

海大新发现：贝壳里存在活细胞

该原创性研究解开无脊椎动物造血干细胞来源之谜

□青岛日报/观海新闻记者 杨琪琪 实习生 万刘鑫



“意外”揭开无脊椎动物的“生命密码”

该项研究成果题为“无脊椎动物骨骼中普遍存在‘类骨髓’造血干细胞巢”。“这个发现源于一次实验中的‘意外’。”海洋生物遗传学与育种教育部重点实验室、方宗熙海洋生物进化与发育研究中心王师教授回忆道。传统观念认为，贝壳是由外套膜，即贝类边缘的特殊组织分泌形成的。尽管很早学术界就已发现贝壳里能够检测到DNA核酸分子，但通常认为这是源自外套膜细胞在分泌矿化物质时，死掉的细胞被包裹进贝壳里而形成的残留“遗迹”。2017年，团队在常规软组织组织核酸提取方法处理新鲜贝壳的过程中，遇到了反常的问题：样本不仅能够检测到DNA，还意外发现活细胞的指示物——RNA的存在。

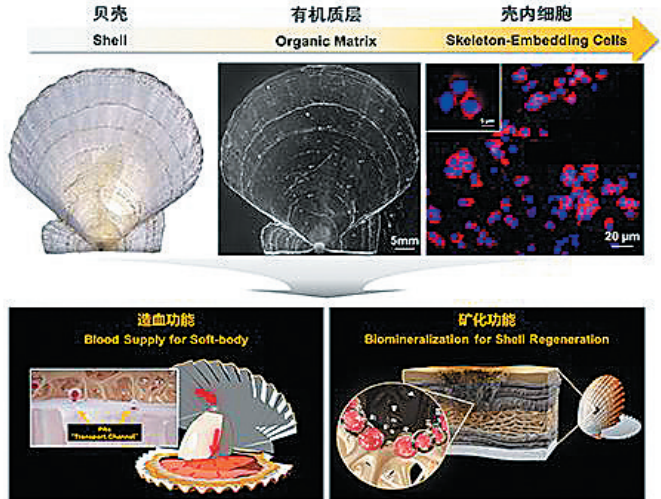
“按照生物学常识，RNA极不稳定，在活细胞外会快速降解，而贝壳一贯被认为是‘无生命’的矿化物，本不该有RNA残留。”王师说，团队最初怀疑是贝壳内表面的软组织未清理干净导致样本污染，但在彻底清理后，仍能检测到RNA的存在。这一发现让团队意识到，贝壳里可能存在活细胞。“这意味着我们过去认为的‘无生命的石头’——贝壳，其实是一个活的器官，这是最根本的观念颠覆。”

这个“意外”，成为突破传统认知的第一道裂缝。然而，要证明贝壳里有活细胞，首先需要“眼见为实”。为此，团队花了近半年时间，尝试去除贝壳表面坚硬的碳酸钙层，暴露内部的有机质层，“可以把贝壳想象成牙齿，我们要做的就是将外面坚硬的牙釉质去除，看到里面的牙髓。”该研究主要完成人连姗姗副教授介绍，这项工作成功后，团队又开始反复优化染色和固定方法，便于在显微镜下观察细胞的分布。“一开始染色效果非常不理想，因此我们做了很多尝试，最终选择了‘边脱钙边固定’的方式，尽可能保持细胞的完整形态。”最终，该团队成功脱除了贝壳的部分钙质层，并通过染色清晰地观察到了细胞的存在和分布，证实了贝壳里确实存在具有活性的细胞。

贝壳内的造血干细胞比例高达40%—60%

这些存活于贝壳中的细胞属于何种类型、有着什么样功能？如何揭开这层谜团，成为团队后续研究中亟待攻克的另一关键难题。

“前期我们检测到的贝壳RNA，通过比较转录组分析提示其具有类似干细胞特征，但我



▲王师(右一)为团队成员讲解贝壳的生长特性。
杨琪琪 摄

◀ 贝类造血干细胞巢的发现及功能。

们不确定具体有多少干细胞、是否存在其他细胞。单细胞测序技术的发展给了我们很大帮助，也提出了更大的挑战。”连姗姗告诉记者，该实验的核心难点在于，之前观察细胞形态，只需要保持细胞结构完整，但单细胞测序技术通常要求对活细胞进行分析。仅解决这一问题就耗费了团队近一年时间。“后来我们摸索出了相对直接的方法：一是分析贝壳内偏好表达的胶原类型；二是短时间内将贝壳物理破碎成小块，这

样能显著加快脱钙速度。但破碎后，脱钙产生的有机膜片非常细小，需要大量人力一片片地手工挑取出来。挑出来后，再通过物理方法，如研磨、酶解等，将细胞从膜片中释放出来，最后才能进行单细胞测序上机分析。”连姗姗一边说，一边指了指实验台上大量坑洼的小洞，“这都是我们前期实验留下的痕迹。这一过程听起来不算复杂，实则非常考验实验者的实验流畅度，必须在最短时间内完成上述操作，以确保细

胞的活性。其中任何一步出现问题，都要从头再来。”

功夫不负有心人。借助单细胞测序技术，团队发现，与高等脊椎动物骨髓中造血干细胞或前体细胞极低比例(通常<10%)相比，贝壳内的造血干细胞比例高达40%—60%。同时，贝壳内的细胞群体构成了一个造血干细胞巢，其组学特征、遗传调控机制、干细胞微环境、发育起源和分化、生物学功能等多个维度均支持与高等脊椎动物造血谱系具有同源性，打破了脊椎动物骨骼造血系统为“高等演化”的传统认知。

随后，团队又借助侏儒蛤这一壳薄、生长速度较快的小型贝类对贝壳干细胞的功能进行了验证。研究人员在其贝壳中央，远离外套膜的区域人为钻孔，“按照传统理论，这个位置的外套膜鞭长莫及，修复应该很慢甚至无法完成。结果令人惊讶：9天后有机质层开始愈合，2至3周后出现矿化沉积——这直接证明了壳内细胞能驱动贝壳修复。”连姗姗介绍，随后，团队又通过反复抽血实验和原位杂交手段观察发现，干细胞标志物的表达呈现梯度分布——离壳近的地方多，离壳远的地方少。“发现贝类造血干细胞同时具有生物矿化功能，不仅挑战了外套膜作为唯一贝壳矿化组织的传统认知，同时也揭示了造血与矿化在动物祖先的深层次演化联系。”

“为了能够更充分地证明我们的研究成果，在原有实验基础上，我们还做了许多努力。在前期原位杂交标记迁移基础上，我们借助荧光染料分选染色细胞，发现这些分选出来的细胞在体外能够增殖。我们还加入了一些诱导分化的因子，观察到它们有向血细胞分化的趋势。这均证明我们分选到的细胞具有高等哺乳动物造血干细胞的两大核心特征：自我更新和分化潜能。”连姗姗介绍。此外，研究团队还发现，甲壳动物、棘皮动物、硬骨鱼等其他动物类群的矿化骨骼中也存在类似造血干细胞巢，并揭示出动物祖先造血干细胞核心调控基因集，提出“骨骼干细胞巢的重大演化创新为寒武纪动物大爆发的重要驱动力”的新理论学说。经过8年多的不断补充和完善，该团队的研究成果才得以正式刊出。

据悉，“无脊椎动物骨骼内普遍存在造血干细胞巢”的原创性发现，为迄今国际上首次发现存在跨动物界保守的普适性干细胞巢，是生命科学领域的重要进展，颠覆了骨骼造血为脊椎动物特有演化创新的传统观念，解答了长期困扰学术界的无脊椎动物造血干细胞来源之谜。该项原创发现不仅为理解动物造血系统起源演化提供了全新视角，也为海洋生物干细胞研究开辟了新领域和新方向。

目前，该团队已启动“DeepShell”项目，该项目将研究目标从最初9个物种扩展到近50个，涵盖整个动物界的主要动物骨骼类群和完整进化链条。“我们想以更为宏观的研究视角确认这一发现的普遍性，更想探索无脊椎动物类群骨髓干细胞高丰度的维持机制。”王师表示，这些机制可为人类再生医学领域干细胞研究或治疗策略研发提供重要启示。

的鲜活灵动、科学的探索精神与社会实践的丰富价值，都体现在不同的特色作业中。这些作业将知识与技能的学习延伸至广阔的生活空间，让孩子们假期在探索、实践与创造中更加充实而有意义。

今年暑假，青岛博文小学五年级的暑期特色作业是以“家乡文化探秘”为主题的项目式实践，主要是引导学生走出课本，将成长融入生活。作业打破了传统学科的边界，实现了跨学科整合。在“语你同行”板块，同学们化身青岛故事的记录者，走访里院老宅，写下了红瓦绿树间的时光故事。比如，有的学生采访祖辈，整理出《爷爷记忆里的啤酒厂》等温情文字。数学知识藏在城市的每个角落，城市“小管家”们测量青岛老巷子的宽度，用复式折线统计图呈现小暑前后的气温变化。学生们还分为八大关、栈桥设计双语标语，诸多创意表达充满童趣。“在这次项目化学习中，通过查阅资料、实地感受，我在探索中邂逅更广阔的世界。这与其说是一次作业，不如说是一场文化深处的探索。”青岛博文小学五年级8班学生张宸宸表示。

“我们以提升学科核心素养为背景，分语文、数学、英语、科学等学科设计了暑假特色作业，如语文作业以阅读和好书推荐为主；数学作业以实践动手为主，鼓励学生写数学日记、学会使用测量工具等；英语作业主要是用英语讲中国传统故事；科学作业则融合了物理、化学、生物、地理等学科知识，学生可以根据自身情况，利用家中现有物品做科学小实验。”青岛启润实验学校教务处主任魏萌介绍，这些特色作业在设计时，都尽可能贴近学生的生活实际，引导学生在生活中发现问题、解决问题，锻炼学生的跨学科整合能力，让学生玩得得好，也要学得好，在享受多彩假期的同时，学到知识。

“我们选择在这个时候展示部分优秀的暑假特色作业，一是想到到更好的引导作用，发挥榜样示范作用，引导学生更好地完成既定的假期目标；同时，也是在提醒学生，新学期即将开始，到了该收心的时候了。”一位学校教师说。

亲身体验，将成长融入生活

青岛中小学生的暑期特色作业，丰富而又多元，体育的蓬勃朝气、劳动的实践意义、艺术



■青岛永宁路小学生的“夏跑”活动。

脉。节气习俗是传统文化的鲜活载体，同学们在手抄报中挖掘了丰富的民俗故事。学生张涵在海报中提到，“立秋”吃西瓜、香瓜，寓意“咬”住夏天的尾巴，预防秋燥；学生陆子萱在提到“大暑”节气时，分享了不同地域的美食，展现出“一方水土养一方人”的民俗差异……学生们用画笔描绘节气物候，用文字记录民俗故事，思考其文化内涵，让二十四节气这一古老智慧在青春视角下焕发出生机。

暑假是孩子们成长的“第二课堂”，别样的学科假期作业也让孩子们在欢乐中学习，在实践中成长，养成良好习惯。青岛同德小学学生的特色作业是“数学任务清单”——制作暑期计划表，到超市购物成为学生们锻炼数学思维的方式。该任务要求孩子们用限定金额自主选购商品，学生们比较单价、计算总价，计算“满减优惠”，不仅熟练运用了课堂所学的加减



中国大学生工程实践与创新能力大赛落幕——中石大摘得11项特等奖

日前，2025年中国大学生工程实践与创新能力大赛全国总决赛落幕。中国石油大学(华东)11支代表队参赛，全部荣获国赛特等奖，其中冠军2项(全国仅5项)、季军1项，特等奖数量位居全国高校首位。

中国大学生工程实践与创新大赛是全国高等教育工程教育规模最大、影响力最广的赛事之一。本届竞赛聚焦“交叉融合工程创新新质，立德树人强国建设勇担当”主题，设置新能源车、“智能+”、虚拟仿真3个赛道，内容涵盖先进制造、人工智能、虚拟仿真、企业运营等跨学科理论知识与实践能力。大赛吸引了全国数百所高校同场竞技，中石大学生在太阳能电动车、温差电动车、智能救援、智能物流搬运、生活垃圾智能分类等多个赛道中获奖。

中国石油大学(华东)石油工业训练中心高度重视学生实践与创新能力培养，构建了“训创一体、赛创融合”的创新育人模式。经过数十轮次模拟赛、校级、省级选拔赛的层层考验与锤炼，学生的综合能力和创新素养显著提升。

王世锋

青岛4个项目挺进全国萌芽总决赛

日前，山东省大学生创新大赛(2025)萌芽赛道成绩揭晓，青岛高中学段参赛队伍表现亮眼，4个项目闯入全国总决赛。

在普通高中组竞赛中，西海岸新区一中、青岛实验高中、青岛六十七中、海尔学校等学校的6个参赛项目全部斩获省级奖项，获奖数量占全省获奖总数的30%；其中4个项目跻身全省前10名，成功晋级中国国际大学生创新大赛(2025)萌芽赛道总决赛，占全省晋级名额的40%。此外，普通高中创新实验组的3个参赛项目、中职组的1个参赛项目荣获省级奖项。

近年来，市教育局通过深化科学教育改革创新，系统提升教师实验教学与创新能力，优化课堂教学模式，广泛开展多样化实践活动，有效夯实了学生科学探究基础，培养了创新思维品质，为此次赛事取得优异成绩奠定了坚实基础。

王世锋

青岛学子全国军事训练营获佳绩

日前，教育部、中央军委国防动员部等部门联合主办的第十届全国学生军事训练营在海军潜艇学院举行，来自全国31个省(自治区、直辖市)和新疆生产建设兵团的760余名学生代表参加活动。青岛市5名高中段学生参加，取得优异成绩。

青岛六十七中马苏洋、王亦铠、马熠坤，青岛五十八中张志语，青岛商务学校赵轩作为山东省代表队成员参加了训练营。经学习和激烈比拼，马苏洋、马熠坤、王亦铠、赵轩获得队列项目优胜奖；张志语获得水上技能项目女子第一名并被评为“优秀学员”；赵轩获得战术项目二等奖并被评为“优秀学员”；马熠坤获得识图用图项目三等奖。山东省代表队获得全国团体第六名的好成绩。

近年来，青岛市高度重视国防教育工作，紧紧围绕立德树人根本任务，将国防教育与全面育人“十一个”项目有机结合，融入学校育人全过程，切实提高全市中小学生学习国防素养和爱国爱军情怀，着力打造青岛市中小学国防教育特色品牌，先后被评为“全国学生军训工作先进单位”“省国防教育工作先进单位”，并作为全国先进典型交流经验。青岛目前有国家级国防教育示范校34所，走在全国前列。

王世锋

4个团队拟获批为“黄大年式教师团队”

日前，教育部教师工作司公示了第四批“全国高校黄大年式教师团队”创建示范活动拟入围名单，全国共200个团队入选，驻青高校有4个团队在列。

经自主申报、逐级遴选，专家评审等环节严格把关，教育部教师工作司拟确定第四批“全国高校黄大年式教师团队”。全国共200个团队入选，山东入选团队有11个。驻青高校有4个团队在列，包括中国海洋大学水产绿色健康养殖教师团队、山东科技大学矿山灾害预防与控制教师团队、中国石油大学(华东)石油工程专业核心课程教师团队、青岛港湾职业技术学院港口机械与智能控制教师团队。

此前，教育部已评选了3批“全国高校黄大年式教师团队”。驻青高校共有9个团队入选，其中中国海洋大学3个、中国石油大学(华东)2个、青岛农业大学2个、山东科技大学1个、青岛大学1个。

王世锋