

前沿探秘

来，建一个生物塑料梦工厂

经济日报·中国经济网记者 余惠敏

塑料是我们生活中最常见的材料之一，它是重要的有机合成高分子材料，通常用石油炼制的产品制成，在自然环境中可能数百年都不会被分解。人们喜欢塑料的廉价与方便，但是，废弃塑料带来的“白色污染”也越来越严重。塑料有没有可能变成一种有利无害的材料呢？科学家们为此研发出了塑料的新品种“生物塑料”



▲ 陈国强教授向记者展示用新一代工业生物技术生产出的PHA颗粒样品。
▼ PHA中试生产车间一角。
本报记者 余惠敏摄

生物塑料与石油基塑料有何不同？它能否取代石油基塑料？请看《经济日报》记者从生物塑料工厂发回的见闻。

PHA：一种可食的塑料

由细菌合成的聚合物材料绿色环保

从1994年回国至今，清华大学教授陈国强一直在研究生物塑料。

“不少微生物能生产一种塑料，叫PHA。”陈国强告诉记者，PHA全名是聚羟基脂肪酸酯，是一种细菌合成的聚合物材料。

由此，陈国强所在的清华大学生命科学学院合成与系统生物学中心，与山东百盛生物科技有限公司展开PHA项目产学研合作，在中试车间里，记者看到了一粒粒米黄色的塑料，这就是经过生物发酵制成的PHA颗粒。

中试车间外的展示厅里，展示了PHA颗粒制成的各种终端产品：有刀叉勺等一次性塑料餐具，有彩色的3D打印线材，有薄薄的可降解农膜，有成卷的超市塑料袋，有可以做出衣物布料的电纺纤维……

与石油基塑料相比，这种生物塑料做出的产品有哪些好处？最大好处是绿色环保。

清华大学曾在校园里做过这么一个实验：学生们在校园里挖了一个坑，把PHA和聚乙烯两种塑料片埋到土里。半年后他们把塑料片挖出来，PHA塑料片已经千疮百孔、细菌在上面快乐地生长，而聚乙烯塑料片完好无损，至少要花数百年的时间才能降解。

此外，生活中经常会看到动物因吞食塑料而死，植物因塑料添加剂的毒性而枯萎，这些塑料都是石油基塑料制品，如果换成PHA塑料就不会出现这种恶果。陈国强团队曾给刚断奶仔猪的饲料中添加PHA塑料颗粒，发现没有对仔猪的生长发育产生毒害作用。“PHA塑料是微生物脂肪，可以食用。”

不仅如此，陈国强团队还研究出一系列的PHA家族高端产品——PHBHx和它的衍生物。由于具有很好的生物相容性和生物降解性，其医用价值被逐渐开发出来。它可

以开发软骨修复材料、神经导管、人工食道等；它可以补脑，改善老年痴呆症状；它还能减少钙流失，其衍生物已成为针对航天员骨质疏松的候选口服药物，正在进行各种实验。

目前，PHA中的P4HB已经作为手术缝线，在美国批准进入了临床。

那么，为何PHA还是令普通百姓感到陌生，并没有大规模进入他们的日常生活呢？

原来，作为医疗类产品的应用，因涉及人体健康安全，需要长时间的审批和实验周期。而作为工业类产品的应用，又受限于PHA传统制备方式的高昂成本，难以市场化。

“PHA生产成本高昂，价格远高于其他可降解材料。所以，尽管PHA力学性能优异，可100%完全降解，但在可降解材料市场中占有率仅为5%，远低于可降解材料PLA和PBAT。”陈国强说，现有生物制造技术无法使PHA制造成本降低到能与石油基材料竞争的水平，迫切需要发展新一代生物制造技术。“如果PHA通过下一代生物制造技术获得竞争性，其他生物塑料产品也可能通过该技术获得竞争性！”

嗜盐菌：一场神奇的改造

可解决现有生物制造技术4个短板

那么，如何降低PHA的制造成本？

陈国强团队分析了PHA生物制造的成本结构，发现底物（原料）成本占50%、能耗占27%、下游生产成本占23%。他们决定从占成本比例最高的底物做起。“现有生物制造技术有很多缺点，比如大量耗淡水、高能耗、易染杂菌、设备投资大、使用大量农产品做原料、原料转化率低等。我们希望下一代生物技术解决这些难题，第一步就要找出符合需要的极端微生物底盘。”陈国强说。

现有技术中，很多微生物都可以生产PHA，但都需要耗费大量淡水。能不能用海水替代淡水进行生产呢？

陈国强想起小时候的经历。在海边长大的他，小时候皮肉受伤只要去海里洗洗，伤口很快就好了。因为绝大部分细菌没法在海水里存活下来，它们会被“咸”死。如果能在取之不竭的海水中找到一种可以快速生长的细菌来生产PHA，就可以同时解决掉4个短板：用海水代替淡水，不必大量消耗宝贵水资源；无灭菌发酵可降低生产成本；高盐高pH值不易染杂菌，可连续生产；无需高温灭菌，因而可以用廉价塑料等材料代替昂贵的不锈钢制作生物反应器。

自然界还真有一些细菌喜欢盐分，它们被称为“嗜盐细菌”。陈国强团队决定寻找最强的嗜盐菌，把目光瞄准了新疆的艾丁湖。艾丁湖是世界最酷热干燥的地区之一，盐浓

度高达200克/升。在这里，他们筛选出两种嗜盐的野生菌：Halomonas TD和LS21。

“这两种野生菌都能在海水里快速生长，并产生物塑料PHA。”陈国强介绍，研发团队依照降低成本的生产需求，对这两种野生菌进行了精准的基因改造。

为解决传统生产消耗大量农产品做原料的问题，他们重构Halomonas底盘细胞代谢途径，使之能利用多种底物。“简单地说，就是让它们不挑食，用玉米淀粉能生产PHA，用厨余垃圾也能生产PHA。”陈国强说，这样的改造，让未来这种技术可以在设备小型化后进入家庭，将厨余垃圾制成塑料袋等生活用品。

为解决原料转化率的问题，他们给Halomonas配置了血红蛋白细胞。“因为我有血红蛋白细胞，我的氧气利用率至少是细菌的700倍。给嗜盐菌配置血红蛋白细胞后，可以提高它对氧气的利用率，从而加速生长、降低能耗，提高底物转化率。”陈国强说。

传统方式制造的PHA反应过程慢、细胞大小、浓度低、回收困难。他们通过重编程群体代谢通路增加了PHA产物浓度；通过可控诱导MinCD表达使底盘细胞从短杆状变为长纤维等手段，解决了传统技术中产物回收困难的问题；他们还把细菌生长方式从二等分变为多分裂，通过改变细菌分裂方式让

反应过程加快。

梦工厂：一个理想的诞生

首创下一代工业生物技术平台

改造成功的嗜盐菌奠定了下一代工业生物技术成功的基础。

“现代工业生物技术需要博士在实验室里进行复杂的无菌操作，而我理想中的下一代工业生物技术是文化水平一般者都能进行的简单开放操作。”陈国强说。

为实现这个理想，他们对PHA项目进行了工业化研发。清华大学旗下的北京蓝晶微生物科技公司和山东百盛生物科技有限公司一起，投资建设了百盛蓝晶生物科技有限公司，专注于PHA研发生产。目前，他们已成功开发世界首创的蓝水生物技术，实现了开放无灭菌的发酵过程。

记者在试车间看到，透明的5000升塑料发酵罐罐体，让细菌发酵过程清晰可见。PHA在生产末端如细长的面条般源源不断拉出来，并被切成米粒大小的颗粒。“我们已在山东济宁成功进行了5吨规模的中试，明年将建立千吨规模的生产设施；明年下半年，将利用现有闲置设备实现5万吨级的生产。”陈国强的生物塑料梦工厂即将变成现实。他首创的下一代工业生物技术平台，已通过世界领先的嗜盐微生物技术，将PHA生产成本降低了50%。

与传统技术相比，新技术实现了无灭菌开放式连续发酵的高效率生产，减少灭菌能耗及复杂操作，大大降低了人力成本；使用高盐废水来替代淡水资源，大大节约了水资源；生物反应器使用塑料或陶瓷等材料，大大降低了生产设备成本。

我国生物制造（发酵）产业规模全球第一，但由于目前技术落后，加上严峻的环保形势，导致大部分发酵设备闲置。这一新技术可以促进我国传统生物制造业改造升级。同时，我国数以亿吨计的大量陈化粮，也可以通过这一技术作为原料吃干榨净。

陈国强表示：“下一代工业生物技术现在只是初步研制成功，我希望将它进一步发展完善，让生物塑料部分代替化学工业，提供大量材料、燃料、药品和其他衣食住行必需品。希望以极端微生物合成生物学为基础的工业生物制造，可以克服现有生物制造的缺点，促进我国生物制造的全面升级换代，解决面临的生态、资源和可持续发展危机。”

开始答卷

读者问卷调查

新时代，新征程。亲爱的读者，2018年《经济日报》读者有奖调查问卷活动又同大家见面了。我们诚挚地邀请您的参与。

参与方式：
1. 请扫描下方二维码参与答卷。欢迎下载经济日报新闻客户端或关注经济日报微信公众号。



2. 登录中国经济网(www.ce.cn)参与答卷。

奖项设置及奖励办法：
为感谢广大读者、网友和粉丝积极参与此项活动，我们将有效问卷中抽出一、二、三等奖及纪念奖。抽奖结果将在《经济日报》、中国经济网和两微一端公布。
一等奖10名，各奖1000元现金；二等奖15名，各奖800元现金；三等奖20名，各奖500元现金；纪念奖500名，各获纪念品一份。



1. 邮箱: jjrbduzhe@163.com
2. 扫描下方二维码
3. 搜索QQ群号: 109933075、333941015
4. 电话: 010-58392644、13911270606

一、您对经济日报社的品牌认知

Table with 4 columns: 经常关注, 偶尔关注, 不关注, 纸质报纸, 新闻客户端, 法人微博, 微信公众号, 中国经济网, 中经网络电视

二、您对经济日报的总体评价：

Table with 4 columns: 高(强), 一般, 低(弱), 权威性, 知名度, 公信力, 成长性, 导向性, 互动性, 实用性, 美观性

二、您的阅读和参与互动情况

- 1. 您平时阅读经济日报媒体资讯的途径是：(可多选)
2. 目前，您在移动端已关注或下载的经济日报媒体有：(可多选)
3. 您经常在经济日报、微信公众号、客户端上获取哪些资讯：(可多选)
4. 您是否在中国新闻网、经济日报微信公众号、客户端上参与互动活动：(单选)
5. 您经常以何种形式参与经济日报的读者互动：(可多选)

三、您对经济日报媒体内容的评价

- 1. 您认为经济日报的最大优点是：(可多选)
2. 您认为经济日报的最大缺点是：(可多选)
3. 请您对中国经济网(www.ce.cn)的内容做出评价：

Table for content evaluation with columns: 时效性, 实用性, 互动性, 知识性, 趣味性, 信息量, 栏目内容, 界面设计, 色彩设计

- 四、您的基本信息(请真实填写，避免抽奖名单无效)：
1. 姓名：
2. 性别：
3. 年龄：
4. 职业：
5. 学历：
6. 工作单位：
7. 居住区域：
8. 所在城市：
9. 所在城市级别：
10. 是否关注过中国经济网及移动端内容(微信、微博、手机报)：
11. 您是否对经济日报某位记者的稿件或报纸某版面保持持续关注：(单选)
12. 您是否参与过经济日报线下活动交流：(单选)
13. 您是否对经济日报某位记者的稿件或报纸某版面保持持续关注：(单选)