

第二次青藏高原综合科学考察研究

工作简报

2020年第4期（总第11期）

第二次青藏高原综合科学考察研究队 2020年4月25日

重要动态

刘宁主持召开青海省第二次青藏高原综合科学考察研究领导小组会议

2020年3月26日，第二次青藏科考领导小组副组长、青海省委副书记、省长刘宁在主持召开青海省第二次青藏高原综合科学考察研究（简称“第二次青藏科考”）领导小组会议。他强调，要深入贯彻习近平总书记重要指示精神，全面落实第二次青藏科考领导小组会议部署要求，服务国家战略、尽好青海责任，进一步服务好、保障好、推进好第二次青藏科考工作，切实把国家重大战略机遇转化为推进青海省高质量发展的优势和成果，为青藏高原生态环境保护和经济社会发展做出新贡献。

刘宁指出，自第二次青藏科考启动以来，青海省各地各部门深入贯彻中央决策部署，按照省委、省政府工作要求，主动融入国家战略，积极作为、协调配合，重视程度高、参与范围广、推进力度大、服务保障实，推进科考工作取得重

要阶段性成果。

刘宁强调，第二次青藏科考当前进入关键阶段。要深入贯彻习近平总书记重要指示精神，深刻认识青藏高原是世界屋脊、亚洲水塔，是地球第三极，是我国重要的生态安全屏障、战略资源储备基地，是中华民族特色文化的重要保护地，要准确把握揭示青藏高原环境变化机理、优化生态安全屏障体系、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等重点任务。要找准青海省的立足点、优势点和切入点，推动研究一批问题、完善一批政策、调整一批规划、形成一批机制，努力形成一批成果、凝练一批工程、建设一批项目、培养一批人才，不断深化青海省情认识，优化青海省科技体系，提高全省人民科学素质，加快推进绿色发展。

会议传达学习了科技部、中科院和第二次青藏科考队的工作要求，听取了青海省推进第二次青藏科考进展情况。副省长张黎出席会议并作具体部署，有关市州和部门负责人作了发言。

刘宁调研第二次青藏科考综合服务信息系统建设等工作

2020年4月17日，第二次青藏科考领导小组副组长、青海省委副书记、省长刘宁赴青海师范大学调研第二次青藏科考综合服务信息系统建设等工作。刘宁指出，青海具有地域广阔、水资源丰富、光照充足等独特优势，当前又面临国

家实施黄河流域生态保护和高质量发展、第二次青藏科考等重大战略机遇，要认真贯彻习近平总书记“三个最大”重大要求，进一步深化青海省生态系统服务价值核算、资源潜力评估、碳汇产业等研究，深化省情认识，找准科研攻关和转化的切入点、着力点。

刘宁强调，青藏科考综合服务信息系统建设是青海省主动服务国家战略的具体行动，要深入贯彻习近平总书记重要指示精神，切实提高科考效能、服务质量和保障水平，更多体现青海在第二次青藏科考中的责任担当。要进一步加强部省科技共建工作，持续推进青藏科考大数据中心、展览中心、服务保障基地、成果转化示范基地等建设，协调好青藏科考各项服务保障工作，助推经济社会发展。

任务动态

“高原生长与演化”任务系列古生物成果 入选 2019 年度中国十大古生物学进展

2019 年 4 月 7 日，中国古生物学会在南京发布年度中国古生物学十大进展，由第二次青藏科考“高原生长与演化”任务有关科考队员完成的“白垩纪缅甸琥珀揭示远古森林环境和被子植物昆虫传粉证据”名列其中。

琥珀是远古植物的树脂经过长久的地质作用形成的化石。由于产生条件和保存环境的限制，琥珀很少保存水生生物，海洋生物更是凤毛麟角，而水生生物化石常常能提供关

键的生态环境信息。缅甸琥珀菊石的研究表明该琥珀森林位于热带海滨地区，为琥珀埋藏学和白垩纪森林生态环境分析提供了新见解。

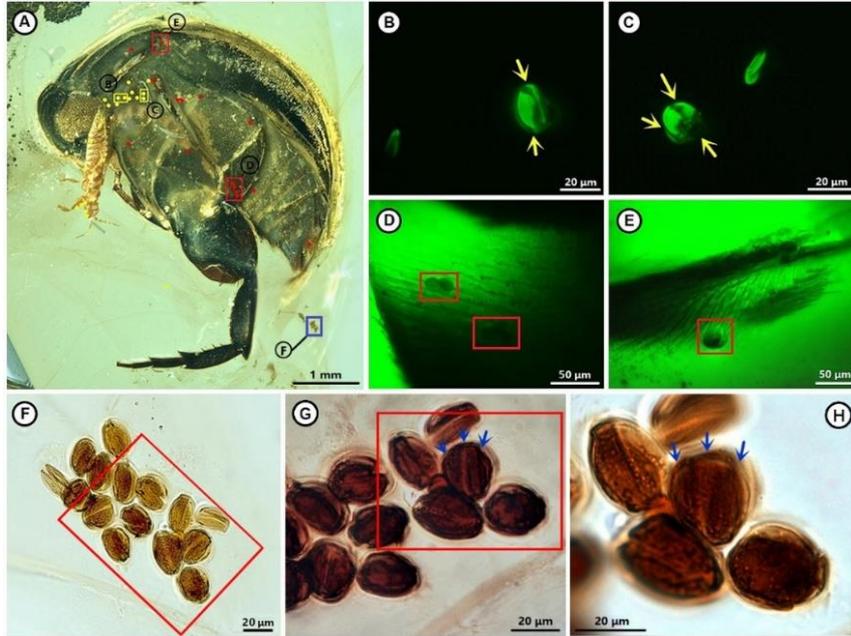


图 1：缅甸琥珀中的传粉花蚤和花粉

形态分析表明该菊石是一个幼体标本，归入普周（*Puzosia*）菊石亚属。该菊石类群的分布时限为白垩纪晚阿尔必期到塞诺曼期（约 105—93 百万年前），进一步支持了先前的同位素地质年代学结果。琥珀的时代处于白垩纪的中期。该时期的化石记录显示被子植物（当今最繁盛的植物类群）突然大量出现，达尔文将这一“反常现象”称为“讨厌之谜”。琥珀中传粉甲虫（见图 1）的研究表明真双子叶植物的虫媒传粉机制已经于 1 亿年前出现。该结果证实了许久以来学者们关于白垩纪甲虫是早期被子植物传粉者的猜想，填补了早期被子植物虫媒授粉证据的空白，为解答达尔文的“讨厌之谜”提供了关键证据。

中亚黄土来源取得新认识

中亚黄土的来源是中亚第四纪古气候研究的一个重要科学问题，是古气候指标解译、古大气环流复气候环境重建研究的难点之一。2020年2月，国际地学综合期刊《Earth-Science Reviews》(地球科学评论)刊登了一篇文章，对世界黄土的分布和成因作了全面系统的总结，该文将中亚黄土的成因归为“山地源区—河流搬运—沙漠过渡”(MRD)模式，但这一划分的依据仅仅来自于传统的认识，缺少更加直接和明确的证据。

近期，第二次青藏科考“西风—季风协同作用及其影响”任务“西风—季风历史演化及相互作用机理”专题研究团队，根据近几年在中亚黄土元素地球化学示踪方面的工作，结合中亚地区粉尘排放的现代观测数据，提出中亚地区的沙漠并不是中亚山麓黄土的主要物质来源区。通过分析我国西北部伊犁盆地、哈萨克斯坦东南部以及塔吉克斯坦南部的黄土沉积物和塔里木盆地风成沉积物地球化学特征，发现在中亚黄土的形成过程中这些地区的沙漠并未扮演着重要的“中间储库”的角色。相反，山麓冲洪积物以及河流冲积物作为中亚黄土和沙尘的最主要的物质来源。

这些新的认识也同时得到现代卫星观测资料的证实。因此，中亚黄土并非严格符合MRD模式，系“山地源区—河流搬运”(MR)模式，这对中亚黄土气候代用指标解译和气

候古气候重建具有重要意义，同时对研究亚洲起沙、搬运和沉积过程等沙尘循环等提供了重要参考。

高亚洲地区融雪开始时间数据集 (1979—2018 年) 发布

高亚洲地区对气候变化非常敏感，是全球变化研究的热点区域。积雪和冰川对气候变化十分敏感，气温的升高将导致冰雪融化时间的变化，相反，积雪状态的变化也会通过反照率对气候有反馈作用。气温和降水的变化会在冰雪冻融的时间上反映出来，从融雪时间变化上也能反映出气候变化对冰冻圈的作用。

近期，第二次青藏科考“亚洲水塔动态变化与影响”任务“亚洲水塔区水循环动态监测与模拟”专题研究团队，利用搭载于卫星上的微波辐射计和微波散射计观测数据，反演了高亚洲地区过去四十年（1979—2018 年）冰雪融化的初始时间。其中，微波辐射计所反演的冰雪融化初始时间空间分辨率为 25 km，微波散射计所反演的冰雪融化初始时间空间分辨率为 5 km。对时间序列平均冰雪融化时间的分析发现，高亚洲大多数地区冰雪融化时间有提前趋势，只有喀喇昆仑山和部分西昆仑山地区保持相对稳定，甚至有一定延后趋势。通过分析高程与融化时间变化速率的关系，发现变化速率与高程呈现正相关。

这表明，低海拔地区更容易受到气候变化的影响而出现冰雪融化开始时间的提前，而高海拔地区融化时间较为稳定，

甚至出现轻微延后。该数据可为高亚洲气候变化及其对高亚洲地区冰冻圈影响等方面研究提供支持，同时通过该数据可进一步理解高亚洲地区冰冻圈环境变化的时空趋势和特征。目前该数据集已经在国家青藏高原科学数据中心 (<http://data.tpdc.ac.cn>) 共享，可免费获取。

科考解析气候变化影响下拉萨河上游 流域水量不平衡问题

随着全球变暖，青藏高原上冰川融水导致高原河流总径流量增加了 5.5% 以上，冻土退化改变了高山区流域的活动层结构和蓄水能力，流域水循环机制发生了深刻改变，迫切需要定量评估冰川融水、冻土退化对径流变化的影响机制。

近期，第二次青藏科考“亚洲水塔动态变化与影响”任务“水资源演变与适应性利用”专题研究团队，依据流域蓄量动力学的原理，定量解析了气候变暖背景下高寒山区流域蓄泄关系的变化机制，揭示了羊八井流域因关键带结构演变而导致的径流演变的不平衡现象。随着气候变暖，羊八井流域活动层蓄水量和年径流量均呈显著增加趋势（增量分别为 19.32 毫米/年、12.30 毫米/年），表明冻土退化增大了地下水的储水空间，允许更多的冰川融水渗入地下并释放为基流。然而，两者的增量尚不及冰川消融量的 10%。

究其根源，冻土退化在增大地下水储水空间的同时，可能也打通了地下渗漏的通道，研究估计有超过 60% 的冰川融水因地下渗漏而损失，造成了水量的不平衡现象。研究揭示

了“冰川融水”与“冻土退化”对水循环过程的耦合作用机制，为探究气候变化下亚洲水塔区水资源演变的成因、制定水资源适应性利用策略提供了基础支撑。

研究揭示麻雀适应青藏高原 特殊环境的新机制

物种如何快速、有效地适应变化的自然环境，是其生存和种群拓殖的必要条件。青藏高原作为世界上最严酷的高原环境之一，许多生物在那里繁衍生息。树麻雀是伴人物种，和人类活动密切相关。通过对种群遗传结构、历史动态及全基因组性状-基因关联分析，发现树麻雀在青藏高原高海拔地区农耕文明发展之后（大约 3600 年之前），才拓殖到青藏高原。在短短几千年里，它们的心肌、飞行肌发生了明显改变，而这些性状直接与低氧、低温环境的适应能力相关。

第二次青藏科考“生物多样性保护与可持续利用”任务“高原动物多样性保护与可持续利用”专题研究团队，通过对低海拔树麻雀进行一个月的低氧习服试验发现，在低氧习服实验中，心肌、飞行肌的相关性状并未呈现短期应激变化，表型可塑性未能解释高原适应的主要表型变化。通过对树麻雀高、低海拔种群进行群体基因组学比较发现，全基因组上一系列和高原适应性性状相关的基因（如肌肉发育相关的基因）相对于基因组背景有着较高的遗传分化。多个和表型性状密切相关的基因位点同时出现频率改变，驱动了肌肉等表型性状的快速改变。该过程也常被称为多基因适应。

研究还发现树麻雀的高海拔适应处于多基因效应与生理可塑性改变的交汇状态，有可塑性性状变化，也有受到遗传影响的性状。与具有长期适应进化历史的鸟类相比，树麻雀性状的改变可能地处于一种“亚健康状态”，处于多基因效应与生理可塑性改变的交汇状态。该研究在全球范围内第一次阐述了高原适应过程的早期阶段，为物种适应特殊环境提出一种新动态机制。研究首次发现高原适应背景下物种的多基因适应机制，拓宽了物种适应新环境研究的视野和角度，为理解物种在极端环境下的适应和演化提供了新范例。

柴达木盆地富锂盐湖的锂来源同位素示踪研究取得新进展

锂作为一种新型能源和战略资源，在 21 世纪备受关注，也因此被誉为“21 世纪的能源金属”及“21 世纪的清洁能源”。锂资源主要赋存于盐湖和花岗伟晶岩矿床中，其中盐湖锂资源占全球锂储量的 69% 和我国锂储量的 87%。我国具有丰富的卤水锂资源，含锂储量位居世界第三，主要分布于青藏高原的柴达木盆地和西藏扎布耶湖，其中柴达木盆地盐湖锂盐资源十分丰富、储量占我国锂资源总储量 80% 以上，世界盐湖锂总储量的 1/3。因此，柴达木盆地盐湖锂资源的地球化学成因和物质来源是实现柴达木盆地盐湖锂资源的可持续、绿色发展的重要条件，也将对我国盐湖大规模产业的稳定生产和发展起重要作用。

近期，第二次青藏科考“高原生长与演化”任务“高原

风化剥蚀历史及气候环境效应”专题研究团队，对柴达木盆地 31 个典型的盐湖样品进行系统采样和分析，首次系统获得柴达木盆地盐湖锂同位素的数据。数据显示，柴达木盆地盐湖锂同位素地球化学特征呈现明显的三个分区（见图 2），每个分区的锂同位素差异明显。进一步对柴达木盆地构造等数据进行讨论发现，柴达木盆地的构造是造成盐湖锂同位素差异的主要因素。通过对不同样品（热泉、河水、岩石、湖水和晶间卤水）的综合解析，发现该区域盐湖的锂主要来自可可西里地区的热泉通过洪水河系源源不断地供给。

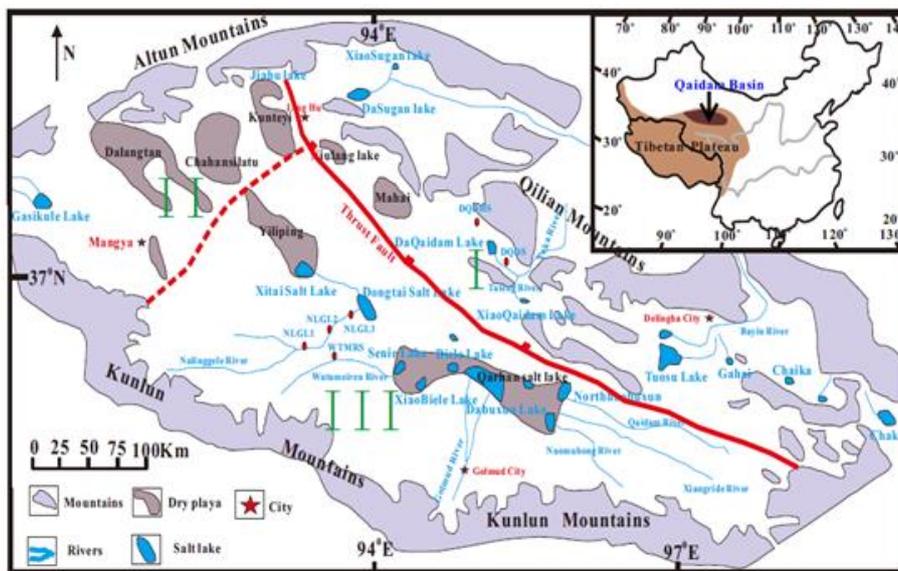


图 2：柴达木盆地盐湖锂同位素分区

研究还发现，察尔汗盐湖别勒区滩段是富锂的尾间盐湖，其地下锂资源丰富。察尔汗盐湖是中国最大的钾肥生产基地，钾肥的生产可能需要抽取别勒滩区段地下卤水，因此研究建议在察尔汗钾盐扩大生产的过程中，企业要考虑调整生产方式，避免因生产钾肥将宝贵的锂资源的浪费。

可可西里地区盐湖调查工作顺利开展

近期，第二次青藏科考“资源能源现状与远景评估”任务“青藏高原盐湖资源变化调查与远景评价”专题研究团队，围绕气候变化条件下的盐湖资源变化问题，对可可西里地区的主要湖泊进行系统性科学考察。此次科考从青海省境内的五道梁、二道沟进入可可西里地区，历时 22 天，科考行程共计 5600 多公里。



图 3：野外科考现场照片

此次科考主要对可可西里地区的大中型湖泊，包括苟鲁错湖、特拉什湖、乌兰乌拉湖、明镜湖、西金乌兰湖、卓乃湖、太阳湖、勒斜武担湖、可可西里湖、可考湖、库赛湖、海丁诺尔湖、新生湖、小盐湖等 14 个主要湖泊进行了考察。科考队员在野外开展了湖泊水体理化参数（包括：pH 值、溶解氧、电导率、矿化度、氧化还原电位、大气压、水温等指标）的测定，采集了湖水和部分湖底沉积物的样品（见图 3），同时对湖岸松散沉积物、沉积岩和火山岩以及沸泉进行了样品采集。此次科考还首次采集了极端环境下湖水的微生物样品。

湖水矿化度数值显示, 该区湖泊水体整体有淡化趋势。这与近年来青藏高原气候暖湿化趋势下冰雪融水和降水明显增多变化一致。同时, 考察也发现, 由于卓乃湖湖水外泄, 造成库赛湖、海丁诺尔湖、新生湖湖水面积明显增大, 三者几乎连成一片。可可西里盐湖的这类变化趋势所带来的生态环境效应, 有待进一步监测与分析。基于五年前开展的中国盐湖资源变化调查结果, 此次科考获取了可可西里地区湖泊变化的最新数据, 对认识气候变化大背景下无(或较少)人为干预的现代盐湖变化规律具有积极作用。

青藏高原北缘边界断裂活动特征 及时序研究取得新进展

新生代以来全球气候与青藏高原隆升、扩展过程之间的相互关系一直是地球科学研究的热点问题。近期, 第二次青藏科考“地质环境与灾害”任务“活动断裂与地震灾害”专题研究团队, 通过青藏高原北缘武山盆地碳酸盐岩稳定同位素记录、磁化率、色度等多种方法获得了该地区气候变化与构造变形的信息。

磁性地层学与哺乳动物化石约束了武山剖面沉积时间为 14.5—6.0 百万年。针对该剖面详细的研究揭示了两阶段的变化, 可能分别对应了中新世以来全球降温与盆地构造变形时间。在距今 14.5—13.2 个百万年期间, 青藏高原东北缘地区干旱化程度逐渐增加。武山盆地沉积环境在大约距今 10 个百万年由浅湖相沉积环境向曲流河沉积环境转化。控制盆

地变性的西秦岭北缘断裂可能在距今 10 个百万年加速活动，导致盆地古地理重构。

结合武山盆地碳酸盐碳氧同位素、色度、磁化率等分析数据显示，中新世晚期全球降温是武山盆地中中新世干旱化主导因素，而青藏高原隆升是次要因素。相反，青藏高原扩展至高原东北缘所导致的断裂活动是导致晚中新世盆地古地理重组的主要因素，全球气候变化可能为次要原因。

祁连山生长和演化过程限定取得新进展

青藏高原东北缘是高原扩展的最前沿，研究该地区演化的时间序列对于理解高原的扩展机制有重要意义。河流地貌对于构造—气候条件变化非常敏感，记录了大量的构造—气候演化信息，分析河流纵剖面对气候—构造事件的响应过程并剥离出其中蕴含的构造信息可获得区域构造演化历史。

近期，第二次青藏科考“地质环境与灾害”任务“活动断裂与地震灾害”专题研究团队，基于河流动能侵蚀模型，提取了位于合黎山南坡的 36 个汇水区的干流，并进行了河流纵剖面分析（积分法或称 **chi-z** 法），结果表明：大部分河道均发育有一个裂点，以裂点为界，下游河道明显陡于上游河道（见图 4），这意味着河道经历过一次强烈的下切作用。

通过分析裂点的位置、分水岭的稳定性、降雨量与陡峭系数之间的关系（解耦），结合裂点的相对高程和陡峭系数空间分布的耦合（正相关）关系，进一步确定构造活动是导致裂点形成的主控因素。同时，通过模型参数校准再计算，



图 4：合黎山基岩河道

获得了更为精确的裂点响应时间为 0.6—2.1 个百万年，这一年龄可能代表了合黎山开始抬升的时间。综上，结合前人对于北祁连（~10 个百万年）和榆木山（~4 个百万年）起始隆升时间的研究可以推断：青藏高原在向北东方向持续扩展，并于 0.6—2.1 个百万年穿过河西走廊抵达合黎山。

多年冻土区混凝土热桩温控效果 研究取得新进展

根据冻土工程病害野外调查，青藏铁路无人区某旱桥桩基发生持续下沉。沉降原因为桩基穿透冻土层，深层地下水溢产生的热侵蚀降低了桩土间冻结强度。在冻土双向退化的背景下，现有设计长度的桩基在服役期内发生病害的可能性较大。因此，有必要通过提高桩土冻结强度来优化桩基承载力。目前，关于多年冻土区钻孔灌注桩因冻土退化引发的病害防治研究较为薄弱，可借鉴的工程经验有限。将热棒安

装到桩基内部构筑成热桩体系，阐明热桩降温效果，可为青藏高原多年冻土区桥梁桩基病害防控设计提供技术参考。

近期，第二次青藏科考“地质环境与灾害”任务“冻土冻融灾害及重大冻土工程病害”专题研究团队，基于工程实例，通过室内模型试验，评价了热桩降温效能并揭示热桩温控机理；结合数值模拟，优化了热桩体系结构。具体结论包括：1) 热桩可以有效降低桩周冻土温度，可以保障桩基运行期地温稳定，亦可在施工期缩短回冻时间；2) 热桩的降温能力主要取决于热棒蒸发段附近桩周地温与冷凝段温度的差异，当二者差异超过 10°C 时，热桩对土体的降温速率约是普通桩的 2.5 倍；3) 热棒冷凝段长度在一定范围内增加可有效提高热桩降温效能，建议冷凝段长度宜占热棒总长度 44%。研究结果对保障多年冻土区钻孔灌注桩地温稳定，完善桩基优化设计理论均具有重要意义。

主送：第二次青藏科考领导小组办公室、项目管理办公室、专家咨询委员会、
总体专家组、中科院第二次青藏科考领导小组办公室、科考队依托单位、
西藏、青海、甘肃等第二次青藏科考领导小组办公室及服务保障机构

分送：第二次青藏科考 10 大任务及各专题

第二次青藏高原综合科学考察研究队办公室

总编：安宝晟

编辑：王伟财 李久乐 赵华标 张强弓

电子邮箱：step@itpcas.ac.cn

网址：<http://www.step.ac.cn>

联系电话：010-84249468；传真：010-84249468

通信地址：北京市朝阳区林萃路 16 号院 3 号楼，中国科学院青藏高原研究所，100101
