

# 破解谜题:研究气候变化对全球的影响(II)

美国国家科学基金会

## 4 冰

冰对全球气候有着重要的影响,它影响着反射回太空的太阳辐射的量、极地海洋和大气之间的热交换、进入海洋的淡水量,并间接地影响全球海洋转向循环(overturning circulation)的强度。雪和冰覆盖了地球陆地面积的 10%,这里说的陆地面积指包括了格陵兰岛和南极洲的所有陆地。冬天,季节性海冰覆盖了北极圈和南极圈的大部分面积。

从很多重要的方面,雪和冰成为了地球气候的重要影响因素。陆基(land-based)冰的量决定了全球海平面高度——地质记录表明,在过去“温室地球”时期,海平面更高。雪和冰的反射率(或反照率)成为了气候灵敏度指标,特别是在极地区域;当冰消失时,反射的太阳能变小,吸收的太阳能变多,冰表面变热,从而导致剩下的冰更易于融化。冰在环流和洋流中也发挥了重要的作用,因为海冰的形成和融化会影响周围海水的温度和盐度。在温带乃至热带地区,高海拔的雪和冰影响该地区的生态系统,并调节该地区的气候。在全球,人类饮用水供应依赖于可靠的和可预测的冰川积累和融化模式,而这些模式受到全球气温和天气模式变化的威胁。世界各地高海拔的冰川面临着不确定的未来。这些冰川还是气候变化强有力的可视化例证,其多年的历史照片可揭示其中许多冰川逐渐消失的剧烈程度。在某些情况下,它们已经消失得无影无踪。

极地上的冰也正在消失。2007 年,卫星图片向研究人员和原住民清晰地证实:北极海冰覆盖已经降低到历史最低水平。

由于冰对地球气候的重要性以及冰对气候反馈的灵敏度,无论是在地面还是从卫星上,对冰的持续检测和观察都是至关重要的。NSF 对冰的研究,尤其是对极地区域冰的研究,已经获得了大量进展,了解了地球上冰和雪的变化,以及这些变化可能导致的进一步改变。

### 4.1 极地研究

#### 4.1.1 南极洲

2002 年,一块大小与罗德岛州面积相当的冰块脱离南极半岛融化,并迅速地溶入威德尔海,这使科学家们措手不及。大陆其他冰架上这一类事件更大规模发生的可能性,目前正成为很多研究的主题。科学家们正在加紧了解陆基冰团和海

基(sea-based)冰团的稳定性,希望能更好地预测这些冰团的行为。

南极生态系统,特别是海洋生态系统,对已发生的气候变化提供了有说服力的例子。一些最好的证据来自阿德利企鹅,阿德利企鹅的骨头保留着高纬度南极洲寒冷干燥的气候特征。研究人员正在研究该物种在过去 3.5 万年对栖息地和环境变化响应的详细记录,从而了解阿德利企鹅及其居住的生态系统如何响应未来气候变化。

#### 4.1.2 格陵兰岛

了解格陵兰岛冰盖对预测海平面上升至关重要。影响格陵兰岛上以冰和雪形式存在的淡水量有 3 个主要因素,即降水、冰融化、冰流入海水的量。过去,格陵兰岛的冰盖处于平衡状态,每年积雪量与冰雪融化量和冰流入海水的量大致相当,因而格陵兰岛的冰盖既不升高也不降低全球海平面。但是近年来,融化的冰和流入海水的冰大幅增加。气温上升也导致了降水量的增加(暖空气拥有更多的水分),但降水量的增加抵消不了目前每年融化的冰和流入海水的冰所损失的量。因此,格陵兰岛冰盖不再处于平衡状态,它目前促使全球海平面以 0.5mm/a 的速率上升。2007 年,融化的面积超过了之前记录的 10%。格陵兰岛的边缘正面临着最大的变化量,每年融化水的量不断刷新记录。

极地区域是了解全球气候系统的关键。不断有证据表明,两极是全球气候变化的驱动者和先兆者。NSF 资助的研究人员正努力加快对这两个荒凉偏远地区的数据收集和研究工作。极地生态系统对气候的微小变化都很敏感,这也使得极地区域成为潜在气候变化的重要领头羊;而且极地区域提供了关于生物以及基于这些生物生活和形成文化的人适应环境变化的信息,因而极地区域为环境研究提供了极不寻常的机会。过去几十年里,北极地区的平均温度上升速率已达到世界其他地区的近两倍。海冰、冰川和冻土的大量融化,为北极地区气温上升所造成的影响提供了巨大的证据。同时,南极洲拥有一些世人了解极少的冰川,在南极洲开展现场研究,对提高预测气温上升对地球上最庞大的冰盖所造成的影响有着重要的作用。

NSF 在协调美国政府在南北两极地区的研究工作中发挥着核心领导作用。这些研究工作包括目前正在进行的一些最

重要的气候变化研究。正如 1984 年《北极研究政策法》所提出的那样,NSF 为极地研究规划提供了跨机构的领导。NSF 主任担任“跨机构北极研究政策委员会”的主席。此外,在每次的“总统令”中,NSF 将美国所有在南极的行动作为一个单独的综合计划来管理,使 NSF 和国家其他任务机构(包括国家航空航天局、国家海洋大气局、地质调查局和能源部)支持的科学家们在南极的研究得以开展。美国南极计划设有两艘破冰研究船,即劳伦斯·古尔德(Laurence M. Gould)号和娜莎尼亚·帕尔默(Nathaniel B. Palmer)号,在南美和南极半岛之间、南极半岛地区以及麦克默多站附近的罗斯海开展工作。

#### 4.2 国际极地年

“2007—2008 国际极地年”是一项全球范围的科学活动,在该活动中政府相关参与机构资助了极地研究计划中的重点活动,旨在提高大众的知识水平并从北极和南极研究中获益。国际极地年实际开展时间是 2007 年 3 月 1 日—2009 年 3 月 1 日。此次国际极地年参照了之前的 3 个国际科学年活动。第一个国际极地年在 1882 年举行,50 年之后举行了第二个国际极地年。国际地球物理年在 1957—1958 年举行,参照了之前的两次国际极地年计划。每一个国际年都向研究人员提供了接触新的科学和物理前沿的机会,并增加了人们对地球及其大气的物理特性的知识。极地年的发现不仅仅局限于极地区域,还带来了关于全球气候、覆盖地球表面的冰的量,以及许多其他物理过程的新视野。国际极地年项目包括拉森冰架系统(LARISSA,位于南极洲)以及加深对松岛冰川(南极洲流动最快的冰川)了解的实地考察项目。

#### 4.3 极地地球观测网络

当涉及到庞大的冰原时,人们面临的重大难题之一,是回答正在损失的冰有多少。这也是最基本的问题之一。冰的损失率对未来模拟海平面上升至关重要。获得一个准确的数字很复杂,因为底层的地壳正在上升,这使得即使是最精准的卫星测高和重力测量都变得不可靠。为了解决这个问题,科学家们正在部署一个全球定位系统(GPS)接收器网络,该网络建在南极和格陵兰岛裸露的岩石露头上。这些设备将直接测量地壳的隆起,并对卫星结果进行修正。此外,这些 GPS 设备的高灵敏度使得它们能测量每年的降雪和冰损失所带来的微小如弹簧般的地壳压缩和膨胀。总而言之,极地地球观测网络将使研究人员能测量冰盖的年际变化和发展更精准的模拟冰积累和损失的模型。

NSF 资助的研究人员的活动是国际“极地地球观测网络”(POLENET)项目的一部分。POLENET 是一个由来自 28 个国家的研究人员组成的联盟,主要致力于改善两极附近相关地球物理数据收集的实地调查工作。POLENET 项目是国际极地年 2007—2008 年的核心活动。在南极,研究人员在西南极洲构建了一个 GPS 网络和地震台站,以了解西南极洲冰原随时间的变化量。这些信息将用于预测随全球变暖而产生的海平面上升和解释气候变化记录。在北极,另一个 NSF 资助的研究小组正在格陵兰岛构建由 38 个 GPS 站组成的网络,以在

冰原收集更好的数据。

#### 4.4 冰原遥感中心

冰原遥感中心(CReSIS)是 NSF 于 2005 年建立的科学技术中心,致力于开发新的技术和计算机模型,以测量和预测海平面变化对格陵兰岛和南极洲冰原的质量守恒的响应。

基于卫星的雷达显示,格陵兰岛和南极西部的部分冰原正发生急剧的变化。但是,这些急剧变化的原因尚未弄清。冰原底部(或称为“冰床”)的约束条件对了解引起这些变化的过程有着重要的作用。CReSIS 已经开发出一种雷达技术,能同时对冰床成像、测量冰的厚度以及绘制内层图。格陵兰岛上的实地实验证明,该方法能用于测量冰的厚度和表征底层地形。CReSIS 将继续对格陵兰岛和南极洲的冰原进行更详细的测量,以改进冰原模型和使冰川学家能对冰床行为进行更好的预测。

地球上雪和冰的沉积物已被证明是地球过去气候信息的丰富资源。冰川学家在垂直型岩心上钻探,深入由 1000 多年前的降雪致密受压积累而成的原始冰。这些原始冰有着如生日蛋糕一样的层次,这些层次蕴含着首次降雪时的大气组成和温度等大量信息。在极地区域,夏天温度很少超过水的冰点,所以雪层自然地融化。雪花中的空气被埋藏在新的雪层下,这些雪层就变成微小的大气时间胶囊,像小气泡一样被保存在压缩的冰中。研究人员一直在寻找新方法,从冰芯中提取关于大气组成、温度、太阳活动、火山爆发以及其他类型的信息等数据。在南极洲和格陵兰岛的一些区域,冰已经持续积累了数千年。科学家钻探得越深,他们所能接触到的气候记录就越久远。在目前 NSF 资助的一个研究项目中,格陵兰岛和南极洲的研究人员组成一个小组,对出现类似雪积累的地区的冰芯进行钻探。特别是在南极洲,年降水量普遍较低,使得冰的量也很低,因此气候信息包含在一年的冰层中。然而,在西南极洲,降水量高于南极洲平均水平,科学家已经在该地区进行冰芯钻探,获得了关于过去气候更详细的信息。科学家不仅希望能为南极洲开发出更高分辨率的气候记录,更希望能将这些记录跟格陵兰岛上类似的冰芯进行比较,以揭示千年以来地球两极之间的气候关系。

#### 4.5 国际横穿南极科学考察计划

“国际横穿南极科学考察计划”(ITASE)收集和分析了来自全球范围的环境参数,该工作由 20 个国家的科学家协调完成。由于地处偏远,南极洲是监测局部地区和全球范围的生物地球化学循环和气候变化的理想地点。ITASE 正在开发过去 200—1000 年的年度分析、工具校准的气候记录,包括温度、净冰质量的平衡,以及大气环流和化学。ITASE 的目标是为了解南极洲和邻近的南大洋的过去、现在和未来的气候变化建立基础。

#### 4.6 北极观测网络

“北极观测网络”(AON)是 NSF 资助的一项新计划,包含了一个从海洋浮标到卫星,由大气、陆基和海基的诸多观测能力所组成的系统。AON 将加强和扩大 NSF 监测北极环境条

件的能力。

AON 所获得的数据将使美国政府的“研究北极环境变化计划”(SEARCH) 能很好地应对北极正在发生的重大和快速的变化,这些变化包括诸如年度平均表面气温的增加、夏季海冰面积和质量的减少、海洋环流的变化、林木线和植被区的迁移、冰川的冰量和永久冻土的融化以及社会经济动力学的变化。

#### 4.7 大陆冰雪

除了两极的冰外,季节性的积雪与高海拔的冰和冰川在全球气候和地区气候中也占有重要的位置。对北极和南极圈外的冰川上的冰芯钻探,可以与其他气候代表数据进行比较,表明不同地区的气候在过去是如何关联的。研究人员已经确定,大陆冰川是过去海平面变化的主要原因,而冰川融化只是目前海平面上升的可能原因之一。

雪对气候有什么影响?NSF 资助的一项研究发现,季节性积雪能显著改变地面吸收太阳能的量。研究人员发现了北美冬天积雪反照率和气候模型预测之间的一个重要关联。通过将现实中雪的反照率纳入气候模型,研究人员发现这能大大提高长期规模预测的准确性。

#### 4.8 小结

雪和冰对全球气候有着重要的影响。地球的两极地区正由于全球气候变化而产生快速而急剧的变化,其中一些最明显的变化是永久冻土融化,以及海基冰原和陆基冰原快速萎缩。南极洲和格陵兰岛上储存的古代冰保存着累积的气候数据,这有助于预测地球未来的气候。具有讽刺意味的是,因为气温的快速变暖,这些保存的记录可能正处于消失的危险中,尤其在格陵兰岛。下面的研究成果选粹包含了 NSF 资助的一些研究雪和冰的研究项目介绍。这些项目中有许多与国际极地年计划相关,并涉及全球研究人员的参与。这些研究工作不仅有助于了解目前地球的冰和雪,而且为下一代冰川学家、古气候学家和地质学家提供了重要的实地经验和训练。

### 附:冰研究成果选粹

#### (1) 了解海冰的结构

冰无论在目前还是过去的气候中都发挥了重要的作用,影响着太阳辐射反射回空中的量、极地海洋和大气之间的热交换、进入海洋的淡水量以及非直接地影响全球海洋转向循环的强度。然而,对研究人员而言,冰是难以表征的,因为冰会基于其内部气泡的数量和尺寸等各种变量而呈现出不同的热行为。海冰尤为复杂,它是一种由固态冰、盐水和气体组成的动态多孔复合物。冰的微结构依赖于冰的温度及其受到的压力和历史。由于气候动力学强烈依赖于陆地和海冰,因此,能模拟冰特性的好模型对精确进行气候预测非常重要。

美国犹他大学数学家 Ken Golden 和阿拉斯加大学费尔班克分校的海冰专家 Hajo Eichken 应用计算机模型、实验室实验、现场实验和三维数据可视化技术,研究了海冰微尺度多孔结构的影响,以开发新一代的海冰数学模型。这些模型

将把冰的特性与温度等大尺度参数联系起来,从而为气候模型提供新工具,以及为了解冰的小尺度行为提供新洞见。

#### (2) 冰原遥感中心

冰原遥感中心正在开发新工具和新技术,以确定气候变化对极地冰原的影响以及该影响使海平面产生的变化。冰原遥感中心还培训下一代的科学家和工程师,同时考虑了国家的多样性。综合孔径雷达变革着极地冰原的研究。基于卫星的雷达已经显示,格陵兰岛和西大西洋的部分冰原正发生快速的变化。然而,引起这些快速变化的原因尚未查明。冰床的约束条件是理解引起这些变化过程的关键,也是把这些知识纳入模型的关键。冰原遥感中心已经开发能同时对冰床成像、测量冰厚度以及绘制出内部层的甚高频雷达,并在格陵兰岛进行了现场实验验证。这是格陵兰岛冰川厚度的首次成功测量,并清晰地显示了冰流动的又深又窄的河道。过去几年中,雅各布港冰川明显地后退和加速。冰床地形和厚度的信息对确定这些变化的成因和对冰川响应气候变暖进行建模至关重要。

#### (3) 国际横穿南极科学探险计划

“国际横穿南极科学探险计划”(ITASE)是了解南极洲及邻近的南大洋过去、现在和未来气候变化的基础。ITASE 由 20 个国家组成,正在开发一系列关于过去 200—1000 年前气候(温度、净质量平衡、大气环流、大气化学以及作用力)的可年度解决、有助于标准化的记录。初始阶段,美国对 ITASE 的贡献集中在西南极洲。在 2006—2008 年南半球季节中,美国 ITASE 将横穿南极洲按计划延伸到东南极洲。在西南极洲考察阶段,美国 ITASE 得到了几项关键的结果。除了南极半岛,其他区域的温度都保持在过去 200 年的自然变化范围内,并与主要大气环流模式的变化紧密关联。质量平衡的可变性主要受表面/冰床地形所控制,在地形梯度大的地区可变性显著。沿着阿蒙森海的海岸,可发现海洋空气团内陆迁移的初始阶段。南极洲西风带强度的自然可变性,有相当大一部分被认为是 10 年或更长时间的日光可变性所引起的,这影响了臭氧的产生,从而影响了南极洲和南冰洋的热梯度。

#### (4) 阿拉斯加大学 Toolik 野外台站的冬季研究能力

在北极,冬季持续近 9 个月,但由于在极冷和极黑条件下进行科学研究是一项相当大的挑战,因此,只有相对较少的科学研究在北极的冬季开展。甚至连环境参数的自动测量也受到了限制,因为主要的野外站点缺少持续的动力和通信。最近,科学家进一步认识到进行冬季研究的迫切需要,尽管在后勤方面还存在挑战。一些只有进行冬季研究才能解决的重要问题包括:(1)了解冬季的辐射平衡及其改变,这对了解北极的气候变化非常重要;(2)了解在延续整个冬季的碳循环和氮循环中雪和地表温度的作用,这些将影响植被的夏季成长及其将温室气体释放到大气中的能力(这是北极影响全球气候的主要途径之一);(3)了解动物和植物在极端冬季条件下如何存活,以及这些适应性如何限制它们对改变的环境条件的响应。虽然许多生物过程在冬天由于低温而变慢,但

微生物、植物和动物在漫长冬季的夜晚持续保持活跃,而且它们的行动为夏季过程创造条件。例如,土壤微生物冬季的分解活动为植物在夏季摄取养分和成长创造了条件。

阿拉斯加大学 Toolik 野外台站(TFS)在 2006—2007 年首次开放,进行持续的冬季运作。该台站首个冬季的科学研究包括:过冬昆虫研究;防雪篱后的积雪模式和密度的研究及其对灌木死亡率和冬季 CO<sub>2</sub> 通量的影响;在横跨北坡的各种新建地点进行冬季气象测量;建立能长期记录雪到达和雪消融的积雪观测摄影机设备;研究解冻的春天的溪流群落生态学。在北极长期生态学研究计划的运作下,现有的气象站持续的接替和检测工作已经开展。TFS 的工作人员已经汇集了整个冬天的基线环境观测结果。这些结果将促进对冬季过程的了解并为夏季过程创造条件。

#### (5) 与积雪模拟相联系,改进气候模型的预测 见大气部分。

#### (6) 2007 年观测到的北极海冰减少

2007 年 9 月,北冰洋的海冰比 2005 年所记录的减少了 23%。该结果从一系列浮标中观测得到,这些浮标的部署是北极观测网络的一部分。结果显示,伴随这次后退的,是波弗特海(Beaufort Sea)发生极大量的底层融化。这次观测意味着海冰的局部融化很大程度上是因为海洋地表水的余热,而不是大气中的余热造成的。这一结论与卫星观测和气象预测数据的结果是一致的。波弗特海的条件是经典的冰反射率反馈信号,地表水越多,导致吸收的太阳热量越多,从而导致冰的进一步融化以及更多地表水的产生。了解北极海冰冰盖变化的特性是非常重要的,因为这是全球气候变化的指示器和放大器。

#### (7) 南极海冰冰盖发生了什么事情?

过去几十年,北极海冰冰盖的面积和厚度都在减小。那么,南极海冰冰盖呢?南极冰盖并没有以北极海冰冰盖同样的方式后退,这让媒体感到很困惑:为什么?一些报道甚至认为,南极冰盖的增加意味着全球变暖是一个骗局。如同北极海冰冰盖一样,南极海冰冰盖也受日光加热、气压模式以及洋流的影响。与北极不一样的是,至少到目前为止,南极海冰消失主要是季节性原因。在给定的时间中,南极海冰的总量似乎没有发生变化,但在一些特定的地区却发生重大的变化。之前的研究表明,南大洋两个区域的年度海洋持续时间和月度浓度有着鲜明的趋势:在南极半岛西部和别利斯高晋海南部是减少的,而在罗斯海西部地区确实是增加的。1979—2004 年的卫星观测分析表明,前一地区海冰的后退提前了一个月,推进晚了一个半月;而后一地区海冰的后退晚了一个月,推进提前了一个月。这些趋势与气压模式的改变密切相关。周期性低压或“风暴度”影响海冰边界,尤其是在春天和秋天。较大规模的气压系统能把这种低压赶走。当统计分析这些较大规模的气压系统时,发现存在半球气压模式,这种模式需要几十年才能改变,并受厄尔尼诺/拉尼娜气候模式的周期性干扰。臭氧的消失和温室气体被认为是南半

球气压模式变化与海冰变化关联的驱动力,其影响着地球与阳光的相互作用。基于目前的了解,持续的温室气体释放有望加强,可能会把这些地区海冰的局部趋势扩展至更大的区域。

#### (8) 极地冰原引起的海平面上升:社会相关性和广泛影响

冰原遥感中心(CReSIS)是 NSF 资助的科学技术中心,其任务是发展技术,进行实地研究,汇集并分析数据以表征极地冰原上正在发生的快速变化,并开发能解释和预测冰原与气候和海平面上升相互作用的模型。该中心的目标之一是促进气候变化跨政府小组对未来海平面上升的评估。在实现该目标方面的最新进展是,模拟了全球海平面在理论上上升 1—6m,并开发了沿海洪水及其影响的可视化产品。

因为其对生活在海平面附近的滨海城市的人们有潜在的影响,该项工作不仅具有社会相关性,而且该项工作是由中心来自堪萨斯大学和哈斯凯尔印第安民族大学(Haskell Indian Nations University)的师生开展的。通过 NSF 资助,该实验室成为了一个培训基地,不仅针对学生,而且针对众多美国印第安部落的成员。哈斯凯尔的师生给美国本土部落的成员提供培训,使他们能学习 NSF 资助的研究中所用到的技术。这有助于提高国民在土地和自然资源管理方面的科学素养。

#### (9) 海平面上升、气候变化以及冰川动力学之间的关联

根据预测,22 世纪全球气温将上升。该预测的具体内容为,冰将融化,海平面将上升。但事实会这么简单吗?这些现象之间的联系基于高山型冰川,高山型冰川是将海洋与冰盖关联起来的冰舌。这些冰川具有滑动的能力,使得冰盖能回归海洋,引起海平面上升。来自科罗拉多大学波尔得分校(UCB)的科学家首次实时获得了冰川滑动的一些结果,并证明冰川加速的关键是基础排水系统动力学和可用融水。UCB 的研究生 Tim Bartholomaeus 及其导师正将阿拉斯加肯尼科特(Kennicott)冰川的高分辨率速度、表面上升、温度、海水压力以及排水量数据汇集在一起。这些数据指出了水压和冰川滑动速度的密切关系,使地球科学家能将冰川下排水系统的作用量化。冰川下排水系统在某一时刻为融水提供安全通道,在另一时刻却处于被淹没和过压状态,使冰川快速滑动。海平面上升与这一动力学特性相关,因为这些冰舌滑动的速率将决定冰质量损失的主要速率,从而确定未来几十年和几百年海平面上升的速率。

#### (10) 南极古冰川是了解气候变化的关键

当地球变暖,人们指望从地质记录中找到实例来看看地球未来的样子。地球最近一次从类似目前的这种冰川世界转变为温室世界(没有冰)是在 2.5 亿多年前。NSF 资助的研究人员通过 3 种证据来证明该转变:① 能反映过去温度的化学信息;② 陆地植物的化石证据;③ 南极洲岩石的确凿证据。他们指出了在该时期南极洲是否有冰原存在。

其结果透露出两个重要的信息。首先,大气 CO<sub>2</sub> 含量、全球温度以及冰原的出现是密切相关的。这一发现进一步证明,人类活动引起大气中 CO<sub>2</sub> 的增加,是对全球气候的主要

影响;其次,植物在地质瞬间响应气候变化。欧洲变冷,潮湿的森林变为干燥寒冷的松林,然后随着气候变化又变回来了。所有这些也伴随着植物的进化。

这一研究表明,如果温室气体排放继续增长,除了温度上升和海平面上升外,人们熟知的植物也会发生重大改变,这将会改变关于农作物、动物乃至生态系统的一切。

#### (11) 气候变暖能支持冰川冰

在过去的过暖气候事件中,冰原是不可能存在的,这一观点已经获得普遍的认可。然而,一项新的研究让这种观点面临挑战。该项研究是加州大学圣迭戈分校斯克里普斯海洋研究所的研究人员开展的,由 NSF 资助的综合大洋钻探计划和德国研究基金会共同资助。该研究提供的可靠证据表明,一座尺寸约为现代冰原一半大小的冰帽,存在于 9100 万年前全球强烈变暖的时期。9100 万年前是白垩纪极热时期,该研究恢复了沉积在海底的该时期的海洋微化石中的化学和海平面数据,并对其进行了研究。在地球历史上,这种极端变暖事件将热带海洋温度提高到 35—37℃,比目前的温度高 10℃左右,从而形成一种强烈的温室气候。这座约为现代南极冰帽 50%—60% 大小的冰原很可能存在了约 20 万年,证明即使是白垩纪极热的过暖气候,也无法阻止冰的增长。海冰的存在与否,尤其在海平面上升和全球环流模式下有着重要的环境影响。

#### (12) 标定高纬度北极的过去气候变化:本科生在挪威斯瓦尔巴特群岛的研究经历

挪威斯瓦尔巴特群岛在过去 90 年中大幅变暖,古气候指标表明,在过去 1 万年前,该地区有更大的气候变化。这项本科生研究经历计划(REU)的目的是让学生了解极地研究的挑战和收益。蒙特·霍利约克学院(Mount Holyoke College)是该计划的主办机构,合作机构包括马萨诸塞大学、北伊利诺斯大学、贝茨学院、汉普郡学院以及挪威大学和挪威极地机构。北极对气候的变化特别敏感,气候在该地区引起的环境变化可以引发全球气候进一步变化。尽管如此,对该地区近百年气候变化的了解仍然极少,而对该地区十年期的变化更是一无所知。本科生在该地区的冰川湖和冰川海系统中开展研究,在气候、冰川质量平衡、沉积物运移以及湖泊和峡湾沉降之间建立了联系。在斯瓦尔巴特群岛的 5 周中,这些学生与同事和导师密切合作,设计研究问题,收集实地数据,用公式推导科学假说并得出结果。

#### (13) 新冰芯钻探揭示西北太平洋过去的气候

在最偏远的地方发现了一些最有可能揭示地球过去气候的冰川。Eric Steig 和 Doug Clark 利用 NSF“小额探索性研究项目”(SGER),开发了一种更轻的冰钻,从而比现有钻探设备更便携。该研究小组应用这种新型的冰钻,在不列颠哥伦比亚海岸山脉的沃丁顿山(Mt. Waddington)顶的高山冰川中,发现了一个前所未有的冰芯。该冰芯揭示了该地区过去 1000 多年的气候记录。这些记录包括大气气溶胶的年度层,如煤烟和灰尘都保存在冰中。

年度积雪记录是大规模大气环流模式的有效定量指标。北太平洋地区的积雪记录特别引人注目,因为它们有可能对几十年期气候变化文件及重建产生影响。

古气候是当然的跨学科研究,需要一个综合地质学、生物学、海洋学、化学、物理学和工程学的多学科战略,以收集数据和解决复杂问题。解释古气候数据,促进了思考自然系统的整体方法。目前,许多对冰芯进行的古气候研究在极地区域的大型基站开展。这一新型设备和新发现的冰芯,有助于为气候研究人员打开一份新的古气候数据档案。

#### (14) 研究北极化石的过去变化

要了解现代北极系统,包括其目前的空前变化及其未来,需要从长远的角度来观察该系统内在的自然变化。由于北极的观测记录相对简单,需要依靠代用记录。该项工作是 NSF 资助的一个较大项目的一部分,目的是获得并集成北极过去 2000 年的气候数据。研究人员目前正利用从湖沉积物中获得的各种水栖昆虫化石,来重建加拿大北极圈东部的巴芬岛过去的温度,最终还将与许多其他来自北极的相似记录相结合,以便对北极过去的温度情况获得广泛了解。通过把 20 世纪的气候变化放在一个跨越两千年的十年期气候变化性的长期框架下,这项工作有助于了解北极系统。

#### (15) 突然的冰后退可能使北极到 2040 年夏天变成无冰的北极

北极海冰最近的后退可能会加速,从而导致到 2040 年夏天北冰洋可能会几乎没有冰存在,这是美国国家大气研究中心的一个科学家小组的研究结果。该小组分析了北极温室气体排放的影响。在超级计算机上运行的情景表明,每年 9 月海冰的含量会突然减少,约 20 年内海冰将以比以前观测记录中任何时候都快 4 倍的速度后退。

北极海冰最近几年都出现后退,尤其是在冰的厚度和面积处于极小值的夏季末。为分析全球变暖在未来几十年如何影响冰,该小组应用国家大气研究中心的公共气候系统模型(CCSM)进行了一系列的模拟。首次模拟是对该模型的验证,发现其结果与自 1870 年以来的冰盖观测结果相当吻合,因此该小组模拟了未来的条件。模拟结果显示,如果大气中的温室气体继续以现有速率增加,未来北极的冰盖将经历一个先相对稳定既而出现突然后退的时期。这项研究指出了在逐渐变暖的世界里冰突然减少的几个原因。地表水吸收的阳光比冰多,这意味着无冰海水区域的增加将加速变暖趋势。此外,全球气候变化将影响海洋环流,冰驱使更暖的洋流进入北极。

#### (16) 1958—2002 年南极温度的变化

该项目是首个合理测算南极气候变化的项目,对自 1957 年国际地球物理年以来南极观测到的表面温度进行了定量趋势评估。虽然南极温度变化对全球有着重要的影响,但由于南极面积巨大和地面站网络非常不一致,定量研究受到了限制,并导致给公众报道的结果相当混乱。

使用 21 个南极观测位点的温度时间序列以及 73 个自动

气象站 2 年以上的记录,连同合作船从周围海洋的报道,研究人员完成了南极温度趋势评估。该评估最大化地利用了可用的信息,评估结果获得了有关可验证的数据统计特征的技术验证。

研究表明,1958—2002 年,在年度表面大气温度的线性趋势中,最显著的特征是南极半岛大大地变暖。其他特征为南极沿海地区的轻微变暖,以及南极中央地区和部分南大洋的真正冷却。南极半岛在秋天和冬天变暖最强烈,并在全年都很明显。

### (17) 北极鲸:气候变化指标

Kristin Laidre 在格陵兰岛首府努克的格陵兰自然资源学院(GINR)获得了“国际研究奖学金计划”的一项资助,执行期为 22 个月。国际研究奖学金计划的设立是为了促进美国年轻的博士后科学家和工程师与国际接轨。

Laidre 的研究致力于解决北极鲸对气候变化的脆弱性等相关问题。北极的海冰特征和海域生产力目前正经历着巨大的变化,这对北极的食物链会引起连锁反应。格陵兰岛西部的北极水域居住着 3 种鲸鱼(独角鲸、白鲸和弓头鲸),它们是检测气候变暖所引起的生物物理变化的理想指标生物。北极鲸的季节性迁徙、分布、资源选择以及生活史参数,与北极环境的变化是紧紧联系在一起的,这使得它们既容易受到气候变化的伤害,又成为累积性变化的指标。

该项目的主要目的是将北极物种栖息的各种生态位与各种生活历史战略进行对比,以支持气候变化对高纬度北极各种栖息地的影响的广泛推论。Laidre 应用鲸鱼迁移和潜水行为的卫星遥测数据以及遥感环境数据,量化了海冰的趋势和核心地区的主要生产力。这一信息应用定量空间模拟技术,已用于检验资源选择和特异的易受伤害性。该工作结果有助于了解气候变化对高纬度北极地区顶级掠食性动物的潜在影响,以及因纽特人部落利用这种影响的可持续性,即将科学发现与社会效益关联起来。

该项目的受资助机构是格陵兰自然资源学院,该机构是格陵兰岛自治政府侧重于保护、气候变化和人类影响、生物多样性以及生活资源的可持续应用的自然研究中心。Laidre 与 GINR 资深科学家 Mads Peter Heide-Jørgensen 进行了合作。

在项目执行期内,除了发表几篇经同行评议的科学论文和已出版的畅销书外,Laidre 的研究已经得到一篇国际性综述文章的评论,并被吸收进由几位顶级北极生态学家开发的定量指标,该指标对北极海洋哺乳动物对气候变化的脆弱性进行了排名。在资助期间 Laidre 与丹麦、格陵兰岛以及欧洲其他地方形成的国际合作关系,对其职业发展和科学成就的取得非常关键。她的工作阐明了广泛的鲸类资源选择关系,并记录了与气候变化相关的生物复杂性。

## 5 陆地

地球的陆地支持重要的生态系统,拥有淡水环境,并维持人类几乎所有的农业活动。陆地将淡水从海水中分离出

来,为陆地生物和水生生物储存必不可少的养分,并拥有地球过去气候的化石记录。当地球变暖,适合许多植物和动物生活的条件可能向两极转移。不同的物种在做出同样的转移方面其能力各有不同。栖息地在适应新的物种种群,而由此导致的物种分布改变将可能引起对已建立的生态系统的重大破坏。

土地利用与碳循环密不可分。改变土地利用的模式(如毁林造田),将改变碳循环动力学。牛等牲畜通过排放甲烷这样一种强大的温室气体的形式,对大气产生了净碳排放。

NSF 资助的研究人员研究了与陆地气候有关的所有方面。通过观测网络,研究人员收集了重要生态系统、水文循环、季节性事件(如野花盛开)发生的时间以及陆基生态系统健康状况的其他重要指标等关键数据。NSF 还资助该领域的地质学家揭开过去气候条件的记录,如河谷和沿海平原的洪水历史或古植物物种和古动物物种的化石。通过这些记录,地质学家为研究地球历史打开了一扇窗,并研究陆地如何响应过去气候变化事件。

### 5.1 海平面

海洋的体积依赖于其温度(温度上升会引起水膨胀)和地球上液态水的量。温室效应引起温度上升,热膨胀和陆基浮冰的融化,海平面上升。融化的海冰不会改变海平面,因为浮冰所占体积与其所包含的水的体积一样大。海平面与陆基生命以及生活在沿海地区的人尤为相关。从 1961 年到 2003 年,全球平均海平面上升的平均速率约为 1.8mm/a。通过观察过去海平面的地质记录,并与树木年轮以及冰和沉积物的芯相比较,研究人员正在研究是什么事件引起了全球海平面的改变。在 NSF 资助的一项研究中地质学家发现,过去 1 亿年里,海平面改变的主要原因是大陆冰(冰川)的增长和融化。

### 5.2 地质记录中的气候变化

化石记录包含了地球响应过去气候变化的证据。化石的位置表明了特定物种被发现的地点和时期,使科学家们可以了解近代物种如何能适应如今的全球变暖。NSF 资助的研究人员已经发现的证据表明,为了响应过去全球快速变暖植物物种在地理分布上快速变化。化石证据揭示了古新世—始新世极热时期(地球气候变化的最重要时期之一,距今 5500 万年)植物和动物的洲内和洲际迁徙模式。美国怀俄明州发现的上一个地球变暖时期的植物叶子化石表明,昆虫对植物的损害随着温度上升而增加,研究人员把这归因于贪吃的热带昆虫物种向北迁徙。这种过去的迁徙模式为昆虫在气候变暖时的行为提供了重要的证据,这对现代农作物和生态系统有着重要的意义。

洞穴拥有一些可用的最高分辨率的气候记录。洞穴里面形成的物质被称为洞穴堆积物,由溶解于从周围的基岩渗入洞穴的水中的矿物质形成。通常情况下,洞穴堆积物随时间的推移不断增长,每年会形成类似于树木年轮的矿物质沉积物层。最近,NSF 资助的研究从密苏里州缝洞(Crevise Cave)的洞穴堆积物中发现了距今 13 万年前的原始记录。该洞穴

记录了间冰期-冰期旋回的中部大陆 (mid-continent) 气候变化、全球气候变化以及植被变化。研究人员目前正在分析从洞穴中提取的样本, 以得到能改进对北美气候变化认知的气候记录。这种气候记录与其他古气候记录一样极为珍贵。

### 5.3 淡水

陆地拥有地球上绝大部分的淡水, 而大部分的淡水储存在南极洲和格陵兰岛的巨大冰原上。其余的淡水存在于湖泊、池塘、溪流、河流、地下水和冰川中, 是人类饮用水的主要来源。

气温上升会导致冰川水储量融化, 降水模式改变, 并使湖泊和水库的水蒸发得更快。因此, 气候变化可能会严重破坏饮用水供应。依赖于这些水资源的生态系统也将受到影响。NSF 资助的研究人员研究了水文循环变化对依赖于淡水系统的人类和自然系统的影响。

### 5.4 北极冻原

北极冻原约覆盖了地球表面 500 万  $\text{km}^2$  的面积。由于其冷冻温度在很大程度上能防止有机物质的分解, 因此北极冻原是主要的碳储存库。NSF 资助的研究人员正努力研究冻原将如何响应气温上升, 包括冻原融化后将释放多少甲烷和  $\text{CO}_2$ 。

### 5.5 森林

地球上约有 4200 万  $\text{km}^2$  的森林, 接近地球总陆地面积的 1/3。森林面积的扩大有助于移除大气中的  $\text{CO}_2$ , 降低温室气体浓度。森林还能吸收太阳能, 这能增加局部温度, 特别在寒带森林, 温度的上升对气候的巨大影响远超过移除  $\text{CO}_2$  的作用。所有的植被都往大气中注入水气, 降低局部陆地的温度, 但同时也推动复杂的大气过程。森林丰富的生命及其包含的物理结构随着其吸收的太阳能与大气、水循环、碳循环以及人类活动的影响而不断变动。这些复杂的关系对地球变暖既有正面的也有负面的影响。

寒带森林可能向北推进, 其植被将更丰富, 碳吸收能力将增强, 虽然目前尚不清楚冻原的融化和随之而来的之前冷冻起来的有机物质的腐烂将会产生多少碳排放。只要有合适的土壤存在, 农业就有望向北扩展, 以响应更长更暖的生长季节。

### 5.6 关键带观测

关键带 (Critical Zone) 指的是森林冠层顶部和未风化岩石基部之间的区域。为了更好地了解陆地的关键带及其对气候和土地利用的响应, NSF 建立了关键带观测站点 (CZO) 网络, CZO 是致力于水循环、岩石破裂和土壤形成、土壤地球化学侵蚀和物理侵蚀、河流和山谷演化以及植被模式等土地表面过程研究的首套基于系统的观测站。CZO 网络的科学家正在研究这些过程的整合和耦合以及它们如何受到淡水的存在和流动的影响。CZO 网络将应用实地和分析研究方法、空间遥感以及理论方法。

3 个 CZO 位于内华达、科罗拉多洛矶山的前山以及阿巴拉契亚高地的分水岭处。这些项目被纳入到合适的环境传感

器网络或 NSF 规划的环境传感器网络中, 包括国家生态观测网络和海洋观测计划网络。

### 5.7 小结

陆地拥有地球上一些最重要的栖息地, 包括人类自己的栖息地。研究人员正努力了解全球气候变化将如何影响陆地降水模式和生态系统, 尤其是在缺水地区和高人口密度地区。陆基气候记录, 如那些已在淡水池塘和湖泊沉积物以及洞穴中发现的记录, 为研究人员提供了气候在过去的年代以及在不同地方是如何变化的信息。陆地还包含了过去全球变暖时期海平面的信息。这些数据点能帮助气候建模者建立更精准的预测未来海平面的模型。下面的研究成果选粹介绍了 NSF 资助的一些陆地研究项目。陆地研究不仅有助于提高对地球过去和目前气候的了解, 而且还能为下一代古气候学家、生态学家和气候建模者提供宝贵的实际操作培训机会。

## 附: 陆地研究成果选粹

### (1) 近 5 亿年全球海平面的变化

全球海平面的变化可能是海水体积变化或海洋盆地本身体积变化的结果。海水体积的变化主要是海水温度的变化或冰川融化增长所引起的。海洋盆地体积的变化是海洋中沉积物数量的变化和水下火山活动引起的。

最近, 罗格斯大学的研究人员用氧同位素 (一种对温度和冰量变化的敏感指标) 回顾了过去 5.43 亿年间全球海平面的变化以及冰量的变化。他们发现在白垩纪晚期 (8000 万至 6500 万年前) 的海平面最高, 约比目前海平面高  $(100 \pm 50)\text{m}$ 。科学家还得出一个结论: 过去 1 亿年间, 海平面变化主要是由大陆冰 (冰川) 的增长和融化所引起的。

### (2) 从密西西比到蒙大拿: 植物跟上气候的快节奏

科学家发现, 在 5500 万年前全球快速变暖时期, 即古新世—始新世极热时期 (PETM), 引起了植物生长地的主要变化。PETM 的形成是大量的碳排放到大气和海洋所导致的, 可作为目前全球变暖的参照物, 因为人类行为导致大气中的  $\text{CO}_2$  持续增加, 主要是燃烧化石燃料。PETM 使全球温度上升了  $10^\circ\text{C}$ 。怀俄明州 PETM 时期的植物化石与密西西比、路易斯安那以及德克萨斯州发现的同期岩石中的植物化石是一样的。这些南方植物从墨西哥湾沿岸移到怀俄明州, 用了 1 万年左右的时间, 总行程约 1000inch。

这些南方植物在怀俄明州整个 PETM 生长, 然后消失, 可能是因为全球气候在该时期未变冷, 从而导致它们无法存活。气候恢复到较冷时期给怀俄明州带来了不同的一系列植物入侵种。榉树和枫杨的近缘种在最暖时期横跨北极陆桥, 从欧洲迁移到北美洲, 然后在全球热浪过后扎根怀俄明森林。类似的洲际和洲内迁移模式在 PETM 的动物中也能发现, 表明它们也随着快速的气候变化迁移。

史密森学会古生物学系的 Scott Wing 带领一支国际研究小组研究了在怀俄明州西北部的大角盆地 (Bighorn Basin) 发现的树叶化石和花粉化石。大角盆地是著名的化石宝库, 因

为落基山脉上升时大量的沉积物在此沉积。这些沉积物及其包含的化石目前暴露在被侵蚀的劣地中。对于这些首次发现的来自 PETM 的树叶化石,确定其年代的关键是哺乳动物化石和对岩石进行化学分析。

### (3) 化石记录表明昆虫对植物的攻击会随着全球变暖而增加

5500 万年前的全球突然变暖被称作 PETM,这是由于大量的碳排放到大气和海洋所导致的,可作为目前预期发生的全球变暖的参照物,因为人类活动使得大气中的 CO<sub>2</sub> 含量持续增加。PETM 事件使全球温度上升了 10℃。之前的研究已经将 PETM 与海底居住的海洋生物的大量消亡和哺乳动物横跨北极陆桥的迁徙关联起来。PETM 时期生长的植物也表明,快速变化的气候使南方居住的树木和灌木在较短时间内迁移到北方。

宾夕法尼亚州立大学、史密森学会、马里兰大学、加州大学圣芭芭拉分校以及卫斯理大学的研究人员小组发布了新的研究成果,表明温度与昆虫进食树叶之间存在着联系。宾夕法尼亚州立大学和史密森学会的研究人员 Ellen Currano 说:“当温度上升,各种昆虫的进食对植物物种的伤害也会增加。”

Currano 搜集了怀俄明州劣地的化石,从 5 个代表约 10 万年前温度高峰的之前、当时和之后的时区点采集了树叶。研究人员发现,PETM 植物受到的伤害比之前和之后时期的化石植物都明显要大。许多 PETM 植物是豆科植物(即现在的黄豆和豌豆所属的科),它们比邻近地质时期的植物受到伤害的频率更高更多样,破坏性特征也更明显。

生物学家已经知道,热带昆虫消耗更多的植物,而温度上升正引起热带生物拓宽其领地。此外,研究表明,更高 CO<sub>2</sub> 浓度下生长的植物营养更少,因此为了摄取同样的营养,昆虫必须进食更多的植物。这些早期的研究支持了关于 PETM 的最新发现。由于包含食草昆虫在内的食物链影响地球上多达 3/4 的生物,因此研究人员相信,如果该模式在现代也适用的话,目前的温度上升可能对现有生态环境产生深远的影响,并可能会影响农作物。

### (4) 洞穴沉积物作为地球过去气候的档案

从北美洲中部大陆的洞穴堆积物中,研究人员获得了 13 万年前的高分辨率气候记录。主要的地点——密苏里州缝洞位于过去间冰期-冰期旋回的劳伦泰冰盖 (Laurentide Ice Sheet) 的南部。研究人员假定,该地点是记录间冰期-冰期旋回期间中部大陆气候变化、全球气候变率以及植被变化的上佳位置。之前的研究表明,该洞穴的沉积物持续增长了几万年。研究人员希望产生高分辨率的稳定同位素记录,用钚-230 技术标记日期,从北美洲中部大陆出发,覆盖上次间冰期-冰期旋回的大部分时期。该研究将从一个新的古气候数据档案着手,以提高对北美洲全新世气候变率的了解。

### (5) 水交易

半干旱水文与河岸地区可持续(SAHRA)中心是 NSF 设立的一个科学技术中心。该中心的经济学家和水文学家正在

与水管理者一起,共同探索新墨西哥州基于租赁/出售的水资源分配。他们通过耦合的水文学和经济学模型来支持用户之间的水交易市场,水文学模型预测的是给定年限中可用的水总量,经济学模型预测的是不同用户的水需求。这个耦合的模型支持一个开放的市场交易系统,在这里销售者和购买者分别开价和还价,并完成交易。

当可用水资源有新信息更新时,该模型也会更新,并追踪对下游水流的影响。当前的评价是,该模型支持一个健康的市场,有可能通过更有效的管理来节约大量的水。该模型原型是针对格兰德河中游的,目的是指导农民对农作物的选择和灌溉的土地量。基于这个原型模型的成功经验,SAHRA 研究人员受新墨西哥州委托,为明布雷斯(Mimbres)盆地设计开发了一个水租赁试点项目。该项目成功提供了一个实时工具,可用于农作物选择、设置流速以及在干旱期水流下降时分配水资源。

### (6) 全球湖泊生态观测网络扩大了美国国内外合作伙伴关系,提高了湖泊研究的规模

一个名为 GLEON(全球湖泊生态观测网络)的国际合作组织正致力于促进对湖泊在全球碳平衡中的作用的生态学了解,并帮助研究人员了解湖泊新陈代谢和湖泊对飓风等剧烈天气事件的响应。在国家生态观测网络(NEON)项目的资助下,来自美国的研究小组与国际科学家合作建立了一个传感器网络,以收集有关湖泊新陈代谢和养分循环的数据。这些国际观测数据将提供受气候变化和土地利用变化影响的关键湖泊过程和功能的的信息,并逐渐形成对发展 NEON 有用的过程。

最近,GLEON 的一个补充项目使该网络能在美国和国际上得到扩大。GLEON 合作组织现有来自 9 个国家的 22 名成员,未来将有更多成员加入。在北欧增加了几个站点:瑞典和芬兰的学生和研究人员加入了该项目,斯堪的那维亚半岛北部的湖泊装上了传感器并连接到网络。阿根廷和智利有望在不久后加入。此外,美国新罕布什尔的苏纳普(Sunapee)湖应用符合新的 GLEON 标准的技术,已经建立起自动下载、存档和发布传感器网络数据的装置。扩大的网络将测试为将传感器信息传输到公众可用的数据库而开发的数据程序,还将测试事件探测模式,以便能够用电子方式区分生物事件和物理事件,如风暴之后湖水清浊倒置(Lake inversion)和传感器故障等。随着越来越多的传感器上线并与网络连接,来自上千个传感器的数据流入数据库的自动过程变得非常必要。

欧洲湖泊的加入将提供一套新的环境来了解湖泊新陈代谢以及驱动新陈代谢变化的局部和区域现象。此外,它还将提供探索把现有传感器系统加入网络基础设施框架的机会。更多传感器的在线加入和联网,使得我们可以测试网络基础设施设计的鲁棒性和开发即插即用技术,并探索解决因整合不同传感器和路由协议所引发的难题。

### (7) 北极河流运输

泛北极河流的养分、有机物质和悬浮沉积物的运输

(PARTNERS)研究是受 NSF 资助的 5 年期项目。该项目总的目标是利用河水化学作为一种方法来研究大陆径流的起源和归宿。理解河流流量的起源和归宿非常重要,因为河流对北冰洋的淡水量有着巨大贡献。所选参数侧重于河水的路径,运用这些参数对北冰洋流域最大的 6 条河流进行了测量,即叶尼塞河、勒拿河、鄂毕河、麦肯齐河、育空河以及科雷马河。

对流入北冰洋的河流流量的长期数据分析表明,最近几十年其流量有所增加。如果河流流量的变化与全球变暖相关,那么未来流量的增加可能会显著影响大西洋的温盐环流。在该项目中科学家发现,西伯利亚河流上的大型水坝大大影响了流量的季节性;然而基于年度来看,无论是水坝还是森林火灾都对观测到的欧亚河流流量没有影响。该项目成员包括了负责监控加拿大、美国阿拉斯加和俄罗斯的流量和水质量的政府机构代表,这将使北冰洋河流的水化学数据有更好的可比性。该项目小组通过对河流新的水样的初步分析发现,北极河流具有明显的化学差异,这意味着追踪北冰洋河水可能是个可行的方法。

#### (8) 化石燃料燃烧破坏自然碳循环

详见大气部分。

#### (9) 了解 CO<sub>2</sub> 失汇之谜

由国家大气研究中心的科学家 Britton Stephens 带领的研究团队从一个新的角度找到了对“失踪”的碳汇的一种解释,他们的结果大大减小了整体碳排放和大气中 CO<sub>2</sub> 的加速率之间的明显矛盾。此外,该团队的研究表明,热带森林吸收的 CO<sub>2</sub> 事实上远大于人们之前所认为的量,但在北纬地区却要低得多。

科学家分析了飞机收集的大气中 CO<sub>2</sub> 浓度的记录,其中一些记录延续了 20 多年。然而直到最近,这些数据还是无法提供全球碳通量的清晰状况。将年度平均在空中观测到的 CO<sub>2</sub> 结果与各种大气模型比较,该团队发现,那些与 CO<sub>2</sub> 观测水平非常一致的模型也预测了进入北方森林的 CO<sub>2</sub> 每年都在减少(减少量多达 20 亿 t)。这些模型显示,在热带地区森林排放的 CO<sub>2</sub> 比之前预想的每年少 60 亿 t。

这些结果表明,北方国家不能过分期望依赖其森林来抵消它们的 CO<sub>2</sub> 排放,而热带国家则可以通过保护森林来帮助减缓全球变暖。

热带森林的采伐依旧被认为是大气中增加的 CO<sub>2</sub> 的重要来源,因此,这些结果意味着完整的热带森林具有强大的吸收能力。虽然之前的局部研究也指出了完整的热带森林具有强大吸收能力,但那些结果与大气模型的预测不一致。未来几十年,森林对人类产生的 CO<sub>2</sub> 的吸收可以减缓气候变暖,并可能为人类争取更多的解决问题的时间。

#### (10) 气候原因引起的密西西比河上游的洪水

过去,气候变暖事件增加了早春大面积融雪降雨的可能性,导致密西西比河上游更频繁地发生大型洪水。威斯康星大学麦迪逊分校的 James Knox 研究了密西西比河沿岸的沉

积物的分层沉积以及年均温度以上的相关的洪水沉积。他指出,在相对暖和的中世纪(公元 1000—1400 年),密西西比河谷高频率地发生了大型漫滩洪水,这些洪水对某种大气环流高度敏感,这种大气环流有利于暖和潮湿的空气团进入密西西比河谷。当这些潮湿空气团与高纬度的冷空气团发生正面碰撞时,上游中西部地区就会出现大面积暴雨,随之而来的就是密西西比河洪水。

该研究得到了一种假设,即气候变暖能增大洪水量级的变化,包括相对大型、特大型洪水的发生率。虽然这种假设看起来与变暖易造成干旱和径流减少的通常看法有分歧,但这一假设认可大多数密西西比河的大型洪水都伴有融雪,尤其是当伴随大面积降雨时更是如此。暖冬和早春有利于密西西比河流域融雪降雨的发生。自 1950 年以来,大型洪水发生的次数比统计结果预想的多一倍。虽然 1950 年后发生的大多数大型洪水都伴有融雪,但它们也增加了夏天暴雨的可能性,因为暖空气团比冷空气团含有更大数量的可降水蒸气。

#### (11) 社会科学家应对缅因州的森林采伐

森林采伐是一个普遍性问题,涉及木材、侵蚀、水质、生物多样性、旅游业、娱乐以及气候变化。为了解正在进行的过程和可能阻止该潮流的事件,缅因大学的人类学和海洋科学教授 James Acheson 利用 NSF 的资助项目,研究了缅因州小林地(少于 5000 亩)业主的森林采伐和保护决策。缅因州是美国森林覆盖最高的州。该研究直接显示了人类行为对美国未来林地的影响。

Acheson 的研究揭示了 4 种不同类型的林地业主:① 承包商。这些人购买土地,采伐木材,并转售土地;② 当地商业业主,他们开发土地建房;③ 大型木材公司;④ 小地主,许多小地主都在他们的森林里生活或度假。卫星图像显示,2000—2005 年之间采伐土地,40% 转为房地产开发所用。尽管大型的采伐已经停止,但承包商、公司和其他私人所有者为了响应市场需求所进行的大量采伐依然存在。只有人数不多的小地主正进行着保护森林的工作,他们生活富裕,受过良好教育,不指望从土地上获得收入。

如果缅因州和美国要保护森林并获得随之而来的好处,就需要采取行动,而且要尽快行动。否则,随着开发扩张的浪潮,森林覆盖率和森林质量将会快速下降。私人所有对森林保护不一定就是不利的,但需要采取相应的措施激励森林土地所有者保护其树木。

#### (12) 气候变化对供水的影响

全球气候变化如何影响美国西部的供水? 斯克里普斯海洋研究所和劳伦斯利弗莫尔国家实验室的气候科学家正与圣迭戈超级计算机中心(SDSC)的研究人员合作,一起回答这个问题。这些科学家首先在超级计算机上运行全球气候模型,然后进行缩放,观察对美国西部地区的影响,其后再分析结果并与现实世界的观测相比来验证模型的准确性。科学家们面临的一个重大挑战是如何处理生成的大量数据。为管理这些数据,使其在机构间移动并共享,科学家们目前使用的

是SDSC数据专家开发的一种名为“储存资源经纪人”的专门工具。

### (13) 风暴的过去

估算过去风暴的强度和频率,对试图梳理出人类活动对气候的影响的研究人员来说,是极有价值的。伍兹·霍尔海洋研究所(WHOI)的 Jeffrey Donnelly 研究了飓风风暴潮过后的混乱(不是墨西哥湾的卡特里娜飓风,而是纽约市范围内的飓风)。Donnelly 发现,过去 700 年中,飓风过后至少留下 10 层的沙子。他希望通过观察登陆飓风和风暴潮过后在障壁后盐碱滩和壶形池留下的沉积物,重构新英格兰南部和长岛的这些强烈飓风的历史。到目前为止,研究小组已经发现了 1991 年、1954 年、1938 年、1893 年、1788 年和 1693 年的大风暴相应的沙层。许多附加层表明,风暴可追溯到 1642—1477 年、1434—1347 年、1316—1257 年,甚至是 1190—1034 年和更早的年代。

虽然在纽约市区出现飓风被认为是罕见的,但是在过去 3500 年中,登陆飓风发生过很多次。在过去 700 年中,伴随着 6 个严重的风暴,纽约市的登陆飓风出现的频率与罗德岛南部等同,并高于新泽西州南部地区。初步研究结果表明,过去频繁飓风活动期和罕见飓风活动期的交替发生,可能与气候变化有关。Donnelly 小组确定了长岛西部飓风活动高发期是距今 3500—3050 年前以及 2200—900 年前,该时段与加勒比海和墨西哥湾北部发现的高发活动证据几乎同步。

### (14) 从区域和地区尺度探索东非土地利用和气候变化之间的相互作用的跨学科项目

人类土地利用对当地和区域的气候有什么影响?森林采伐和农业扩张等土地利用转变改变了土壤水分、表面反射率以及其他土地条件,这大大影响了当地和区域的气候。同样地,当地气候的变化,如温度上升和降雨量发生变化,可以影响农业、林业和其他土地利用,导致土地利用模式的改变。NSF 资助的气候与土地间相互作用项目(CLIP)正在解决这些过程。CLIP 包括了密歇根州立大学、普渡大学、国家海洋和大气管理局以及其他合作机构,如非洲的达累斯萨拉姆大学和马凯雷雷大学、英国的东英吉利大学。

CLIP 的科学家解决的核心问题是“区域和地区尺度下土

地利用和气候变化之间的相互作用,其大小如何?特性是什么?”这一问题正在东非进行研究。东非正经历极度快速的土地利用变化,包括把种植扩张到热带草原、灌溉的增加、森林采伐以及城镇化。东非跨越赤道,其特征是地形多样化,从冰封的火山和山地森林,到咖啡、玉米和香蕉农场,到广阔的半干旱热带草原。

CLIP 将气候模型、作物-气候模型、气象和卫星图像数据以及土地利用变化模型联系起来,评估气候变化如何影响土地利用,反过来土地利用又如何影响气候变化。土地利用变化模型对社会经济学和生物物理学空间数据以及专家系统工作组和角色扮演情景的结果进行分析处理,专家系统提供基于现实的初始模型参数确定,然后对土地利用变化模型评估。这些模型对了解响应经济学和其他外力的人类动力学研究非常重要,并引导个人、团队和组织改变土地利用实践。土地利用变化影响地表-大气通量并改变区域气候,专家系统有助于理解人们如何响应已改变的气候条件。专家系统和角色扮演情景的参与者带来了他们各自从农场成长获得的个人经验以及作为政府官员和科学家对其所在的环境、金融和规划领域的专业见解。通过评估不同的资源机会和约束下的未来情景,专家们提供了供不同参与者采用的有关决策过程的重要信息。

### (15) 标定地球历史

准确的日期对理解大量的地质和演化过程非常重要,从大规模消亡的成因,到过去气候波动的速度,到山脉形成的演化速度、时机及成因。虽然之前长期被古生物学家和其他专家认可,但直到最近,地质年代技术才提高到可产生远小于 100 万年的时间精度。未来 10 年,精确的地质年代学将变革人们对地球历史的了解,并变革地质、生物和气候过程的丰富记录。世界时钟项目的目的是促进地质年代学家、古生物学家、进化生物学家和地层学家之间前所未有的国内和国际合作,以产生高分辨率的时间尺度,可标定至少 5500 万年前的生物进化、气候变化和海洋化学的记录。此外,该项目需要开发分析规程和标准,从而使来自不同实验室的地质年代数据具有可比性,并能提供接近 0.1% 的时间误差精度。

(未完待续)

**科技  
导报**  
SCIENCE & TECHNOLOGY REVIEW

### 《科技导报》征集“封面文章”

为快速反映我国最新科技研究成果,《科技导报》拟利用刊物最显著位置——封面将最新科研成果第一时间予以突出报道。来稿要求:研究成果具创新性或新颖性;反映该领域我国乃至世界前沿研究水平;可以图片形式予以反映,图片美观、清晰、分辨率超过 300dpi;文章篇幅不限,要说明研究的背景、方法、取得的结果,以及结论。在线投稿:www.kjdb.org。