二氧化碳人工合成淀粉成功对生态的影响及预测

作者

北京林业大学

摘要：我国成功突破二氧化碳合成淀粉技术，该技术可以在无需土地的情况下将大气中的二氧化碳转化成淀粉，并且效率远大于植物的光合作用。本文将简要介绍该技术背后的原理，并探讨它在未来对包括温室效应在内的全球生态以及人类社会可能造成的影响。

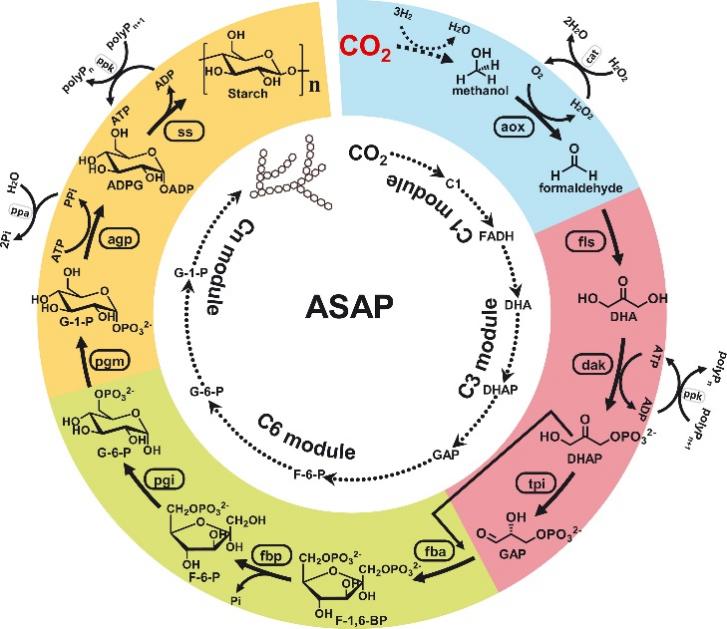
关键词：二氧化碳；淀粉；全球生态；碳中和；温室效应

前言：课上曾讲到了温室效应，其成因是人类活动燃烧化石燃料产生的二氧化碳远远超越了自然温室效应的水平以及由于乱砍乱伐森林，大量农田建成城市和工厂，破坏了植被，减少了绿色植物的光合作用，减少了二氧化碳转化为氧气和有机碳化合物的汇，再加上地表水域逐渐缩小，降水量大大降低，减少了吸收溶解二氧化碳的条件，破坏了二氧化碳生成与转化（光合作用）的动态平衡，使大气中的二氧化碳含量逐年增加。而现在，人类已经开发出一种全新的利用二氧化碳的技术，这项技术或许能彻底解决这个问题。

自1750年以来，大气中CO2的浓度增加了31%，目前大气中CO2的浓度是过去42万年内最高的。人为排放的CO2占3/4 ，都是化石燃料燃烧的结果。其余的1/4是来自土地利用变化造成毁林开荒，减少了绿色植物对CO2的吸收造成的。除此之外，还有CH4、N2O、CFCs等温室气体在大气中浓度的升高共同加剧了温室效应。可以看到，造成温室效应的主要元凶仍是二氧化碳，解决了二氧化碳的浓度问题，也就相当于跨过了摆在人类生存发展上的一道坎，因为解决了地球上的生存问题，才有可能推进人类文明向宇宙的征程。

一、二氧化碳转化淀粉技术简要概括

今年九月，我国科学家率先实现二氧化碳合成淀粉的人工转化，整个过程可在一个生物反应器中进行，而不必占用任何的土地资源。

该项技术的背后机理大致如下：使用一种化学二氧化碳还原催化剂，产生还原的一碳（C1）单位，作为无细胞淀粉合成的化学酶途径的输入。为此选择甲酸和甲醇作为候选的中间产物，以连接可能的化学催化剂和生物酶。图1这些反应是以甲酸或甲醇为C1桥接中间体的二氧化碳。

为了克服人工设计的途径往往受到来自不同酶之间的相互阻碍的问题，团队采取了模块化组装和替换的策略。两个淀粉合成途径被分为更容易管理的模块，包括一个C1模块（用于生产甲醛），一个C3模块（用于生产D-甘油醛-3-磷酸），一个C6模块（用于生产D-葡萄糖-6-磷酸），以及一个Cn模块（用于淀粉合成）。通过组装和替换从31种生物的62个酶库中构建的11个模块，我们建立了人工淀粉合成途径，验证了其从甲醇合成淀粉的全部功能。

在建立ASAP 1.0后，研究人员使用三种工程酶（fls-M3、fbp-AGR和agp-M3）来优化这一途径，优化后的过程称为ASAP 2.0，与ASAP 1.0相比，ASAP 2.0的淀粉生产率提高了7.6倍，积累的中间产物浓度低于ASAP 1.0。

在ASAP 2.0中的成功的基础上，团队通过先前开发的无机催化剂ZnO-ZrO2将酶促过程与二氧化碳还原结合起来，在ASAP 3.0中，开发了一个化学酶级联系统。

考虑到天然淀粉含有大约20%到30%的直链淀粉和70%到80%的直链淀粉。为了从二氧化碳中合成直链淀粉，团队在ASAP 3.1中引入了来自弧菌的淀粉分支酶，通过使用空间和时间上的隔离步骤，ASAP 3.0实现了高的淀粉生产率，这比玉米中通过卡尔文循环合成淀粉的速率高8.5倍。 将理论ηSSE调整为7%，与C3和C4植物的太阳能转化为生物质的理论光合效率相当，是自然环境中植物的理论太阳能转化为淀粉效率的3.5倍。

简单来说，就是研发团队使用了一种在无细胞系统中用二氧化碳和氢气合成淀粉的化学-生物化学混合途径。人工淀粉合成途径（ASAP）由11个核心反应组成，通过计算转化途径，模块化组装和替代建立，并通过三个相关酶的蛋白质工程进行优化。这种方法比玉米的淀粉合成速度高出8.5倍，1立方米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，为未来利用二氧化碳合成淀粉开辟了道路，为淀粉的工业生物制造等应用提供了一个重要的出发点。

尽管中国科学院副院长、中国科学院院士周琪称该成果目前尚处于实验室阶段，离实际应用还有相当长的距离，后续还需要尽快实现从“0到1”的概念突破到“1到10”和“10到100”的转换，但是这项相关成果使淀粉生产的传统农业种植模式向工业车间生产模式转变成为可能，并为二氧化碳原料合成复杂分子提供了新的技术路线。

二、该技术可能造成的影响

在我看来，这项技术有以下几个意义，并且有可能会对未来全球土地分布以及植被覆盖造成很大的影响。

第一，彻底遏制温室效应已经不再是一个可望而不可及的议题。上文提到虽然造成温室效应的气体不只是二氧化碳一种，但是二氧化碳是其中占比最大的温室气体，如果人类不仅能实现二氧化碳的自产自销，甚至可以将全球二氧化碳水平向下拉，那么解决温室效应将胜利在望。同时，通过读论文我们也了解到，该团队使用了全新的技术以及催化酶，我们既然有能力解决二氧化碳，应该同样有能力去处理甲烷等与二氧化碳相似的含碳化合物。若大气层面的问题得到了有效解决，人类一定会将目光投向深海，进而尝试解决导致珊瑚礁退化，海洋贝类缺钙而外壳变薄变脆等海水酸化带来的问题。这对全球的生态学来说都是一个好消息，至少是一个好的走向。

第二是碳中和问题，减少碳排放是全人类的目标，我们是制造业大国，碳排放高，2020年，全球能源消耗碳排放量总计约为320亿吨，其中，中国碳排放总量为99亿吨，占全球碳排放的31%。在植树造林、节能限产以外， 2020年9月22日，在第七十五届联合国大会上中国代表提出：中国将采取有力的政策和措施，二氧化碳排放力争于2030年前达到峰值，努力争取2060年前实现碳中和。这很不容易，因为在1997年通过的《京都议定书》中，以二氧化碳为代表的温室气体被首先赋予了市场商品属性。《议定书》中规定，各国的二氧化碳排放权可以被作为一种商品自由交易。2013年，中国碳交易市场初步形成。而在今年7月16日，中国“全国碳排放权交易市场”正式开市，二氧化碳排放权的商品地位正式获得了国家认可。这一切意味着，随着中国对“二氧化碳排放权”商品地位的承认，作为全球产业制造金字塔的顶端，并不主要承担高碳排放类工业生产的发达国家们手中富裕的“碳排放权”，必将成为收割发展中国家尤其是中国的镰刀。在这样的背景下，要么停止发展、要么花钱去买“碳排放权”，似乎成为了以中国为首的发展中国家不可绕过二选一的选择。但是有了这项技术，我们就能把二氧化碳利用起来，不仅一举两得，而且相当于形成了良好的生产循环。而得到了“淀粉”的我们，在二氧化碳排放权的总量上，非但不减，反而还可以增长。

第三，可以节省大量的土地资源。我们一直都在坚守十八亿亩耕地指标红线，以袁隆平为首的科学家团队历经几十年，找到恢复系，攻克“三系”配套难关,配套籼型杂交水稻“三系”与转基因抗虫水稻 ，青海柴达木盆地[盐碱地](https://baike.baidu.com/item/%E7%9B%90%E7%A2%B1%E5%9C%B0/764116" \t "_blank)里试种高寒耐盐碱水稻，乃至近期研制出的两米高的水稻，为的都是饭碗要端在自己手上，但是这几项技术都是从最大化利用土地的思路上去解决全中国，全人类的吃饭问题。通过二氧化碳的直接转化的革新点就在于打破了“粮食只能从土地中生产”的铁律，现在这方面的压力也可以大大减轻，以前我们国家应对国际上的粮食战靠的是自身的储粮能力以及种植水平，现在通过转化几乎是取之不尽的二氧化碳这条路，国际已经失去了在粮食上控制我们，打压我们的资本。大胆预测，在技术成熟之后，耕地红线将急剧缩减，空出来的土地将发挥比以往更为巨大的作用。

第三，可以为工业提供廉价充足的原材料。淀粉也是很多其他工业品的基础性原料，例如酒精、乙酸等等，而二氧化碳又是比较廉价易得的工业行生品，所以大量原料价格会相应降低，由此为工业及其他行业服务。工业和制造业是我国实体经济的大头，我们已经提出2025，2035，2050等多个节点的发展纲领，完成这些纲领的内容离不开工业的发展。工业的发展又与原材料的价格紧密不分，所以一旦价格降下来，对我国各个领域尤其是综合国力的发展百利而无一害。

第四，原本地形崎岖，不利于发展种植业的地区也同样可以成为粮食的产出地区。实现粮食的自给自足。

第五，已知火星上有巨量的二氧化碳，各国都在搞火星探测，试图抢占火星，利用这项技术，在火星生存就变得更容易。不妨以此展望，未来人类开展深空探索，可以考虑以火星为一个锚点，一个太空补给站，以此为起点走向更加深远的宇宙深处。

所以，“二氧化碳人工合成淀粉技术”并不仅仅只是解决了未来的“吃饭”问题，也必然将深刻而重大的改变全球生态的自然布局，甚至可能会对存在了亿万年的地表生态形成颠覆性的影响。

三、技术可能带来的副作用

我们也应该考虑这项科技成果在生态方面可能会带来的副作用。我们当今面临着碳排放问题，未来碳排放反而是淀粉来源。不妨做一个狂想，如果人类不需要植物也能产生粮食，不需要植物也能控制地球上的二氧化碳含量，那植物存在的意义会变成什么？诸如澳洲山火，美洲山火，热带雨林退化的问题是否还会像如今这样引起国际社会的关注？我们知道许多非粮食类植物在固碳方面成效甚大，尤其是常绿乔木林。如果这项技术应用成熟，那么保护它们的收益是否会下降？即使退一步从防风固沙效益，涵养水土的效益来看，我们仍然对地上部分已有的森林进行保护，那么对构建并不断维护一个实际效益尚且不明显，工程量巨大且目前几乎没有用武之地的种子库，全球植物的基因库是否还有必要呢？有一些植物甚至可以考虑从清单中被剔除。此外，绿水青山就是金山银山这个政策的可持续性也许也会因为这项技术而受到一定波及。即使耕地红线已经没有存在的必要了，那些空出来原本用于耕种的土地也大抵不会拿来改善生态环境，而是会进行城市化建设，那么随之而来的人口增长压力将对以水资源为首的自然环境造成更加严峻的考验。再进一步讲，我们甚至可以无需太阳，只要有新的能源来源，那么就可以源源不断的固定二氧化碳，从而生产出食物来。

综上所述，我的结论是这项技术虽然在现阶段不具备大规模实施的可行性，但是必将在未来对全球的粮食产业，土地资源分配，水资源再分配以及气候问题产生重大而积极的影响，成为人类继续在地球上繁衍生息的重要生态保障。

参考文献

[1]Cell-free chemoenzymatic starch synthesis from carbon dioxide[J]Science Vol 373, Issue 6562•pp. 1523-1527

[2] [Zandalinas Sara I.;](https://scholar.cnki.net/home/search?sw=6&sw-input=Zandalinas%20Sara%20I." \t "_blank)[Fritschi Felix B.;](https://scholar.cnki.net/home/search?sw=6&sw-input=Fritschi%20Felix%20B." \t "_blank)[Mittler Ron](https://scholar.cnki.net/home/search?sw=6&sw-input=Mittler%20Ron" \t "_blank)Global Warming, Climate Change, and Environmental Pollution: Recipe for a Multifactorial Stress Combination Disaster[J][Trends in Plant Science](https://scholar.cnki.net/journal/index/SJES136013852011" \t "_blank)Volume 26, Issue 6. 2021. PP 588-599

[3]Lian Xihong, Jiao Limin, Zhong Jing et al. [Artificial light pollution inhibits plant phenology advance induced by climate warming](https://scholar.cnki.net/Detail/index/GARJ2021_2/SJES469301C05032EF3DA3B7A9B6DF00FCE6" \t "_blank)[J]  Environmental Pollution, 2021, 291

[4]Liu Xiaodi, Ma Quanhui, Yu Hongying et al. [Climate warming-induced drought constrains vegetation productivity by weakening the temporal stability of the plant community in an arid grassland ecosystem](https://scholar.cnki.net/Detail/index/GARJ2021_1/SJES3F75E0E50005D15EC09F1CF902238EEC" \t "_blank)[J]  Agricultural and Forest Meteorology, 2021, 307

[5]Sun Qingling, Li Baolin, Jiang Yuhao et al. [Declined trend in herbaceous plant green-up dates on the Qinghai–Tibetan Plateau caused by spring warming slowdown](https://scholar.cnki.net/Detail/index/GARJ2021_1/SJESE0B5E8A2B336B7634D602854787B6AC9" \t "_blank)[J]Science of the Total Environment, 2021, 772

[6]Zheng-Sheng He, Wei-Ming He [Asymmetric climate warming does not benefit plant invaders more than natives](https://scholar.cnki.net/Detail/index/GARJ2020/SJES73093B68A87595B0B921CC69589921F7" \t "_blank)[J]  Science of the Total Environment, 2020, 742(prepublish)

[7]M. Green, E. Dunlop, J. Hohl-Ebinger, M. Yoshita, N. Kopidakis, X. J. Hao, Solar cell efficiency tables (version 57). Prog. Photovolt. Res. Appl. 29, 3–15

[8]S. Shiva Kumar, V. Himabindu, Hydrogen production by PEM water electrolysis – A review. Mater. Sci. Energy Technol. 2, 442–454 (2019).

[9]Y. Y. Birdja, E. Pérez-Gallent, M. C. Figueiredo, A. J. Göttle, F. Calle-Vallejo, M. T. M. Koper, Advances and challenges in understanding the electrocatalytic conversion of carbon dioxide to fuels. Nat. Energy 4, 732–745 (2019).

[10]R.-P. Ye, J. Ding, W. Gong, M. D. Argyle, Q. Zhong, Y. Wang, C. K. Russell, Z. Xu, A. G. Russell, Q. Li, M. Fan, Y.-G. Yao, CO2 hydrogenation to high-value products via heterogeneous catalysis. Nat. Commun. 10, 5698 (2019).

[11]J. B. Siegel, A. L. Smith, S. Poust, A. J. Wargacki, A. Bar-Even, C. Louw, B. W. Shen, C. B. Eiben, H. M. Tran, E. Noor, J. L. Gallaher, J. Bale, Y. Yoshikuni, M. H. Gelb, J. D. Keasling, B. L. Stoddard, M. E. Lidstrom, D. Baker, Computational protein design enables a novel one-carbon assimilation pathway. Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A. 112, 3704–3709 (2015).

[12]Hui Peng, Yangwen Jia, Chesheng Zhan et al. [Topographic controls on ecosystem evapotranspiration and net primary productivity under climate warming in the Taihang Mountains, China](https://scholar.cnki.net/Detail/index/GARJ2020/SJES571E410539E50C5EA6DB54482EC619F8" \t "_blank)[J]  Journal of Hydrology, 2020, 581(C)

[13]Lian Xinyu, Zhao Xinyu, Zhao Qiang et al. [MdDREB2A in apple is involved in the regulation of multiple abiotic stress responses](https://scholar.cnki.net/Detail/index/GARJ2021_1/SJES23910A9AF2294C29CA7A89E33138A645" \t "_blank)[J]  Horticultural Plant Journal, 2021, 7(3)

[14]Ruiling Zhong, Yuxia Wang, Ruonan Gai et al. [Rice SnRK protein kinase OsSAPK8 acts as a positive regulator in abiotic stress responses](https://scholar.cnki.net/Detail/index/GARJ2020/SJES2E3816D7B202EE0115E03409CACF9DC5" \t "_blank)[J]  Plant Science, 2020, 292(C)

[15]Zhao Chenxu, Nawaz Ghazala, Cao Qinghe et al. [Melatonin is a potential target for improving horticultural crop resistance to abiotic stress](https://scholar.cnki.net/Detail/index/GARJ2021_2/SJES0A35C806E13DDCC936EFE1FE18475F50" \t "_blank)[J]  Scientia Horticulturae, 2022, 291

[16]Chen Qinghua, Hu Shuangling, Guo Fei et al. [Characterization of the SET DOMAIN GROUP gene family members in Camellia sinensis and functional analysis of the SDG43 gene in abiotic stresses](https://scholar.cnki.net/Detail/index/GARJ2021/SJES37085624B3611AF8B599C94A7E6DBAC4" \t "_blank)[J]  Environmental and Experimental Botany, 2021, 182

[17]Yang Junfeng, Ma Lin, Jiang Wenbo et al. [Comprehensive identification and characterization of abiotic stress and hormone responsive glycosyl hydrolase family 1 genes in Medicago truncatula](https://scholar.cnki.net/Detail/index/GARJ2021/SJES42EEADAAEC2E88CD5211009B3BEE461B" \t "_blank)[J]  Plant Physiology and Biochemistry, 2021, 158

[18]Chen Min dong, Wang Bin, Li Yong ping et al. [Reference gene selection for qRT-PCR analyses of luffa (Luffa cylindrica) plants under abiotic stress conditions](https://scholar.cnki.net/Detail/index/GARJ2021_1/SSJD52017817B38D39D6449E80A13B22C1E7" \t "_blank)[J]  Scientific Reports, 2021, 11(1)