



图为中国海洋大学许加超教授团队研发的海藻保鲜膜。受访者供图

科学家们发现，海藻富含多种多糖类物质，这些多糖类物质形成凝胶后可以延展成薄膜，较好的柔韧性使其拥有制作保鲜膜的潜质。海藻保鲜膜可以和包裹的食品一起进行烹饪或直接食用，如果不慎被人们丢进自然界，只要和足够的水接触超过2小时，就会分解为有机物，进入土壤中和大自然融为一体。

## 能直接加热或食用、可短时间内降解

# 海藻保鲜膜：来自海洋的天然“塑料”

◎实习记者 周倩莹

饥肠辘辘地打开冰箱，拿出一个包裹着保鲜膜的饭团或者汉堡，直接扔进微波炉里加热后，迫不及待地咬下一口还裹着保鲜膜的食物，津津有味地咀嚼，品味食物的同时，你仿佛还尝到了一丝大海的味道……

这看似电影里的无厘头情节，却是发生在生活中的真实一幕，这一切都要归功于以海藻为原料研制而成的新型环保保鲜膜——海藻保鲜膜。

近日，英国《新科学家》周刊网站报道了英国利兹大学的凯兰·沃德团队在海藻保鲜膜领域的一项研究成果。该团队使用一种名为马尾藻的褐藻，制作出了可安全地用于包裹例如新鲜水果等湿润食物的保鲜膜。

那么，海藻保鲜膜是怎样生产出来的？有什么不同寻常之处？带着这些问题，科技日报记者专访了中国海洋大学食品科学与工程学院许加超教授和王雷副教授，为大家揭开海藻保鲜膜的“神秘面纱”。

### 天然环保且来源广泛

塑料，是工业文明的结果，它给人类带来便捷的同时也带来了无穷的麻烦和灾难。目前，市面上的塑料保鲜膜都不能降解，如果把它们埋在土壤中，塑料中的塑化剂会渗透到土壤和水中，最终会随着水和植物进入人体内，同时塑料分子也可以进入人体，对人体造成危害。

如今，小小的海藻摇身一变，就可以成为新型环保保鲜膜，这为解决塑料污染提供了一种新的可能。海藻种类繁多，共有两万多种，几乎所有海洋植物都可归入藻类。海藻拥有巨大的开发潜力，其中的活性物质可开发成药品、功能性食品、化妆品。现在，小小的海藻还能制成保鲜膜。

科学家们发现，海藻富含多种多糖类物质，如褐藻胶、琼胶、卡拉胶等，这些多糖类物质形成凝胶后可以延展成薄膜，较好的柔韧性使其拥有制作保鲜膜的潜质。常规的塑料保鲜膜在使用一次之后就会被丢弃，而海藻保鲜膜可以和包裹的食品一起进行烹饪或直接食用。此外，一个普通的塑料袋，完全降解需要200—1000年，而海藻保鲜膜如

果不慎被人们丢进自然界，只要和足够的水接触超过2小时，就会分解为有机物，进入土壤中和大自然融为一体。

但是，并不是所有的海藻都适合做保鲜膜，王雷告诉记者：“目前来看，用褐藻中的褐藻胶制成的保鲜膜性能较好。此外，红藻中的卡拉胶、琼胶，包括其他陆生植物胶类均可直接或通过复配制成膜。”

### 尝试用海藻制品替代塑料

海藻是一种应用广泛的自然资源。一直以来，为了更好地造福人类生活，解决塑料带来的环境污染问题，国内外科学家都在围绕用海藻制品替代塑料进行创新研究。

印度的科学家将晒干的海藻磨成颗粒，清除其中的杂质，然后放入特定的容器中加热，最终得到了真正的凝胶。这种凝胶可以被制成不同厚度的海藻薄膜，即使薄如蝉翼，也不会被轻易损坏。

印度尼西亚也是海藻生产大国，其一初创公司利用当地海藻生产优势，推出一种海藻制成的包装材料，不仅可以直接被食用，而且可以100%生物降解。

除了这些国家之外，我国也对海藻保鲜膜进行了创新研究，并且早已致力于灾害性海藻生物质利用方面的研究。

许加超带领的科研团队发明了授权专利可食性全生物降解海藻食品保鲜膜。这款保鲜膜同传统保鲜膜相比，最大的优点在于安全性高、无塑化剂、无致癌物，能在6—12个月内实现100%生物降解，对环境也不会造成污染。

基于对海洋生物多年的研究经验，许加超发现海带中的褐藻胶是制作保鲜膜的好原料。“褐藻胶是一种天然阴离子多糖，可与Ca<sup>2+</sup>等发生反应生成变性凝胶褐藻酸钙。当大量Ca<sup>2+</sup>存在时，其余与褐藻胶分子结合形成紧密的‘蛋盒’网状结构的变性凝胶结构，从而具有良好的成膜特性。”许加超介绍，但由于褐藻酸钙是一种强凝胶，形成的褐藻酸钙膜太脆，韧性比较差，不宜折叠和卷曲，限制了其实际使用，为此他们开发了双离子变性凝胶技术，该技术可以提高褐藻酸钙膜的柔韧性和机械性能。

许加超团队还推进研发了全生物降解海藻地膜。据统计，全国5.8亿亩覆膜土地正遭受“白色污染”的严重侵害，许加超团队将青岛海岸引发生态灾害的浒苔制备成全

生物降解海藻地膜，可有效代替传统塑料地膜，化解“白色污染”难题。

除了保鲜膜、地膜，海藻还能被制成餐具。中国科学院技术大学俞书宏院士团队从马尾藻工业废弃物中提取出一种食品级的马尾藻纤维素纳米纤维(SCNF)。SCNF经钙离子交联后形成SCNF水凝胶。该团队将SCNF水凝胶制备成高强度和高热稳定性的马尾藻纤维素基结构材料。该结构材料具有良好的可加工性能及食品安全性，可加工成不同形状的餐具。

### 大面积推广要迈过多道坎

海藻制成的塑料替代制品展现出非常广阔的市场前景。目前，全球已有家公司在推广海藻制成的吸管、餐具、包装袋等塑料替代制品，且在持续扩大海藻生物材料的生产规模。

“我国保鲜膜市场有近200亿元，海藻保鲜膜推出后，会极大改变人们的生活。”王雷说，“海藻保鲜膜的开发对于海藻养殖和加工产业的发展能够起到强有力的刺激作用，可以创造巨大的经济价值。此外，还可解决塑料产品带来的‘白色污染’问题，有很好的生态、经济和社会效益。”然而海藻保鲜膜想要大面积推广，依然面临许多亟待解决的问题。

和所有可降解材料一样，成本过高也是制约海藻保鲜膜发展的瓶颈之一。目前，传统的塑料保鲜膜仍旧占据主流市场，很大一部分原因是海藻保鲜膜的价格过高导致难以推广，人们在购买的时候，更倾向于价格较低的塑料保鲜膜。

“此外，海藻保鲜膜研发的难点还在于该类保鲜膜相对较厚，延展性和韧性还有待提高，需要继续加强科研投入；同时，海藻保鲜膜产业化所需的生产机械和生产线尚不健全，要解决这些难题，需要设备开发与基础研究同步进行，从而实现全产业链的共同发展。”许加超说。

目前，他们对海藻保鲜膜的研究在实验室阶段已取得突破性进展。尽管科技成果转化困难重重，许加超依然对海藻保鲜膜的市场化应用充满信心，他表示，这项技术推出后，会极大地造福和改变人们的生活，他希望联合企业以及各界力量尽快推动项目实现产业化。

## 新型植入式酶燃料电池：

# 无惧弯折拉伸 将汗水化为电能

◎本报记者 雍黎

5月16日，科技日报记者从重庆大学获悉，能源与动力工程学院廖强教授团队和重庆医科大学戴红卫教授团队合作采用静电纺丝技术开发了一种植入式酶燃料电池。该电池在大鼠体内可经受拉伸、扭转和弯折等柔性工况，并可稳定供能超过一周。相关研究成果近日发表在《先进功能材料》上。

### 弯折拉伸可降低酶燃料电池功率和寿命

酶燃料电池是一种以酶为催化剂，将人体体液中有机物储存的化学能直接转化成电能的发电装置，是一种极具应用前景的可穿戴、可植入生物电源技术。

酶燃料电池是这样工作的——含生物可降解有机物的汗液、尿液等人体体液流过生物电极发生生物电催化反应产生代谢物、电子、氢离子等；代谢物、氢离子在生物电极内沿着与体液有机物扩散相反的方向传递，电子则通过外电路到达阴极形成生物电流，与通过自然对流或溶解在体液中的氧气、氢离子反应生成水，最终形成闭合回路。

相比于其他微纳供能体系，酶燃料电池具有催化剂可再生、工作条件温和、功率密度高等优点，能够为低功耗可穿戴、可植入健康监测设备长期、稳定供电。

“对酶燃料电池的柔性化与全面生物相容性的评估是实现商业化的前提。”团队成员、重庆大学能源与动力工程学院副教授杨扬介绍，国内外现有的研究忽视了酶燃料电池会处在瞬间或反复作用的弯折、扭转、拉伸等柔性环境。在此环境下，电池的实际功率和能量密度低于非柔性状态，更重要的是电池功率输出波动加剧，寿命缩短。此外，在人体运动过程中，传统的结构设计使电池与人体组织力学性能失配，这会引发组织损伤和感染等问题。因此，他们希望设计一种生物相容性好、可拉伸、柔性的绿色生物电源装置。

### 赋予植入式酶燃料电池更大柔性更高强度

杨扬介绍，他们通过静电纺丝法制备生物相容性优异的热塑性聚氨酯橡胶(TPU)纤维，将其纺织成柔性可拉伸基底，并将共价结合的碳纳米管和葡萄糖氧化酶混合物泵入TPU柔性基底的表面和内部，构建酶燃料电池生物阳极，用来催化体液中

的葡萄糖。这种生物电极结构不仅可以缓解弯折、扭转、拉伸带来的急剧性能衰减，而且能在电池工作过程中为酶催化提供良好的催化微环境。

单个植入式酶燃料电池装置中的电极采用紧凑的平面布置方式，电池大小仅为两平方厘米，厚度不到200微米。该电池拉伸强度可达5.7兆帕，最大应变可达557.3%，满足植入人体皮下的机械匹配需求，并且在反复拉伸和长时间放置条件下依然表现出优异的力学性能。在动物实验

中，团队将该电池植入到大鼠皮下，在一周内电池的开路电压稳定在0.45伏左右，在大鼠运动过程中，电池性能也依然能保持稳定。

“动物实验显示，该电池不仅可以通生物酶在动物体内产生电，而且具有极其优异的生物相容性。我们与重庆医科大学开展医工交叉合作，进行了全面的生物相容性测试，包括对大鼠体重、植入部位的愈合过程及组织学图像、肝功能、肾功能、主要脏器组织学图像的观察，并未发现局部的炎症和全身异常。”杨扬说。

他表示，未来他们将进一步结合微观传递理论，通过研究在微小空间下，工作在非均匀力学环境的柔性电源的内部物质传递、流体流动规律，将微观传递理论与生物力学、微机械工程学等学科进行交叉，提高生物电极在真实生物环境下的催化反应效率，进而提高电池的输出功率和产电稳定性。

另外，他们还将设计和搭建生物电源系统，使酶燃料电池具备传感功能，实现对人体健康的实时感知和精确反馈。他们希望将整个电源系统进一步适配在电子皮肤、自供电生理监测装置和治疗装置等下一代可穿戴、可植入电子设备上，并取得突破性进展。

中，团队将该电池植入到大鼠皮下，在一周内电池的开路电压稳定在0.45伏左右，在大鼠运动过程中，电池性能也依然能保持稳定。

“动物实验显示，该电池不仅可以通生物酶在动物体内产生电，而且具有极其优异的生物相容性。我们与重庆医科大学开展医工交叉合作，进行了全面的生物相容性测试，包括对大鼠体重、植入部位的愈合过程及组织学图像、肝功能、肾功能、主要脏器组织学图像的观察，并未发现局部的炎症和全身异常。”杨扬说。

他表示，未来他们将进一步结合微观传递理论，通过研究在微小空间下，工作在非均匀力学环境的柔性电源的内部物质传递、流体流动规律，将微观传递理论与生物力学、微机械工程学等学科进行交叉，提高生物电极在真实生物环境下的催化反应效率，进而提高电池的输出功率和产电稳定性。

另外，他们还将设计和搭建生物电源系统，使酶燃料电池具备传感功能，实现对人体健康的实时感知和精确反馈。他们希望将整个电源系统进一步适配在电子皮肤、自供电生理监测装置和治疗装置等下一代可穿戴、可植入电子设备上，并取得突破性进展。

## 研究进展

### 引入抗凋亡基因 “擦亮”基因筛选利器

◎本报记者 陈曦 通讯员 吴军辉

单倍体胚胎干细胞被誉为“基因筛选利器”，但其在日常培养和分化过程中，常常会发生二倍化现象。5月16日，科技日报记者获悉，南开大学药物化学生物学国家重点实验室帅领研究员课题组，在小鼠单倍体胚胎干细胞中引入外源抗凋亡基因BCL2，成功构建了BCL2过表达的小鼠单倍体胚胎干细胞系(haESC<sub>s</sub>)，其可以在体内外分化等严苛条件下长期维持单倍性，这进一步“擦亮”了单倍体胚胎干细胞这一“基因筛选利器”。相关研究论文近日在线发表于生物学领域学术期刊《细胞增殖》。

真核生物的遗传信息一半来自于父本，一半来自于母本，这种“双备份”可以在遗传过程中抵御不良突变，保障物种繁衍。而只有一套染色体的单倍体细胞，没有基因“备份”，人们对任意基因的更改，都会直接导致表型的改变。这对于探索生命现象、破解基因密码十分有利。

因此，单倍体胚胎干细胞自问世以来，被广泛应用于各种病毒受体、药物靶点、生物发育现象等关键调控基因的筛选。

然而，这一类人造纯合子工具细胞，在日常培养或分化过程中，倾向于自发二倍化，进而丧失了单拷贝基因组的优势，严重影响其发挥“基因筛选利器”的功能。因此，在日常培养中，需要通过基于DNA含量的流式分选技术对单倍体细胞加以富集和维持，极大限制了单倍体细胞更为广泛的应用。

如何从根本上抑制二倍化，高效维持单倍体胚胎干细胞的单倍性成为干细胞研究领域的重要课题。

帅领介绍：“基于前期的积累和经验，我们发现细胞凋亡的发生可能是单倍体细胞发生二倍化的一个核心因素。因此，我们设想通过引入外源性的抗凋亡基因BCL2，以期获得能够高效维持单倍性的细胞系。”

研究中，帅领课题组对BCL2过表达的小鼠单倍体胚胎干细胞系在抗凋亡、基因组稳定性和分化发育潜能等方面进行了全面论证，发现BCL2过表达可有效提高细胞在多种严苛条件下的抗凋亡和单倍性维持能力，并且不影响其胚胎干细胞增殖分化的潜能。

研究人员基于转录组测序的分析发现，抗凋亡之所以可高效抑制单倍体细胞的自发二倍化，是因为BCL2过表达有效激活了透明质酸合成酶基因Has2的表达，并通过miR26b-Has2-HA-Caspase调控途径提高细胞的抗凋亡能力和单倍性维持能力。在单倍体胚胎干细胞中过表达Has2同样可以高效维持单倍性。

“我们这项工作不仅证实了单倍体胚胎干细胞在理论上可以单倍体的形式分化成任意一种细胞类型，也全面推动了单倍体筛选系统在更多细胞类型中进行谱系特异性筛选的发展，为推广单倍体细胞在药物筛选、细胞分化等方向的靶点筛选提供了坚实基础。”帅领说。

### 利用微纳流控技术有望实现 细胞外囊泡精确测量和荧光成像

◎本报记者 叶青

5月16日，科技日报记者从中国科学院深圳先进技术研究院获悉，该院杨慧研究员团队提出了一种基于微纳流控平台的细胞外囊泡荧光标记新策略，以实现细胞外囊泡的精确测量和荧光成像。相关研究成果近日发表于《中国化学快报》。

细胞外囊泡是由细胞主动释放的、具有膜结构的纳米级囊泡，其携带核酸、蛋白质和脂质等生物活性分子，可实现细胞间的物质交换。然而长期以来，由于细胞外囊泡百纳米级的尺寸特性，使人难以对其进行可靠的可视化荧光检测，限制了对细胞外囊泡的深入研究。

目前，常用的细胞外囊泡荧光标记方法主要包括：膜蛋白荧光探针标记和亲脂性荧光染料标记。膜蛋白荧光探针体积大、空间位阻大，且细胞外囊泡膜蛋白丰度低、异质性强，极大限制了荧光标记效率；而亲脂性荧光染料标记具有操作简单、荧光强度高、分子尺寸小等优点，适用于细胞外囊泡的高效标记及下游检测。“但长期以来，受限于亲脂性荧光染料本身的理化性质，较高染料浓度下其极易出现染料分子团聚，形成与细胞外囊泡尺寸大小相近的纳米颗粒，产生假阳性信号，导致针对细胞外囊泡的检测结果不准、测量出现偏差等问题。”杨慧说。

为解决上述难题，团队提出了利用微纳流控技术，通过对细胞外囊泡进行快速高效处理，增加细胞外囊泡膜的流动性，实现在极低染料浓度下的高效荧光标记。

什么是微纳流控技术？“这是一种利用微纳米制造技术和流体力学原理，将微小流体、内容物在微米或纳米通道内进行控制、操纵和分析，实现流体、内容物的运输、混合、分离和反应等操作的技术，具有反应速度快、通量高、可多功能集成等优点。”杨慧介绍，在细胞外囊泡荧光标记实验过程中，细胞外囊泡与荧光标记分子一同输入微纳流控芯片。

通过与细胞外囊泡大小近似的纳米通道的精准处理，以及流体在纳米通道与微米通道间流体动力学特性快速变换所产生效果的共同作用下，该芯片可增加细胞外囊泡膜的流动性，提高其与荧光标记分子之间的碰撞效率，从而在极低染料浓度下实现细胞外囊泡的高效荧光标记。对比目前实验操作流程的“金标准”，该方法可在染料浓度大幅降低的条件下，极大提高细胞外囊泡的荧光标记效率，从而实现了高效的细胞外囊泡流式检测及细胞内荧光成像。

细胞外囊泡荧光标记技术是当前研究的热点之一，对细胞外囊泡的生物学功能解析具有重要意义。此项研究提出的基于微纳流控平台的高效细胞外囊泡荧光标记方法，为细胞外囊泡研究提供了新思路和技术支持。杨慧表示，该方法在未来有望推动细胞外囊泡的精确测量及荧光成像技术的发展，成为一种强大而通用的技术平台。