

# 二氧化碳变淀粉：这不是魔术

■孙红兵 蔡福 王钦宏

淀粉,属于一种白色无臭无味粉状或粉状的复杂多碳水化合物,是小麦、玉米、大米等谷物粮食中最主要的成分,也是重要的工业原料。目前,人类主要通过农业种植来生产这种复杂多碳水化合物。

如果现在告诉你,用一种气体就能直接合成

淀粉,你会不会觉得不可思议?

不可思议的事真的变成了现实——近期,中国科学院天津工业生物技术研究所淀粉的人工合成方面,取得重大突破性进展:实现二氧化碳到淀粉的从头合成。这在国际上尚属首次,国内外诸多媒体纷纷报道了这一重磅消息。



在实验室展示人工合成淀粉样品。

因编辑技术育种,我们一直在追赶国际科技前沿。

有没有可能“换道超车”——靠人工合成淀粉?其实,人们的这一想法由来已久。很早就有人琢磨,靠人工合成淀粉,即便是替代一部分粮食淀粉作为工业原料、甚至饲料,也是件大好事。

实现这一目标,并非易事。人工合成淀粉涉及合成生物学,被公认为是影响未来的颠覆性技术。模拟自然作物光合作用,重新设计生命合成代谢过程,设计人工生物系统,不依赖植物种植进行淀粉制造,存在着很多不确定因素。特别是科学问题复杂,技术路线不清,瓶颈问题难测。这就需要人们在科学研究上大胆实践、勇闯“无人区”。

我国科研人员怀着强烈的使命感,面向国家重大战略需求,担起了人工合成淀粉这一重任。

## 学习植物,科学解决两个问题

从二氧化碳到淀粉,也就是从一碳化合物到多碳化合物的过程。

自然界中,玉米等农作物淀粉的合成与积累,涉及60余步代谢反应以及复杂的生理调控。理论上讲,能量转化效率仅为2%左右。

怎样走好人工合成淀粉的路?

为此,科研人员设计了一条从一碳化合物到多碳化合物的新路径。

针对植物只能利用空气中低浓度二氧化碳(0.04%)、低能量密度的太阳能(10瓦/平方米)、生长周期长(3~4个月)、天然淀粉合成途径长(60余步)、催化效率低(需要关键酶RuBisCo)等关键问题,科研人员加大实验创新力度,耦合化学催化与生物催化技术。他们充分发挥化学催化速度快与生物催化可合成复杂化合物的优势,设计和构建从二氧化碳到淀粉合成只有11步反应的人工途径。最终,在实验室里首次实现了从二氧化碳到淀粉的全合成。

受天然光合作用的启发,科研人员在太阳能分解水制绿氢的技术上,进一步开发高效的化学催化剂,把二氧化碳还原成甲醇等更容易溶于水的一碳化合物,完成了光能-电能-化学能的转化。该过程的能量转化效率超过10%,远超光合作用的能量利用效率(2%),也为后续进一步采用生物催化合成淀粉奠定了理论基础。

接下来,科研人员用“搭积木”的思维,解决一系列适配性问题——人工合成淀粉的最大挑战在于,天然淀粉合成途径是通过植物数亿年的自然选择进化而成,各个酶都能很好地适配协作。而人工设计的反应途径,却未必能像植物那样完美实现。

为了解决酶的适配问题,基于每个模块终产物的碳原子数,科研人员采用模块化思路,将整条途径拆分为4个模块,分别命名为C1(一碳化合物)、C3(三碳化合物)、C6(六碳化合物)和Cn(多碳化合物)模块。每个模块的原料和产物都是确定的,

但是可有多种反应过程。科研人员要做的,就是找到4个模块最佳的组合方式。

在解决了热力学不匹配、动力学陷阱等问题后,科研人员对各模块进行不断测试、组装与调整,最终成功实现了人工淀粉的实验室合成。该途径包含了来自动物、植物、微生物等31个不同物种的62个生物酶催化剂。

在此基础上,科研人员采用蛋白质工程改造手段,对其中几个关键限速步骤进行改造,解决了途径中的限速酶活性低、辅因子抑制、ATP竞争等难题,进而让生物酶催化剂的用量减少了近1倍,淀粉的产率提高了13倍。

随后,科研人员通过化学法,使二氧化碳进一步还原生成甲醇的反应偶联,再进一步通过反应时空分离优化,解决了途径中的底物竞争、产物抑制、中间产物毒性等问题,建立了生化级联反应系统,淀粉的产率又提高了10倍,并可实现直链淀粉与支链淀粉的可控合成。

该人工系统将植物淀粉合成的羧化-还原-重排-聚合以及需要组织细胞间转运的复杂过程,简化为还原-转化-聚合反应过程。公开资料表明,该系统从太阳能到淀粉的能量效率是玉米的3.5倍,淀粉合成速率是玉米淀粉合成速率的8.5倍。

## 从认识自然到学习自然、超越自然

按照目前的技术参数,1立方米大小的生物反应器,年产淀粉量相当于5亩土地玉米种植的淀粉产量。这一成果,使淀粉生产从传统农业种植模式向工业车间生产模式转变成为可能。

工业车间制造淀粉一旦成功,与农业种植相比,将有机会节省超过90%的土地和淡水资源,而且可以消除化肥和农药对环境的负面影响。这对提高人类粮食安全水平,促进碳中和的生物经济发展,具有重大意义。不难看出,未来人类所需的淀粉,可利用空气中的二氧化碳作为原料,通过类似生产啤酒一样的过程,在生产车间制造出来。这将对未来的农业生产、特别是粮食生产具有革命性影响,而且对全球生物制造产业的发展具有里程碑意义。

该研究是科研人员从认识自然到学习自然、超越自然的过程。通过学习、研究自然光合作用,使用自然界存在的来源于不同动物、植物、微生物的酶进行理性组合设计,并且耦合化学催化、生物催化的各自优点,成为一个新型人工淀粉合成途径。

有关专家指出,虽然目前设计、创建超越自然的人工生物系统生产淀粉取得了突破性进展,特别是以二氧化碳为原料,在大自然中可取之不尽用之不竭,但诸如要使用大量起催化作用的酶等,会存在着成本问题、能源和资源利用效率问题,是不是比农作物生产更经济实用,这些都需要考虑在内,在进一步实验探索中作进一步验证。

可以说,走出实验室,以工业化生产淀粉,还有很长的路要走。人们期待着这一天的到来。

(本版图片均为资料图片)

## 科普笔记

天气预报为我们的生活带来了便利,晴雨冷暖只需看看天气预报就可提前知晓。

那你知道除了天气预报外,还有空间天气预报吗?是的,航天器“出门”就是要看空间天气预报的!

如何为航天器选一个适合发射的时间窗口呢?

问:何为空间天气预报?

答:空间天气预报,是以一定形式给出某种空间环境要素未来或未知的状态。一般来说,空间天气预报分为常规预报和专项预报。常规预报是一项持续性工作,会对未来一段时间内的空间环境状态或事件进行动态预测。而专项预报是以满足专业用户某方面特定需求而进行的预报。

比如,重大航天任务发射之前,都要进行常规预报,以确定一个比较合适的发射时间。神舟一号飞船在发射之前,曾因“将出现狮子座流星雨”的准确预报,推迟了发射期。

问:空间天气预报在我国有何发展历史?

答:从1970年“东方红一号”卫星发射开始,空间天气预报就贯穿了我国航天发展史。当年,在极其艰苦简陋的条件下,十几位科学家靠着手摇计算机和计算尺,根据几篇相关论文中的图片,经过三四个月的努力,最终计算出“东方红一号”的辐射能谱和所受辐射通量,为卫星成功发射奠定了基础。“东方红一号”也成为世界上最早考虑辐射防护的卫星之一。

发展至今,空间天气预报已成为航天不可或缺的一部分。在载人航天工程系统组成中,空间天气预报属于空间应用系统下的空间环境保障分系统。

问:空间天气预报内容有哪些?

答:与常规天气预报一样,空间天气预报内容非常广泛。它包括太阳活动、行星际环境、地球磁场环境、磁层粒子环境、电离层环境、中高层大气环境、微流星及空间碎片环境等多方面的预报。

目前,空间天气预报大部分用于航天方向。比如进行“神舟系列”“嫦娥系列”的空间环境保障等。但也有部分空间天气预报开始进行更多方向、更多用户的探索。比如航空领域、电力系统、通信系统、灾害应急系统等。

问:什么天气算是适合发射的好天气?

答:对地球而言,太阳活动是空间天气的源头。恶劣空间天气环境主要由耀斑和日冕物质抛射引起,绝大部分由黑子群或活动区复杂磁场释放的能量所致。太阳爆发活动,会引起地球空间环境的一系列扰动。比如,耀斑会突然引起电离层扰动、太阳质子事件、极盖吸收事件等;日冕物质抛射会引发地磁暴、热等离子体注入、高能电子暴、电离层暴、高层大气密度增加等。

以上事件,都会在不同程度上对航天器造成影响。因此,一般来说,如果没有太阳爆发活动,或者太阳爆发活动对地球空间环境的影响比较小,都可视为适合发射的好天气。

问:空间天气预报只针对航天器上天之前吗?

答:并不是。航天器在不同阶段,都有空间天气预报的参与。比如,在卫星上天之前的方案设计和研制阶段,研制部门会同预报部门一起,分析卫星将面临的太空环境,给卫星设计相应防护,使卫星在太空中具备一定的抵御空间天气事件能力。卫星发射之后,预报部门也会长期、连续地开展空间天气预报,并提供给卫星运营部门。这样,在太阳风暴发生期间,运营部门可根据预案,采取调整卫星工作模式或是临时关机等方式,来规避太阳风暴的影响。

问:有针对空间站的专门空间天气预报吗?

答:当然有。预报部门不仅要在发射任务前提供空间环境保障服务,还将开启全天候空间环境保障模式,不间断地为空间站在轨安全运行保驾护航。

空间站的运行期为10余年,长

# 航天发射如何选时间窗口

■苏子安

周期在轨将面临更加复杂多变的太空环境要素威胁,使工程任务越来越复杂。在此期间,影响载人空间站运行和航天员飞行安全的轨道空间环境,主要是高能带电粒子辐射环境和高层大气环境及流星体环境等。

这些环境变化,主要受太阳活动和地磁活动制约。如产生太阳质子事件,引起高能辐射环境变化等。地磁暴期间,高层大气密度会迅速上升,导致低轨道上航天器的阻力增加,从而改变航天器的正常运行轨道,增大航天器定轨和轨道预测的误差。这些因素,都将对空间站的运行产生威胁。因此,进行专门的空间天气预报是很有必要的。

问:为了我国空间站正常运行,我们做了哪些空间天气预报?

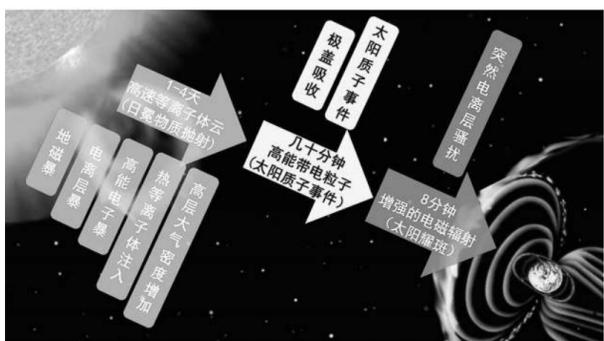
答:早在我国空间站的天和核心舱发射前一年,预报部门就进入了保障状态。先后为有关部门提供了空间站任务期空间环境预报和影响评估分析,为后续预报任务的制定和实行奠定了基础。

从天和核心舱发射前3个月开始,预报中心持续不断地向工程有关部门提供空间环境预报报告,对发射窗口的空间环境状况进行精密分析和预测,并分析空间环境可能对天和核心舱的影响,给出了精确的短期预报结论。

从天和核心舱入轨开始,预报中心进入空间站在轨飞行空间环境保障任务状态。空间环境预报员24小时值班,时刻监视空间环境变化,对太阳辐射、太阳质子事件、地磁暴、大气密度等空间环境要素进行监测、预报、警戒和影响分析,及时报告空间环境态势,评估空间环境变化对载人空间站可能带来的威胁,协助空间站系统和航天员及时规避未知的空间环境危害,以确保空间站安全稳定运行。

(作者系中国科学院国家空间科学中心博士)

## 太阳活动对地球空间环境影响示意图



# 元素周期律的探索之路

■王皓凡 李会鹏 于童

纳率先展开元素周期规律的探索。他别出心裁地提出“三元素组”排列,“每组中三个元素性质相似,且中间元素的原子量等于两边两个元素原子量的一半”。起初,这一规律并未得到大多数人的认可。

1862年,法国化学家尚古多按照元素原子量大小顺序,将当时已知的62种元素,依次排绕在一个圆柱体的螺旋线上,构成一幅“螺旋图”。他惊奇地发现,“化学性质相似的元素在同一条垂线上,且相对原子质量差值大多接近16”。

继尚古多之后,又有2位重量级人物登场。首先是德国医学博士迈耶尔。1864年,他所著的《近代化学理论》一书中,展示了世界上第一份元素周期表,被称为“6族元素表”。表中,按原子量递增顺序,将元素分成6族。4年后,迈耶尔又增加了28种元素,制作成了第二份元

素周期表。表中,进一步区分主族和副族元素,并独立反映过渡元素性质。

显然,迈耶尔在吸取前人探索成果基础上,已发现元素周期变化的一些规律。

迈耶尔之后,另一位重量级人物——英国化学家纽兰兹登场了。他按原子量递增顺序,将元素进行排列,发现“每隔7种元素,便出现性质相似的元素”,构成“8族”元素。遗憾的是,这一发现对于当时人们的认知来说过于超前,因而并未被人接受。

最终,“真理女神”选择了俄国科学家门捷列夫。他带着前人的智慧奔向元素世界最深处,正式向探索元素周期律发起冲刺。

由母亲独自带大的门捷列夫,凭着超人才气和顽强毅力,高中毕业后轻松考入圣彼得堡师范学院,并出色完成学业,以首席毕业生身份先后赴法国和德国留

学。1865年,门捷列夫成为圣彼得堡大学无机化学教授,从此开启了光辉人生。

在对元素周期律的探索中,门捷列夫另辟蹊径:用一张纸牌代表一种元素,对63张代表元素的纸牌进行排列。他发现,每一行元素的性质是按照原子量的增大而自上而下逐渐变化的,呈现出明显的规律性。1869年,他制作出自己的第一份元素周期表。

两年后,门捷列夫在发表的《化学元素的周期性依赖关系》论文中,绘制出了自己的第二份元素周期表。该表把原表中的竖行改为横行,使同族元素处于同一竖行中,更加突出了元素性质的周期性。

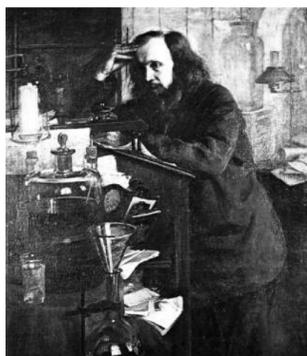
难能可贵的是,门捷列夫还精准预测了尚不明确性质和尚未发现的元素分布。后经证实,都准确无误。

元素周期律的发现,如同一座明亮的灯塔,照亮了整个化学元素世界。

## 热点追踪

### 为何尝试人工合成淀粉

粮食安全是国家安全的重要基础。为此,我国一直积极推进农业生物技术进步,从遗传杂交育种到分子设计育种,从转基因新品种培育到基



图为门捷列夫在苦苦思索化学元素的排列规律。

## 刻进历史的经典创新

自原子、分子学说建立后,化学界似乎被注入了一针兴奋剂。不少化学家隐约感到,活跃在眼前的各种元素之间,似乎存在着某种关系。

早在1829年,德国化学家德贝莱