

近 20 年古生物科考破解青藏高原地质和生命演化神秘历史

也曾游鱼嬉戏萍叶 更有冰川磨砺猛兽

几乎伴随着大批恐龙的灭绝，6500 万年前，在特提斯洋里“漂”了近 1 亿年的印度次大陆终于“靠岸”，与欧亚大陆碰在了一起。

这次碰撞是 5 亿年以来地球历史上最重要的一次造山事件。这一碰，碰出一个青藏高原，也碰出了华夏大地“三级阶梯”的地理格局，甚至还导致了与中华文明起源息息相关的东亚季风的形成。

青藏高原是无数地质学家心驰神往的“天堂”，它为人们认识高原的地质历史留下了丰富多样的线索。然而，辽阔空旷的地域、高寒缺氧的环境、技术条件的限制，使得在青藏高原寻找化石的难度极大。在 21 世纪之前，人们对那里的生物演化历史一直不甚明了。

近 20 年来，中国科学院高原古生物科考队（以古脊椎动物与古人类研究所和西双版纳热带植物园队员为主），对青藏高原进行了系统、深入的考察研究，大量封存于岩层千百万年的化石重见天光，高原地质和生命的历史画卷日趋明朗。



上新世（距今约四五百万年前）西藏阿里地区札达动物群生态复原图

吴飞翔

海陆易势，攀鲈西征

去东南亚旅行，如果雨后在田间散步，或许能看到一些小鱼在路上鳃盖大开，左右扭摆，神气活现地“行走”，这种鱼叫做“攀鲈”。

18 世纪欧洲的博物学家在印度一棵棕榈树上发现了这种鱼，以为它们能爬树，因此取名“攀鲈”。实际上，这可能是个误会，或许它只是被鸟类叼着掉落到树上。但这类鱼能出水上岸，在陆地上爬行倒是不争的事实。因为它们鳃腔里有一个结构复杂的大鳃，其功能与肺类似。这个器官挤占了鳃腔的大部分空间，以致用于水中呼吸的鳃已经小到不能满足鱼的生理需求。所以，攀鲈必须不时地露出水面呼吸空气，否则就会窒息而死，和人溺水一样。

现代攀鲈的分布范围呈现出有趣的间断：主要分布在亚洲南部（印度、东南亚）和西、中非热带雨林及平原地区，中间却隔着撒哈拉、中东沙漠和伊朗高原。很明显，这样分布格局的形成必然和某种地质或环境事件相关。

可惜的是，攀鲈的化石记录极少，它们的演化历史谜团一直难以解开——亚洲和非洲的攀鲈到底是何时“分家”的？

有人认为是，攀鲈起源于冈瓦纳大陆（如非洲）。大陆裂解后，攀鲈搭乘着印度板块的“顺风车”一路漂来亚洲。也有人认为，在约 2000 万年前，非洲-阿拉伯半岛碰上亚欧大陆时，攀鲈从大陆的一头扩散到另一头。此后，北非和西亚环境的变化又让两地的攀鲈从此分化。但是，这些假说都没有可靠的化石证据可以验证。

直到西藏的攀鲈化石“面世”，疑问才得以解开。西藏攀鲈化石是迄今所知保存最完整、最原始的攀鲈化石。为了纪念西藏第一例鲈形目化石的发现，中科院古脊椎动物与古人类研究所所长邓涛研究员特作藏头诗一首，从中亦可管窥该化石发现之艰难：

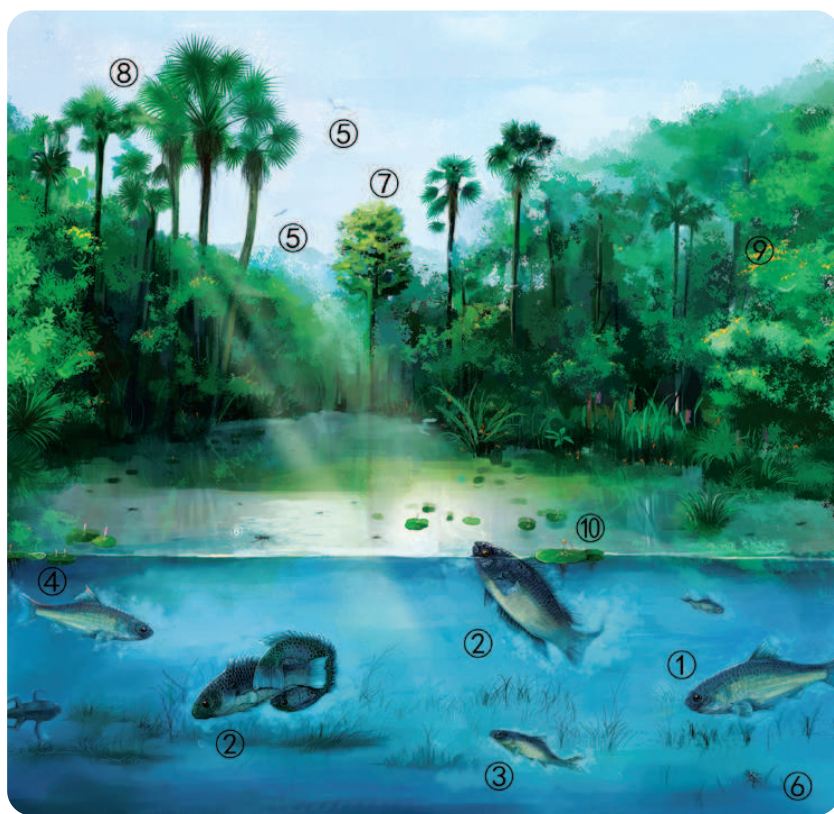
西上羌塘觅旧踪，
藏身远古费搜踪。
攀高不畏寒冰雪，
鲈骨肥鳍慰苦辛。

通过用它们以及其他几个化石校正攀鲈家族的“分子钟”，我们知道亚洲和非洲攀鲈是大约在 4000 万年前分道扬镳：在空间上，从东南亚起源后，它们一路西征，经西藏，过印度最终抵达了非洲大陆。换言之，印度次大陆与欧亚大陆的碰撞（联结）很可能为攀鲈西扩非洲提供了关键条件。

然而，有趣的是，亚非攀鲈分化的时间却滞后于目前关于印度-亚欧大陆碰撞时间的权威认识，是碰撞之初并无扩散条件，还是需作其他解释？这又给科学家带来了新课题。

图图西藏似沙巴棕化石，比例尺 10 厘米。

棕榈（杨柳属）



高原中部古近纪末生态系统复原图，为热带、亚热带低地暖湿的生态体系（吴飞翔绘）。图中有①张氏春霖鱼；②西藏始攀鲈；③④鲤科鱼类新类型；⑤鸟类、猛禽和鸮类；⑥伦坡拉大椿尾；⑦伦坡拉菜树；⑧西藏似沙巴棕；⑨大果臭椿；⑩长梗似浮萍叶等中生生物。

遍野棕榈，复现古境

现代攀鲈多生活在热带平原地区的湖泊里，岸上草木葱茏，其中常见各种棕榈。在藏北化石攀鲈的产地，同时代的大量热带-亚热带森林植物化石类群里，一样也有巨大的掌状棕榈叶，整体长度达到一米。

棕榈是很好的环境指示物。今天全世界棕榈科种类超过 2500 种，我们熟悉的椰子、油棕等都属于该科。它们主要分布于全世界热带、亚热带地区较暖湿的低海拔处。其正常生长环境温度最冷月均温不低于 5.2 摄氏度。

将今论古，重建古环境，古生物学家们通过解析藏北化石攀鲈生物学特点，辅以复杂的模型推算，认为当时的高原中部古海拔低于 2300 米，也就是说 2500 万年以来，这里的隆升幅度超过了 2000 米！将这一结果置入其他地质学模型，可以大致勾画出青藏高原整体地理形态：南北奇峰峻岭，高耸入云，而中部则是旷野宽谷，鸟语花香。

值得注意的是，藏北棕榈的研究结合了古植物学、叶相分析和古地理演变模拟等多种方法，是一次成功的多学科交叉的尝试。在笔者看来，其意义已超出论文本身。科技的进步为高原研究带来了新机遇，集大数据做模型、用同位素测古高度，各种宏观、微观的新方法正在地球演化史的探秘中，发挥着很多传统方法所不具备的优势。

冰河主角，起于高原

达尔文在《物种起源》提出，包括披毛犀在内的冰期动物们，它们的

祖先是来自北极起源的。然而，近年来，古生物学家在西藏阿里地区札达盆地上新世地层，发现了诸多冰期哺乳动物祖先的化石，由此已可认定达尔文的看法并不准确。

事实上，披毛犀、北极狐等类群的祖先们是在上新世的青藏高原上，经受了冰缘环境的考验。作为适应寒冷气候的先驱者，它们在随后的第四纪大冰期来临时，走出青藏高原，一路北去，直到西伯利亚乃至北极圈地区，跻身冰河世纪的主角之列。

其他哺乳动物，如雪豹、盘羊等也曾有类似经历。豹亚科（包括云豹、其他云豹、雪豹、美洲虎、豹和狮）动物在它们的生存环境中，都是顶级掠食者。作为食物链顶端的王者，它们的兴衰起落，对群落生态的平衡举足轻重。但由于化石材料稀少，之前人们对其演化历史知之甚少，几乎完全依靠分子生物学数据进行分析。

发现于西藏阿里札达盆地上新世地层中的布氏豹化石，将豹亚科的化石记录向前推进了两百万年，大大弥合了此前分子学和形态学对豹亚科起源时间推测的分歧。再加上多重数据推断的历史生物地理分布证据，现在可以确定豹亚科起源于亚洲。

雪豹是典型的高山猫科动物，分布在青藏高原及其周边。它们栖息在高山裸岩地带，其生活环境在一年中的大部分时间里都存在积雪，因此其活动范围在海拔 4000 米地区至雪线附近。布氏豹与雪豹有着密切的亲缘关系，这说明现存于中亚地区的豹亚科支系可能最早就分布在喜马拉雅和中亚山区。结合札达动物群的组成可知，现生雪豹与其猎物之间的生态模式开启于几百万年前的青藏高原。

现生盘羊在高加索、喜马拉雅、青藏高原、天山-阿尔泰、东西伯利亚，以及北美的落基山等山脉和高原广泛分布，绵羊即从野生盘羊驯化而来。札达盆地发现的喜马拉雅原羊是盘羊类最近的共同祖先。盘羊的系统关系与其分布明显反应了它们的迁徙路线：盘羊成功地扩散到新的地区后就在那里形成新种，即便在像东西伯利亚与阿拉斯加山区那样极端恶劣环境下，雪盘羊和白盘羊也稳固地生存下来。

刷新对青藏高原演化的认识

邓涛

雄伟的地貌总是给人类以敬仰甚至敬畏的强烈冲击。青藏高原是地球上最年轻和最高的高原，其高度占据对流层的三分之一，对大气环流和气候有着巨大的动力和热力效应，自然成为大众和科学家关注的焦点。

青藏高原如何形成？它何时达到现在的高度？对气候环境和生态系统产生了怎样的影响？许许多多的问题让一代又一代的科学家孜孜以求，一个又一个的谜团也逐渐被破解。

青藏高原在地质历史时期经历了复杂而大规模的气候环境变化，这些变化无疑影响着生物的分布和演化：可能促进本地区生物多样性的发展，也可能引起生物的灭绝。青藏高原的形成过程，不仅对塑造本地区的现代生物多样性具有决定性的影响，而且对促进起源于高原的许多物种，甚至现代广布类群的祖先的洲际扩散起过重要的作用。

因此，科学家们很早就开始通过研究保存在青藏高原和周边地区地层中的化石，来恢复生物在高原形成和隆升背景下的演化脉络。同时，这些研究结果也为判断和刻画地质构造运动的机制与历程，提供了独立证据和交叉检验的证据。

遵循严格的科学原则，并依靠不断发展提高的技术手段，我们在过去近 20 年的科考中，发现了大量的古生物化石证据，结合过去的科学发现，现在我们已可认清青藏高原演化的历史。

青藏高原今天所处的地区，在中生代时期还是一片汪洋大海，生

活着以菊石、鲨鱼、鱼龙等为代表的海洋生物。随着印度板块向北漂移并在新生代初期与欧亚大陆发生碰撞，青藏高原开始形成。这也是近 5 亿年来地球历史上发生的最重要的造山事件。

我们发现，以攀鲈和棕榈为代表的生物群落向现代的高山生态系统转变，这一重大的转折发生在 2300 万年前的渐新世与中新世之交。在青藏高原腹地找到的鱼类化石显示，生活于低海拔温暖环境的鱼类在渐新世末期消失，中新世初期开始出现青藏高原特有的裂腹鱼类，热带植物也被适应凉爽气候的草本所取代。

生物所反映的气候环境变化必须要得到地质证据的支持，才能成为令人信服的事实。而一系列独立的研究显示，渐新世、中新世之交是青藏高原构造演化的一个关键时期，高原中部在中新世初期隆升到接近 3000 米高度所产生的降温效应，正是造成生态系统重大转折的动因。

（作者系中国科学院古脊椎动物与古人类研究所副所长、研究员）

更多揭秘

拾阶而上裂腹鱼

鲤形目的鲤科裂腹鱼类是高原鱼类的主要组成之一。依据鳞片、触须数目、咽喉齿行数，及其在三个水温递减的连续海拔高度区间的分布，裂腹鱼被分为三个等级：原始等级分布在海拔 1250 至 2500 米的区域；特化等级在海拔高度 2750 至 3750 米；高度特化等级则在海拔 3750 至 4750 米以上地区。这种阶梯状分布特点是高原隆升过程在裂腹鱼演化历史上的投射，是裂腹鱼“演化与隆升并进”的结果。

高原已有的鱼类化石也验证了这一结果。上新世之前的高原裂腹鱼类和其他鲤科鱼类都呈现出相对原始的特征。直到上新世晚期，高度特化的裂腹鱼才出现在今天它们的分布区内。

长梗似浮萍叶

与攀鲈、棕榈同时代的还有似浮萍这类天南星科水生植物。似浮萍叶是天南星科一个灭绝类群，素来被认为是真天南星亚科（如芋头）和浮萍亚科（如浮萍）演化过程中的过渡类群。发现于藏北的长梗似浮萍叶化石是西藏乃至东亚唯一一例似浮萍叶的化石记录，并且保存精美，甚至首次保存了最重要的完整的果序和种子。

一方面，连同棕榈、攀鲈等众多化石资料，古生物学家可以重现当时藏北的自然环境，推断当地当时的海拔高度，给高原隆升历史断代；另一方面，化石也为追溯其家族的演化历史带来了全新的科学信息。

从化石分布来看，似浮萍叶可能起源于北美，后于古新世通过白令陆桥扩散至远东和东亚，并且在渐新世晚期西藏地区还是其家园，后来它们才扩至欧洲。

似叶似花栎树果

栎树又名“灯笼树”，无患子科植物。栎树属的化石记录揭示它们广泛地分布于古新世的欧洲、东亚和北美西部。

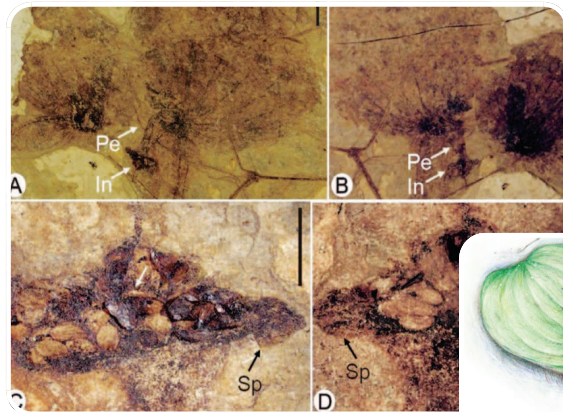
藏北攀鲈和棕榈的上新统层位还产出不少栎树蒴果化石。经研究，这些化石包含两个种类：一种是果瓣很不对称，与现生栎属和已知化石种均不同的伦坡拉栎树，代表栎树属一个灭绝类群；另一种为果瓣基本对称，和现代全缘叶栎树很接近的古全缘叶栎树。后者将全缘叶栎树化石的分布范围扩展到了隆升前的高原中部，也将其地质历史由中新世前推到了渐新世。可见，青藏高原在古近纪末、渐新纪初是栎树多样化的一个中心地区，也曾是全缘叶栎树类群的残遗种分布区。

有樽自南来

臭椿古称“樗”，苦木科植物。它从南方随印度板块漂来，在板块碰撞进入西藏后，又经此分别向西往欧洲扩散，同时往东北渡过白令陆桥，到达北美大陆。

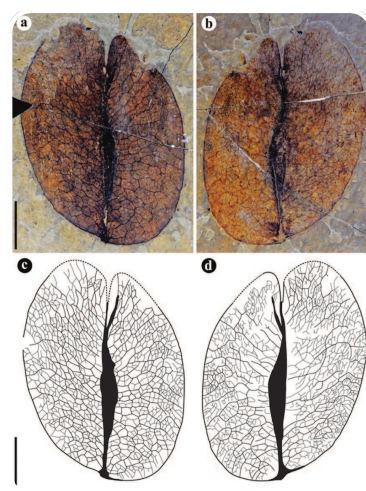
在西藏新发现的始新世早期和渐新世末期的大果臭椿化石是高原地区的首例臭椿化石记录，也是臭椿属迄今已知最大的翼果化石记录。西藏的新发现极大地拓展了新生代臭椿属的分布范围，也再一次突出了隆升前的西藏地区作为生物交流“枢纽站”的特殊地位。

（作者系中国科学院古脊椎动物与古人类研究所副研究员，本版图片均由作者提供）



长梗似浮萍叶及伴生动物复原图

图图伦坡拉盆地的长梗似浮萍叶化石。A、B 为主标本整体，比例尺 1 厘米；C、D 为化石果序，比例尺 1 毫米。



图图伦坡拉栎树化石蒴果果瓣，比例尺 10 毫米。

