年			2016 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	18	1634	97.5	12	940	130	10	489	145.2
	地区科学							1	50	
	杰青									
	青年基金	12	677		10	202	71.4	10	182	11.9
	优秀青年									
	重大项目	1	340					2	390	40
	重大研究计划	5	462.6	50	2	200	30			
	重点项目	3	640	84	2	155		1	350	105
	其他	2	140		2	320	20			
	小计	41	3893.6	231.5	28	1817	251.4	24	1461	302.1
科技部	973/重点研发计划	2	713.5		6	1950	335	1	95	0
	科技支撑计划				4	792	20	2	66	34
	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	5	1001.9	28.4	14	5407	375	3	161	34
中科院	百人计划	3	450		1	150	50			
	西部系列	4	65	35	2	30	5	2	60	10
	创新系列	1	100	50						
	重点部署项目				3	385		1		65
	STS 计划	1	100		1	540	180	1	145	45
	先导专项	3	6.33	6.33	9	1243.4	11	3	211.15	25
	其他	6	1030	185	2	130	30	8	489	139.49
	小计	18	1751.33	265	18	2478.4	276	15	905.15	284.49
其他	博士后科学基金	1	2.5		5	8	5	5	28	15
	国际合作	1	45	45	2	320	15			
	各级实验室开放基金	4	86	31						
	所级	1	10					8	281.5	65
	地方	12	3094	116.7	13	1672	101	11	233	65.4
	其他	6	1809	795.2	10	338	70	2	21	0
	小计	25	5046.5	987.9	30	2338	191	26	563.5	145.4
总计		89	11693.3	1512.8	90	12040.4	1093.4	68	3090.65	765.99

六、年度数据统计

基金类别		2015 年			2014 年			2013 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	21	1232	145.25	1	50	15	8		63.5
	地区科学	1	58	10						
	杰青				1	200	30	2		200
	青年基金	12	343	79.3	16	447	77	5		15
	优秀青年	1	100	50						
	重大项目									
	重大研究计划									
	重点项目				2	398	50	1		10
	其他	6	136	42.6	2	40	40			
	小计	41	1869	327.15	22	1135	212	16		288.5
科技部	973/重点研发计划	1	83		8	1256.5	115.98			
	科技支撑计划	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	10	2810.5	140	15	4137.5	431.98	3		158
中科院	百人计划				2	400	80			
	西部系列	6	600	190				1		20
	创新系列	5	800	70				5		90
	重点部署项目	1	80	30						
	STS 计划									
	先导专项	7	1788.2	94						
	其他	6	426.5	233.75	5	754.96	719	2		86.5
	小计	25	3694.7	617.75	7	1154.96	799	8		196.5
其他	博士后科学基金	3	28	8						
	国际合作	9	161.4	20	1	30	12	1		30
	各级实验室开放基金	4	77.5	32.5	2	26.7	26.7	5		140
	所级				2	50	15	1		5
	地方	19	325.2		7	305	10	7		293
	其他	3	424.4	56.38	3	59.5	29.5			
	小计	38	1016.5	116.88	15	471.2	93.2	14		468
总计		114	9390.7	1201.78	59	6898.66	1536.18	41		1111

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
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
2013 年	硕士	44	83	25	152
	博士	17	90	12	119
	总数	61	173	37	271

七、大事记

4 月	- 4 月 27 日，由中科院科技促进发展局主办、青藏高原研究所承办的“墨脱地球景观与地球系统综合观测研究中心”暨“墨脱地球全谱景观园”建设研讨会在西藏自治区林芝市墨脱县召开。西藏自治区副主席孟晓林、科技厅厅长赤来旺杰、林芝市副市长徐龙海、墨脱县常务副县长多吉扎西，中科院科技促进发展局副局长孙命、生物技术处处长周桔，特邀专家中科院生态环境研究中心傅伯杰院士、厦门大学焦念志院士、中山大学高锐院士、广州大学章典教授、武汉植物园主任张全发、华南植物园主任任海、西双版纳热带植物园主任陈进、昆明植物所党委书记杨永平、植物所副所长景新明及其他相关领域专家，会议承办单位青藏高原所所长陈发虎院士、丁林院士、党委副书记（主持工作）兼副所长董伟锋、副所长安宝晟等领导、专家及工作人员共 40 余人参加了会议，会议由孙命、傅伯杰分别主持。
5 月	- 4 月 29 日至 5 月 3 日，青藏高原所所长陈发虎院士一行到青藏高原所藏东南站、纳木错站、珠峰站实地调研野外台站观测体系建设内容，听取野外台站值班站长的现场汇报，了解各站近年来开展的各项科研工作进展及未来规划，并对需要进一步补充和完善的观测内容进行了讨论。
6 月	- 6 月 10-11 日，兰州大学南志标院士在实验室主任贺金生教授的陪同下，赴青海海北高寒草地生态系统国家野外科学观测研究站进行了考察。 - 6 月 14 日，生态环境部监测司督察处处长佟彦超在中国科学院科技促进发展局杨萍研究员和中国科学院地理科学与资源研究所何洪林研究员的陪同下，赴海北站进行了调研。 - 6 月 16 日，傅博杰院士赴海北站进行了调研，实地参观了海北站园区、全球变化和高寒草地适应性管理研究方面的野外观测设施，就海北站的学科方向定位和发展提出了建议与良策。
7 月	- 7 月 9 日，海北站组织高原生物学及青藏高原生态安全基础与前沿大学生暑期夏令营。 - 7 月 11 日至 13 日，中科院党组成员、副秘书长何岩深入中科院慕士塔格西风带环境综合观测研究站实地调研和指导工作，并慰问长期驻守观测站的工作人员，青藏高原所所长陈发虎院士、党委书记兼副所长董伟锋等陪同调研。 - 7 月 20，海北站组织了青海大学精英班夏令营，赴海北站进行了祁连山生态环境调查、试验站研究内容与进展及其实验设施的考察。

8 月	- 8 月 9 日，中国气象局副局长宇如聪一行到那曲站，调研和了解了那曲站的台站建设、项目参与和数据共享等方面的情况，并对在站的科研人员进行了慰问。 - 8 月 14 日，中国人民解放军总装军备副部长张育林中将莅临藏东南站指导工作。
9 月	- 9 月 5 日，海北站组织高寒草地适应性管理及退化草地修复技术培训。
10 月	- 10 月 16 日，青海省林业厅副厅长张亚玲一行赴海北站调研，签署了《祁连山国家公园建设战略合作框架协议书》。 - 10 月 17 日凌晨 5 点，雅鲁藏布江所在林芝市米林县派镇加拉村附近河谷发生堵江，形成堰塞湖，上游水位上涨，对当地和下游区域居民生命财产安全造成极大的威胁。藏东南站迅速开展气象监测数据分析，支持堵江灾害原因及未来可能发展趋势分析。
11 月	- 11 月 6 日，石广玉院士一行莅临玉龙雪山站指导工作。 - 11 月 19 日，巴彦淖尔市气象局一行调研那曲站，胡泽勇站长与他们就荒漠区植被及生态气象要素监测和草原荒漠生态气象干旱研究进行了深入的探讨。 - 11 月 27 日，北京分院院副院长、分院党组成员张鸿翔一行藏东南站开展安全检查指导工作。
12 月	- 12 月 3 日，中科院青藏高原所野外站工作会议召开。会议围绕《科技部基础研究司关于对国家野外科学观测研究站建设运行情况开展梳理总结工作的通知》（国科基函〔2018〕45 号）的精神举办此次工作会议，回顾总结研究所野外站建设发展情况，促进现有和在建野外站不断提升观测研究水平，更好地聚焦科学目标，服务国家需求。

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	张扬建	010-64889703	zhangyj@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