

# “拿来”亲戚基因，山羊登上“第三极”

■本报记者 李晨 通讯员 杨远远

青藏高原被誉为地球“第三极”，其极端环境造就了独特的生物多样性。伴随着人类迁徙与生产活动，一批家养动物也逐渐适应了青藏高原恶劣的生态条件，成为藏区居民不可或缺的生产和生活资料。

近日，西北农林科技大学教授王小龙和姜雨，以及中国农业科学院—国际家畜研究所研究员韩建林等多位科研人员合作，在西藏山羊基因组中发现了一个新的受选择基因PAPSS2。该基因源于喜马拉雅地区一种山羊野生近缘物种的基因渗入。这一远古时期的基因渗入事件帮助山羊快速适应了高原严酷的自然环境。相关研究成果发表于《分子生物学与进化》。

## 山羊快速适应青藏高原严酷环境

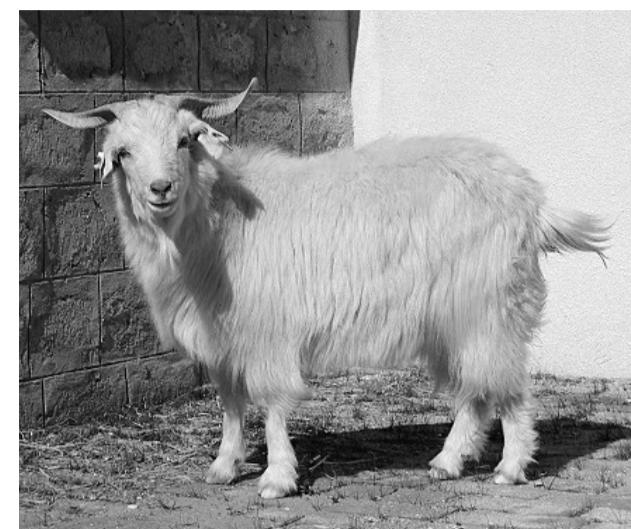
生活在青藏高原的早期人类在这里驯化和饲养了包括牦牛、藏黄牛、藏绵羊、藏山羊、藏猪、藏鸡、藏马和藏獒等在内的家养动物。这些畜禽资源为当地牧民提供了重要的生产和生活资料。

王小龙介绍，由于天然屏障的阻隔，山羊大约在5000年至3000年前才由中亚地区一路向东抵达寒风凛冽的青藏高原。虽然这个时间晚于山羊迁徙至欧洲和东亚的时间，但山羊却在短时间内适应了高原严酷恶劣的自然环境。这背后的原因成为科研工作者探究的方向。

韩建林告诉《中国科学报》，大约1.1万年前，山羊在新月沃地（即今天的西亚、北非地区两河流域）被远古人类成功驯化。伴随着人类迁徙，这些物种如今到达世界的各个角落。在这一过程中，动物需要尝试适应各种差异化的环境，包括赤道地区的炎热潮湿和高原的寒冷缺氧。

从低海拔地区迁徙至高原的山羊究竟如何适应地球“第三极”——青藏高原寒冷、低氧、低压和强紫外线的恶劣环境？

“解析高原家畜对极端环境适应的遗传机制，不仅能够揭示高原环境与遗传多样性的互作机制，还有助于对现有高原畜



藏山羊。

王小龙供图

禽遗传资源的挖掘与保护利用，为高原家畜的遗传改良提供理论依据和技术支撑。”王小龙解释道。

## 寻找山羊适应性的根本原因

为了找到山羊适应青藏高原恶劣环境的根本原因，王小龙在团队负责人陈玉林的鼓励和支持下，与西藏农牧科学院深入合作，带领团队4次进入西藏，搜集到了西藏地区10多个山羊品种的遗传材料和组织样品。

“我们和姜雨团队等多家单位合作，搜集了全球各地多个山羊群体的基因组数据。第三代长片段测序技术的应用帮助我们找到了采用过去技术手段未曾发现的基因组信息。”王小龙补充。

他们首先对全球不同海拔地区分布的家山羊、野生山羊和古代山羊的331个基因组和104个转录组的数据进行分析，并利用PacBio HiFi数据组装了一个染色体水平的藏山羊参考基因组。在定位到关键受选择基因PAPSS2后，项目组同时利用成熟的

CRISPR/Cas9方法在细胞中进一步验证了PAPSS2基因的功能。

最终，项目组利用目前获得的最大规模的山羊基因组数据，揭示出PAPSS2基因不仅是山羊适应高海拔的最关键基因，也是基因渐渗分析中最为显著的基因。这从多个层面证明了西藏山羊适应高原的能力来源于基因渐渗。

姜雨解释说，基因交流是自然界较为常见的一种跨物种或种群间的遗传现象，对于家养动物适应性进化具有重要作用。基因渐渗，特指两物种或种群的杂交后代通过与亲本反复回交，能把一个亲本的某些性状转移或嫁接到另一群体中，具体涉及某一物种或种群的部分基因向另一物种或种群基因组中的转移和整合。

基因渐渗能打破物种或群体间原有的生殖隔离，从而产生并维持群体内的遗传多样性，促进其快速适应性进化，进而形成新的种群乃至物种并促进其传播，在生物进化过程中发挥着重要作用。

通过进一步分析发现，西藏山羊PAPSS2基因的单倍型，与主要分布于喜马拉雅山脉及周边高海拔地区的捻角山羊的单倍型高度一致。捻角山羊是巴基斯坦的“国宝”，现存数量不足3000只。

一系列分析表明，这一渗入是由捻角山羊的种间杂交引起的，且仅存在于高海拔山羊基因组中，在来源于中国内地的20多个山羊品种中均未检测到。

## 挖掘高原家畜遗传资源

“这项研究在全基因组水平上对西藏山羊遗传资源进行了系统评估，揭示了西藏山

羊高原适应的遗传机制，进一步证实了野生近缘种间的基因渐渗对家畜快速适应极端环境具有十分重要的作用。同时，这项研究成果对高原家畜遗传资源的挖掘、保护及遗传改良都有着十分重要的指导意义。”王小龙说。

世界上不同的高原地带均有人类和动植物定居，但其对高原环境的适应性机制却迥然不同，各地的高地族群在长期演化与适应过程中经历了不同的适应性进化。

例如，安第斯山脉人群是以提升每个血红细胞携带氧气的能力进行适应的，而我国藏族同胞则通过增加呼吸次数来有效弥补空气中较低的含氧量。

在动物中也存在类似现象。一些动物通过漫长演化，挖掘出了自身适应恶劣环境的遗传潜力而占得一席之地；另一些物种则通过借助与近缘物种的基因交流快速适应环境。

王小龙认为，相比之下，来源于“近亲”的基因渐渗是最直接、最快速的生存之道。在青藏高原，以基因渐渗的方式适应高原环境由来已久。研究表明，基因交流广泛存在于古藏人与丹尼索瓦人、藏绵羊与盘羊、藏獒与藏狼、藏黄牛与牦牛间。基因交流的结果使得高原动物更好适应了当地的极端环境。

青藏高原是全球生物、物种和遗传多样性最集中的地区之一，是一座天然宝库，因此实现青藏高原资源保护和战略性应用意义重大。

据王小龙介绍，由于各种条件限制，众多分布在高原沟壑、雪山、荒漠、密林深处的畜禽遗传资源尚有待深入调查和挖掘。可以预期，正在开展的第三次全国畜禽遗传资源普查工作，将充分利用现代基因组学和遗传学理论与手段，发掘出一批新的优异的畜禽遗传资源，并通过进一步的种质创制和新品种培育，对打好种业翻身仗和推进种业振兴产生重大而长远的意义。

相关论文信息：  
<https://doi.org/10.1093/molbev/msac253>

## 发现·进展

中科院青藏高原研究所等

# 地下水补给显著增加青藏高原西部湖泊水量

本报讯（记者韩扬眉 通讯员刘晓倩）中科院青藏高原研究所环境变化与多圈层过程团队和合作作者利用青藏高原西部连续5年的湖泊水位和水文气象监测资料发现，地下水补给导致冬季湖面结冰期湖水水位显著上涨，可显著影响青藏高原西部湖泊水位季节和年际变化特征。这对认识青藏高原西部地区水循环过程及湖泊变化原因具有重要意义。相关成果近日发表于《地球物理研究通讯》。

论文第一和通讯作者、中科院青藏高原研究所副研究员类延斌介绍，由于缺少系统的水文气象观测资料，此前对高原湖泊水量平衡的研究大多侧重地表水，难以直接监测和量化地下水对湖泊的补给。

青藏高原大多数湖泊在冬季湖面结冰期水位保持稳定或微弱下降。最新监测结果表明，青藏高原西部湖泊在湖面结冰期水位出现显著上涨，如鲁玛江东错、美马错、结则茶卡和龙木错等。在鲁玛江东错和美马错，湖面结冰期的水位上涨幅度可达0.25~0.35米，约占全年湖水位升高值的一半。

综合考虑冬季湖面降雪、入湖径流和湖面升华因素，科研人员发现，冬季湖面结冰期水位上涨的主要原因是地下水补给，其补给量占流域内夏季总降水的13%~25%。对全年湖水水量平衡的计算结果表明，地下水补给占总入湖流量的59%~66%，说明地下水补给不仅对高原西部湖泊水量平衡起到关键作用，还是区域水循环的重要组成部分。

科研人员进一步分析发现，青藏高原西部地下水的形成可能与区域地质构造特征有关。研究区域基岩以石炭纪和二叠纪的灰岩为主，各个流域均分布有地壳断裂产生的活动正断层带，有利于地表水向下渗透形成地下水，并在下游补给湖泊。高海拔地区的冰川、积雪融水通过活动断层破碎带补给地下水，并在低海拔地区汇入湖泊。由于地下水补给稳定且循环周期长，大量地下水补给显著影响高原西部湖泊水位的季节变化。

该成果相关数据——青藏高原西部湖泊水位监测数据已在国家青藏高原科学数据中心网站共享。

相关论文信息：  
<https://doi.org/10.1029/2022GL099268>  
<https://doi.org/10.11888/Terre.tpd.272314>

湖南科技大学

# 设计“刚柔并济”高效精密加工新方法

本报讯（记者王昊昊）湖南科技大学机电工程学院硕士生魏荣在副教授李常平的指导下，在难切削金属材料加工方面取得新进展。该研究提出了钛合金电火花热辅助高效切削新技术，并验证了其优越的加工性能。相关成果近日发表于《材料加工技术杂志》。

钛合金、镍基高温合金等难切削金属材料由于优越的物理性能，被广泛应用于航空航天、核能、医疗等高端领域。但是由于这些材料化学性能活跃、传热性能差、硬度高等特点，导致其加工效率低、加工质量低、刀具磨损严重。为克服这些难题，魏荣作为团队核心成员设计了多种新型热辅助切削加工工艺及相关专用刀具，并申请13项国家专利（已授权7项）。

该技术采用电火花加工与传统铣削加工相结合的方式，电火花加工的高温热将待加工材料热软化，降低其硬度，随后铣削将改性后的材料去除，通过“刚柔并济”的巧妙思路达到高效精密加工的目的。

据介绍，该工艺是一种新型复合加工技术，此技术采用的“复合、混合”思路，充分将单种加工技术的优点相结合，实现了“1+1>2”的效果。此外，论文基于有限体积数值分析和理论分析方法，提出了一种多复合能场下的切削力建模新方法，揭示了加工过程中材料的温度分布特征，从而精准预测切削力数值。研究结论可为该工艺参数的优选以及专用刀具的结构优化提供重要的理论参考和数据支持。

相关成果对提升我国航空航天、医疗等核心零部件的高品质、高效率制造具有重要的工程实践意义。

相关论文信息：

<https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2022.117805>

# 《长江经济带高质量发展评估研究报告》发布

本报讯（记者沈春蕾）11月26日，《长江经济带高质量发展评估研究报告》（以下简称报告）成果在南京发布。

《中国科学报》从中科院南京地理与湖泊研究所获悉，这份报告的完成历时3年多，由该所和南京农业大学中国资源环境与发展研究院（中国资政智库）联合组成的课题组深入开展长江经济带高质量发展情况调查研究，进行多视角多维度的科学评估，并针对存在问题提出对策建议。

评估研究发现，长江经济带高质量发展指数十年提升32.4%，其中创新发展、绿色发展、共享发展等指数得到快速提升。城市群正成为经济带高质量发展的“主力军”。具体看，长三角城市群高质量发展指数提升27.6个百分点，长江中游城市群高质量发展指数提升33.5个百分点，成渝城市群高质量发展指



近日，2022中国航天大会科普展在海南海口举行，工作人员为前来参观的市民讲解航天知识。

2022中国航天大会科普展旨在增进公众沟通、强化国际传播、弘扬航天精神、助力海南发展。展览包括航天科普展区、航天成就展区（含商业航天）及海南航天专题展区共3个部分。

图片来源：视觉中国

# 解密“宇宙最冷处”

■本报记者 张双虎

日前，中国空间站梦天实验舱主要科学载荷之一——超冷原子物理实验柜（以下简称超冷柜，CAPR）顺利完成首次自检，将开展相关平台任务。

这是中国首个空间微重力超冷原子物理实验平台，也是继美国后全球第二个空间站超冷原子柜。这个超冷柜有哪些巧妙构思和精巧设计？能达到什么样的温度极限？到太空能做哪些科学实验？

为此，《中国科学报》邀请中科院上海光学精密机械研究所研究员、超冷原子物理实验相科学实验系统（以下简称科学实验系统）副主任设计师李唐，中科院上海光学精密机械研究所副研究员、科学实验系统副主任设计师汪斌，北京大学电子学院教授、科学实验系统首席科学家陈徐宗，北京大学电子学院助理研究员、科学实验系统副主任设计师熊伟等4位科学家，解密“宇宙最冷处”。

“超冷柜其实是一个在空间站进行超冷原子物理实验的实验室。它利用激光冷却技术，将原子冷却到pK（10<sup>-12</sup>），离绝对零度只有百亿分之一度）量级，并在此基础上开展超导机理、拓扑相变、基本标准模型检验等重大物理研究。”李唐介绍。

据陈徐宗介绍，超冷柜的特色是获得“宇宙中最低的温度”、得到爱因斯坦1925

年预言的第5种物质状态、利用这种宇宙中最冷的物质开展科学实验。

“在冷却方案和科学实验上，我国的实验柜和美国空间站的CAL（冷原子实验室）不同。”陈徐宗解释说，美国CAL用传统的磁场加射频的方法蒸发冷却，我们采用“三维全光阱的方案”进行两级冷却，在起始获得温度上比美国方案更低，而且可以更方便地进行量子模拟等各种实验。

“这涉及一系列技术更新。比如，原来传统实验室的激光系统不能用了，我们针对激光系统进行攻关，攻克了全光纤激光技术、大频率激光锁相技术、高精度激光功率稳定技术等一系列难关，在超冷原子系统上利用全光纤激光链路实现玻色-爱因斯坦凝聚，并达到预定指标。”汪斌说。

针对载人航天的特殊要求，研究团队还攻克了超高真空长时间断电保持技术，针对超冷原子物理实验特点开发了CPLD/FPGA电路控制技术、高精度振动隔离技术。最终，将一个传统实验室“压缩”成1立方米以下的超冷柜（体积小于1立方米、重约300公斤、功耗约700瓦）。

据陈徐宗介绍，超冷柜的特色是获得“宇宙中最低的温度”、得到爱因斯坦1925

超冷柜的目标是在中国空间站内建设超低温、大尺度、高质量并适合长时间精密测量的玻色与费米量子简并气体开放实验平台，为超冷原子物理研究提供一个长期在轨稳定运行的实验系统。既然是开放超冷原子物理实验平台，就需要满足不同超冷原子科学实验的需要。

在该系统设计之初，研究团队在国内外进行了广泛的项目征集，针对征集到的项目进行分类，并对目前超冷原子物理热点、难点实验项目进行资源上的梳理、合并、归纳。在空间站建造期有限的外部资源限制条件下，他们提供了光阱、三维光晶格、六角光晶格等超冷原子物理实验常用条件，满足前期在轨超冷原子物理科学实验需求。同时针对超冷原子物理实验系统进行了模块化设计，并开发了强大灵活的软件系统。针对不同的超冷原子科学实验，超冷柜科学实验系统根据地面计划和指令，调用不同的模块和相应的实验时序，满足不同超冷原子物理实验在空间站正常运行。

“在空间站运营期，超冷柜项目组会持续关注该学科的发展、相关技术的进步，结合超冷柜现有资源，在国内外广泛征集超冷原子物理相关科学实验项目，对超冷柜相关模块进行持续、小幅的升级改造，必要时对超冷原子物理实验系统控制、软件系统进行再升级、重构，以满足后续科学实验项目新的需求。”汪斌说。

“这是人类对温度极限的追求。”李唐说，在pK温度下可开展一系列科学实验。2023年1月至2032年12月，实验计划是量子模拟、量子新物态、基本物理理论检验，以及暗物质、希格斯模型检验等四大类。通过这些实验，我们可以发现新的物理现象，检验基本物理定律，推动基础物理研究的进步。

■走近国家太空实验室

西北农林科技大学

# 发现红葡萄酒风格调控秘密

本报讯（见习记者严涛 通讯员靳军）红葡萄酒的不同风格如何调控？西北农林科技大学葡萄酒学院教授袁春龙团队的一项研究为解决这个问题提供了理论基础：他们揭示了葡萄果皮细胞壁成熟度对酒精发酵过程的影响机制。相关研究成果近日发表于《国际食品研究》。

葡萄果皮细胞壁和种子单宁之间的相互作用，可以改变酿酒过程中种子单宁的释放和葡萄酒中单宁的组分。然而，葡萄果皮细胞壁成熟度对这种相互作用的影响尚不清楚。

袁春龙团队研究发现，在酒精发酵过程中，不同成熟度的葡萄果皮细胞壁通过影响种子单宁的释放及与其相互作用调节葡萄酒中的单宁组分。随着葡萄果皮细胞壁的成熟，种子单宁释放的百分比逐渐增加。种子单宁在果皮细胞壁上，并逐渐解吸到葡萄酒中。葡萄酒中单宁的没食子酸化比例与果皮细胞壁成熟度呈正相关。

研究还发现，越成熟的葡萄果皮细胞壁可以通过增加单宁从果皮细胞壁的解吸来有效增加最终葡萄酒中的单宁含量。此外，不同成熟度的葡萄果皮细胞壁可以调节葡萄酒的单宁组分，进而影响葡萄酒的质量和风格。此项研究表明，酿酒师可以通过控制葡萄成熟度突出红葡萄酒风格，提高葡萄酒质量。

相关论文信息：  
<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111974>