

第二次青藏高原综合科学考察研究

快 报

2022 年第 9 期（总第 37 期）

第二次青藏高原综合科学考察研究队

2022 年 8 月 3 日

青藏高原植物物候变化及驱动机制

2022 年 7 月 26 日，“生态安全屏障功能与优化体系”任务“生态安全屏障优化体系”专题研究团队，在国际著名学术期刊《自然综述：地球与环境》（Nature Reviews Earth & Environment）上发表了关于青藏高原植物物候时空变化、驱动机制及生态与气候效应的最新研究成果。北京师范大学沈妙根教授为本研究第一作者，沈妙根、中国科学院青藏高原研究所汪诗平研究员和北京师范大学傅伯杰院士为本研究共同通讯作者。

研究团队基于遥感观测结果表明，在过去四十年，青藏高原春季物候事件发生时间显著提前，秋季物候事件发生时间显著推迟（图 3）。高原平均水平上的生长季开始期（SOS）在 1982—1999 年间提前了 9.4 ± 2.2 天，在 2000—2020 年间提前了 8.3 ± 2.0 天；而生长季结束日期（EOS）在 1982—1999 年间无显著变化，在 2000—2020 年间推迟了 8.2 ± 1.9 天。

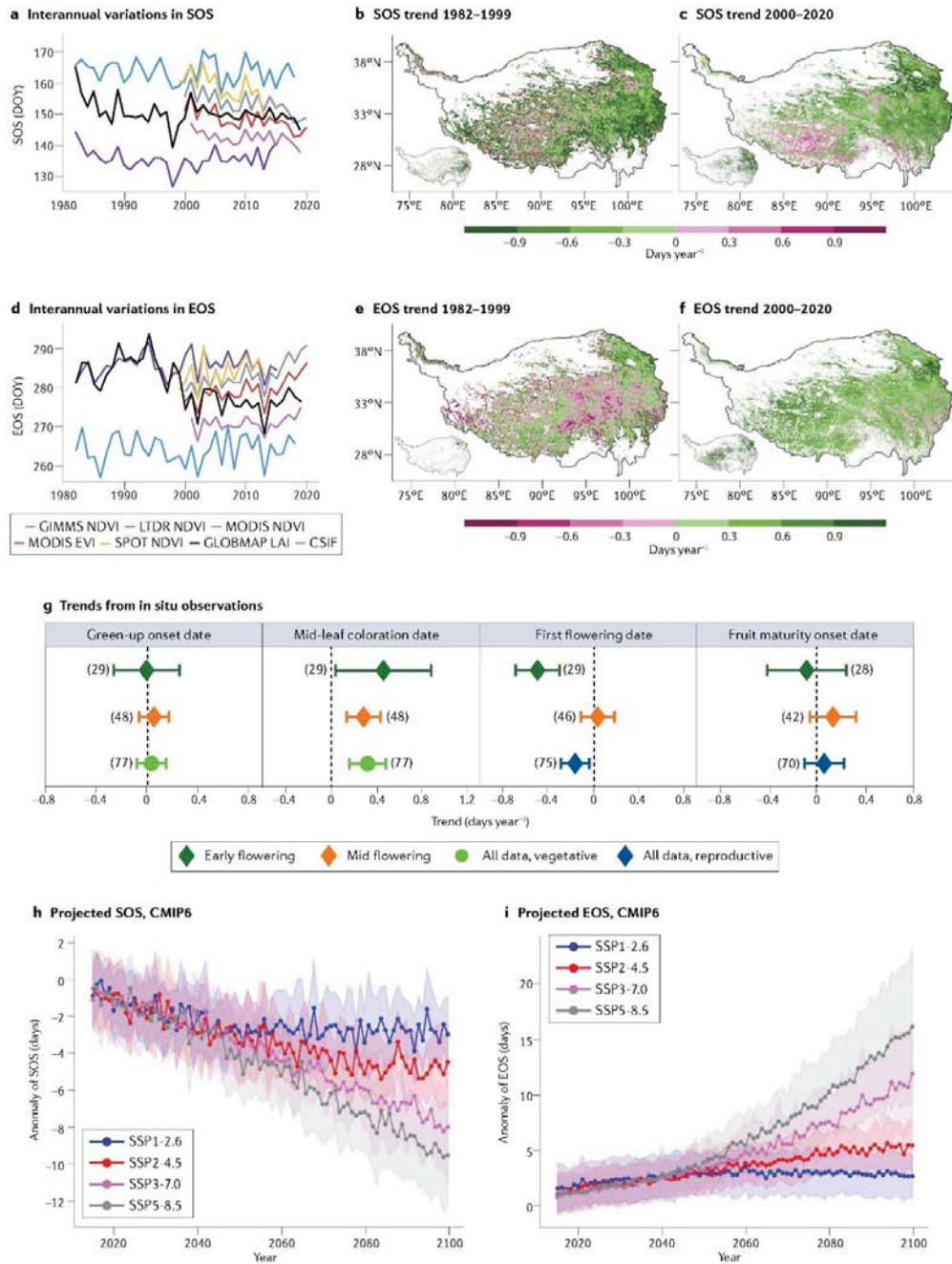


图3 青藏高原植物物候变化。(a和d)基于不同遥感数据计算的高原平均的生长季开始(SOS)和结束期(EOS)的年际波动;(b、c、e和f)SOS和EOS变化趋势的空间格局,负值表示提前,正值表示推迟;(g)基于地面观测的各物候期的整体变化趋势,括号中数字表示用于计算整体趋势的时间序列个数,深绿色和橙色分别表示早花物种和中花物种;(h和i)模型预估的未来不同气候变化情景下高原平均SOS和EOS变化(相较于2000—2014平均)。

基于地面观测的结果则略有不同,在1983—2017年间,初花期以 0.16 ± 0.06 天/年的速度显著提前,叶变色以 $0.32 \pm$

0.08 天/年的速度显著推迟；而返青和果熟期整体上无显著变化趋势。但是地面观测仅包括少量物种和站点，代表性有限。利用 IPCC 第六次评估中使用的气候模式资料驱动基于过程的物候模型，预估了未来物候：相较于 2000—2014 年，到本世纪末，在高和极高温室气体排放情景下（SSP3-7.0 和 SSP5-8.5），SOS 将分别提前 7.4 和 8.8 天，EOS 将分别推迟 10.1 和 14.0 天，因此模型模拟的物候变化将会放缓。

据已有观测证据，SOS 提前和 EOS 推迟的主要驱动因素是温度升高和降水增加。由于温度和水分条件的交互作用和背景气候的影响，物候对气候变化的响应呈现较大的时空异质性。水分不足在干旱区域会导致 SOS 推迟，EOS 提前，并且这种影响沿干旱梯度增大。水分条件还调节物候对温度的响应：SOS 对温度的敏感性随着干旱程度加剧而变小；水分不足导致 EOS 和白天温度呈负相关（升温时 EOS 提前），因此变暖对 EOS 的推迟作用主要来自夜间升温。除了气候因子，在生长季较短的区域，EOS 也受到 SOS 的影响，表现为 EOS 随着 SOS 提前（推迟）而提前（推迟）。

基于控制实验的种群水平研究也进一步证实了温度和降水对物候的控制作用。通过结构方程模型分析发现：温度和水分的增加可促使植物开始展叶和开花的时间提前，推迟叶变色结束的时间；温度对植物物候影响的直接效应比水分条件更强，但增温实验导致的水分条件变差可能会削弱（甚至逆转）温度对物候的影响。基于控制实验研究的分析也进一步印证了早期物候事件对其后续物候事件的影响：展叶开

始时间的提前可以促使开花时间提前，开花时间的提前也可以促使叶变色结束时间提前。

对比青藏高原地区和北半球其他地区的草地物候发现，青藏高原地区草地 SOS 的提前趋势和 EOS 的推迟趋势均高于北半球地区平均水平，也比北极苔原地区和蒙古高原地区更加明显。青藏高原草地的主要春季物候事件和秋季 EOS、叶变色时间的温度敏感性均高于北极地区草地，但 SOS 和 EOS 的温度敏感性低于中纬度高山和亚高山地区草地。

在气候变暖影响青藏高原植物物候的同时，气候变化导致的物候变化也对生态系统和气候产生影响。物候变化可能通过影响物种间的相互作用来改变群落结构，还可以引起生态系统功能的变化，进而对气候（如亚洲季风和中国东部的春季降雨）产生影响。

文章还指出了目前青藏高原物候变化及其驱动机制研究的不足之处，并提出近期研究方向：1) 纳入主要物种，建设更多的站点，提高地面长期物候观测的代表性；2) 提高现有卫星遥感数据的质量，通过多尺度人工物候观测和近地遥感同步监测，开展遥感物候的验证以及多源物候数据融合；3) 在控制实验中，考虑生物因素（如微生物、种间作用）及温度和水分以外的非生物因素对物候的影响，同时补充高原西部地区的控制实验研究；4) 融合不同学科，进一步阐释物候变化的机理及其对生态系统和天气、气候系统的影响。

原文链接：<https://doi.org/10.1038/s43017-022-00317-5>

青藏高原隆升过程和机制

2022年7月28日，“高原生长与演化”任务“青藏高原不同地块的隆升过程与动力学机制”专题研究团队，在国际著名学术期刊《自然综述：地球与环境》(Nature Reviews Earth & Environment)上发表了关于青藏高原隆升过程和机制的最新研究成果。中国科学院青藏高原研究所丁林院士为本研究第一作者，丁林和中国科学院青藏高原研究所蔡福龙研究员为本研究共同通讯作者。

大陆碰撞—俯冲等深部圈层作用驱动的青藏高原隆升是新生代全球最重要的地质事件之一。高原隆升显著影响了地表圈层—大气圈、水圈、冰冻圈、生物圈和人类圈的耦合作用过程，深刻影响了亚洲气候动力学、生物多样性、碳循环、现代水资源分布和大江大河的演化，是21世纪地球系统科学研究的前沿阵地。然而，在大陆碰撞过程中，青藏高原大陆岩石圈变形和地表高程时空变化的机制仍不清楚。

研究团队通过详细分析青藏高原白垩纪海陆转换、构造变形、岩浆和低温热年代学证据提出，拉萨—羌塘地体的碰撞以及随后的拉萨岩石圈向北俯冲导致了分水岭山脉的初步生长；南部新特提斯洋的持续俯冲，在约9500万年前将冈底斯地区隆升至海平面之上，形成与现今的安第斯山相似的发展过程，称之为安第斯型冈底斯山，并在藏南地区形成显著的降水效应。此时的青藏高原仅有两条狭窄的山脉，即分水岭山脉和冈底斯山脉，但地表隆起的幅度仍有待量化。

研究团队近20年在西藏、巴基斯坦和印度工作还获得

了关键认识：1) 目前发育在藏南的冈底斯岩浆弧、弧前盆地、蛇绿岩和海沟形成于拉萨地体南缘的洋—陆俯冲系统，而非形成于远离大陆的洋内俯冲系统；2) 巴基斯坦北部的证据表明约 5200 万年前亚洲物质可以到达印度次大陆，不支持印度—欧亚大陆碰撞前存在洋盆。文章指出，单阶段俯冲碰撞模型是解释印度—欧亚大陆碰撞最简单，也是得到地质证据支持的模型。

结合已有定量古高度结果和深部动力学证据，研究团队进一步恢复了青藏高原自约 6000 万年前到现今不同地体地表隆升历史（图 1）和岩石圈演化过程（图 2），提出青藏高原不同造山带具有差异的隆升历史。5500—4500 万年前，由于新特提斯洋俯冲板片的断离，冈底斯造山带隆升到 4500 米高海拔；4500—4000 万年前，新特提斯板块断离之后，更具浮力的印度岩石圈向北水平楔入，激活羌塘地体南北部缝合带发生陆内俯冲，使得分水岭山脉隆升到 5000 米的高海拔；此时位于冈底斯造山带和分水岭造山带之间的中央谷地、高原最南部的喜马拉雅造山带以及高原北部还处于小于 2000 米的低海拔，高原整体形成“两山夹一盆”的地貌特征。

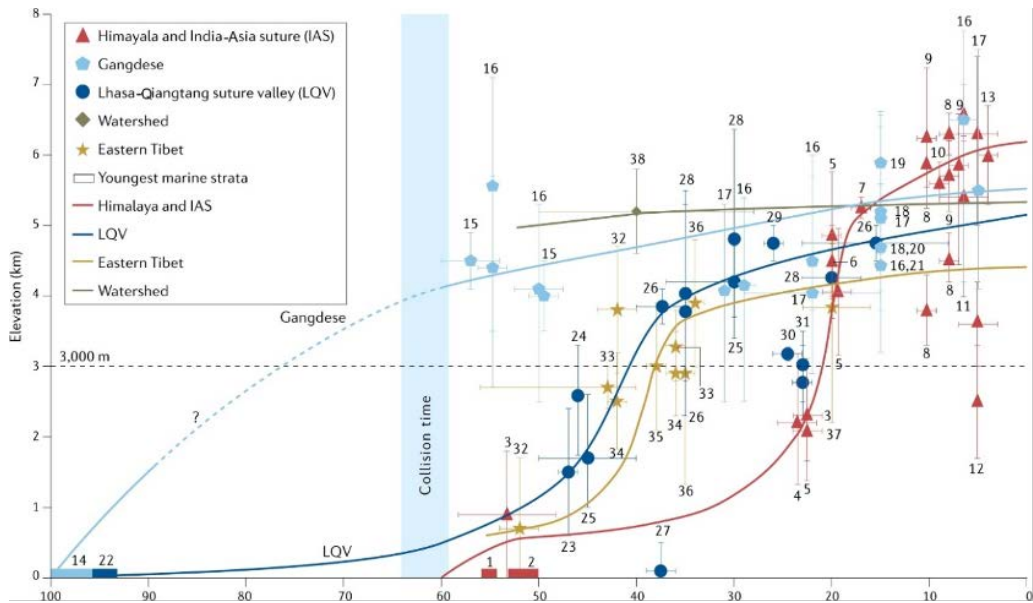


图 1 青藏高原不同地体差异性隆升历史

4000—3000 万年前，拉萨岩石圈在中央谷地下方拆沉，上地壳缩短、岩浆底垫和软流圈上涌等多种深部地球动力学过程耦合作用，使得中央谷地抬升 4500 米的目前高度，青藏高原由造山带正式转变为统一高原。2500—1500 万年前，由于印度大陆的持续俯冲，喜马拉雅山脉下方俯冲的印度大陆岩石圈及藏北可可西里—昆仑山下方俯冲的欧亚大陆岩石圈先后发生拆沉，喜马拉雅山与昆仑山先后隆升到现代高度，现代意义上的高原形成（图 1、图 2）。但是北部地区的隆升历史尚存在较大的不确定性，需要更多定量古高度数据来验证。

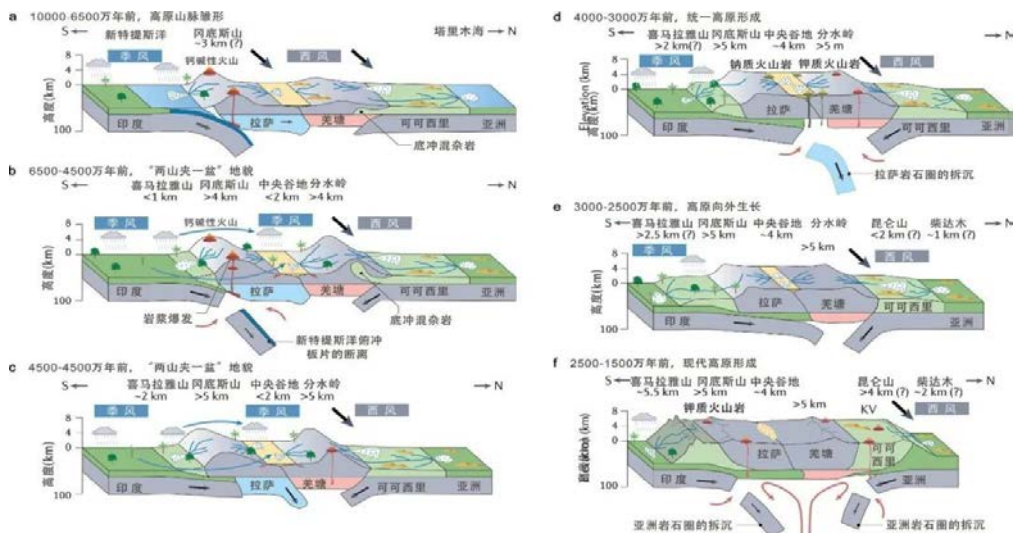


图2 青藏高原自白垩纪以来不同地体岩石圈演化过程、地表隆升历史和环境演变

针对青藏高原隆升的时间和机制问题，文章还指出，今后需要重点发展的研究方向包括：1) 解决印度—欧亚大陆汇聚量和地壳缩短之间的不一致性；2) 需要大量高分辨率的古高度数据精确限定高原隆升历史；3) 结合数值模拟和地质数据，准确重建高原地球系统演化历史；4) 结合地球物理成像技术和地球动力学模拟，阐明大陆岩石圈的循环过程和分布范围，解析大陆碰撞如何影响邻近板块边界的构造以及全球规模的地幔对流。

原文链接： <https://doi.org/10.1038/s43017-022-00318-4>

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，成果第一及通讯作者

第二次青藏高原综合科学考察研究队办公室

总编：安宝晟 聂晓伟 余健

编辑：王伟财 李久乐 王传飞 赵华标 张强弓 郭燕红

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