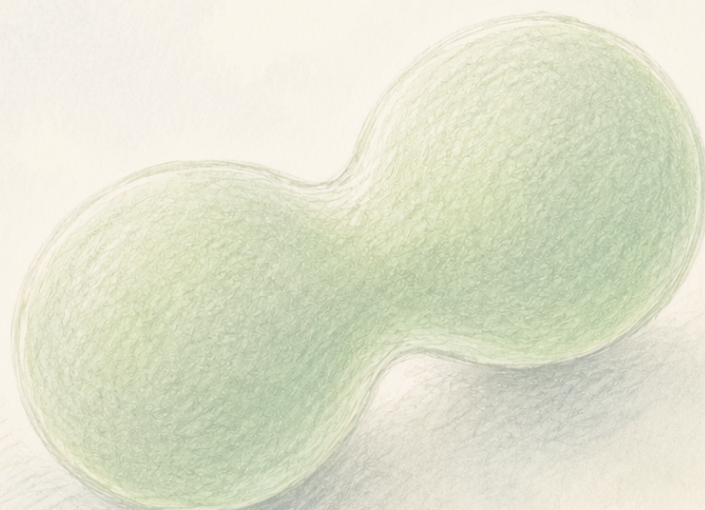




The CLEAN PAPER

WHAT THE PAPER SAYS · WHAT IT DOESN'T · WHY IT MATTERS

一种会摄取、生长和分裂的合成细胞——重要进展，但不是从零创造生命

明尼苏达大学的一个团队报告了一种携带约 90,000 碱基基因组的脂质液滴，它会摄取物质、复制 DNA、生长，并跨越五代分裂；研究者引入的有利突变通过选择在群体中扩散。这是利用成分明确、经过纯化的部件构建细胞的一项真实进展。但它尚未经过同行评审；不能制造自己的蛋白质合成系统，也不能维持自身代谢；所用部件是纯化的生物分子，不是从零组装的简单化学物质；而且——用作者自己的话说——这里的选择并非自发的达尔文式进化。清晰的说法不是“首个由非生命物质造出的活细胞”。

Written by Lucio Vaglio · Cross-checked by Laura Nesso · Edited by Michele Renda · Figures by Laura Nesso and Nova Vela · AI-assisted, human-reviewed

Paper: *A Chemically Defined Synthetic Cell Capable Of Growth And Replication*, Nathaniel J. Gaut, Christopher Deich, Brock Cash, Tanner Hoog, Aaron E. Engelhart, Katarzyna P. Adamala, Preprint (not peer-reviewed) —University of Minnesota

“第一颗合成细胞”的故事：还原为液滴

新闻标题极其夸张：世界上第一个拥有完整生命周期的合成细胞、用非生命物质构建生命、对生物学而言的“斯普特尼克时刻”。标题之下的论文则安静得多，说实话，也比这些口号有趣得多。明尼苏达大学的一个团队报告了一种微观脂质液滴——也就是构成细胞膜的那类油腻小泡——它携带一组遗传指令，能够通过与更小的供给液滴融合来获取营养，复制这些指令，生长，并在多个轮次中分裂成子液滴。在一项实验中，一个被引入指令中的有利变化在群体中扩散开来，因为携带它的液滴繁殖得更快。

这在一个具体而诚实的意义上确实是一次进展：从底层开始，用已知部件构建一个类细胞系统，并让细胞周期的基本动作在同一处协同运行。但这仍是一篇尚未经过同行评审的预印本，而且用作者自己的话说，它不是自给自足的生物，也不是自发的达尔文式进化。准确的说法不是“生命从零开始被创造出来了”，而是：研究人员首次在完全定义的合成液滴内部，利用纯化的生物部件运行了完整的细胞周期程序。

SpudCell: evidence chain, not a hero cell

The result is a controlled, defined synthetic system with cell-cycle behaviours. The boundary matters as much as the achievement.

DEMONSTRATED IN THE PREPRINT

Feeds by fusion

supply droplets bring in fresh material



Copies DNA

Phi29 enzyme replicates the genome



Grows and splits

five-cycle assay uses mechanical division



Selection can act

an introduced faster-feeding variant spreads

STILL REQUIRES OUTSIDE SUPPORT

Purified machinery

ribosomes and enzymes are supplied

Supply droplets

small molecules, lipids and fresh parts

Division has two levels

mechanical cycle vs gene-driven add-on

Gene-driven split still needs help

streptavidin + linker added by hand

Do not merge these: The repeated five-generation result used a reliable mechanical split.

The more cell-like gene-driven split was separate, lower-yield and externally assisted.

BOUNDARY

Reconstituted cell-cycle behaviours in a defined synthetic system; not an autonomous living cell.

Also not shown: simple chemistry assembled from zero, spontaneous Darwinian evolution, or robust genome inheritance.

Original diagram — The Clean Paper · CC BY 4.0

这是一条证据链，不是一颗英雄细胞。顶行是论文证明的内容：一种完全定义的液滴，能够获取营养、复制自己的基因组，在五代中生长并分裂，同时一个引入的有利变化通过选择扩散。中间行是它仍然需要从外部获得的东西：纯化的核糖体和酶、供给液滴，以及对于基因驱动的分裂而言手动添加的额外成分。底行是边界：这是完全定义的合成系统中重构出的细胞周期行为，不是自主的活细胞，也不是自发进化。

Original diagram — The Clean Paper CC BY 4.0

作者做了什么

先看容器。这个合成细胞是一个**脂质体**——由包围真实细胞同类脂肪膜包裹的液滴。团队在其中放入了两样东西：一组遗传指令，以及一套读取这些指令并制造蛋白质的微型工具包。

这些指令是一套约有 **90,000 个 DNA 碱基** 的基因组（90 kbp），分布在七个小环（质粒）中。蛋白质制造工具包并非凭空发明，而是由从生物体中提取的纯化工作部件组成的、完全定义的混合物——核糖体、酶以及蛋白质合成所需的其余机器——并以已知数量组装起来。（在这一领域，这种重构且完全明确的混合物称为 PURE。这里的“化学定义”是指每种成分都已知且经过测量，并不是说它由简单化学物质构建而成。）

有了这个液滴，作者展示了它可以运行细胞周期的基本步骤。他们完成了四件相互关联的事情。

第一，他们让它**自行获取营养**。液滴通过与更小的供给液滴（“feeder”脂质体）融合来吸收新鲜物质。使它们能够融合的信号是一种由细胞利用自身基因组制造的膜蛋白——因此，获取营养是由细胞自身的基因开启的，而不是每轮都由人工添加。

第二，他们让它**复制自己的 DNA**，使用了一种借用的病毒复制酶（Phi29），该酶由基因组编码。

第三，他们让它**生长并分裂**——而且他们用两种不同的方式完成了分裂，这一点后来证明很重要（见下文）。

第四，他们展示了**选择**。他们在基因组中引入了一个能让细胞更快获取营养和生长的变化，并展示了这些更快的细胞会比其他细胞繁殖出更多后代并占据群体，尤其是在食物稀缺时。

他们发现了什么

完整周期协同运行。在五个“世代”中，液滴获取营养、复制 DNA、生长并分裂，形成了一个反复运行的程序，而不是彼此孤立的一次性演示。让这些步骤在同一个完全定义的系统运行，并与细胞自身的基因表达相耦合，是论文的核心结果。

获取营养和分裂可以由基因驱动。细胞能够制造驱动自身获取营养的蛋白质；在另一项单独的、产率较低且仍需手动添加额外成分的演示中，它也能制造驱动自身分裂的蛋白质。这是朝着一种依靠自身指令、而不是依靠实验者操作运行的系统迈出的一步。

有利变化通过选择扩散。一个为获取营养蛋白提供更强“开启开关”的变体（活性更高的启动子）生长更快，留下更多后代，并在资源稀缺时胜过原始变体。这是在合成系统内部，从遗传变化到繁殖成功之间建立的真实联系。

遗传并不完美。五代之后，经过分析的细胞中只有少数仍携带全部七个 DNA 环的完整集合。在子液滴之间准确分配基因组，目前还不可靠。

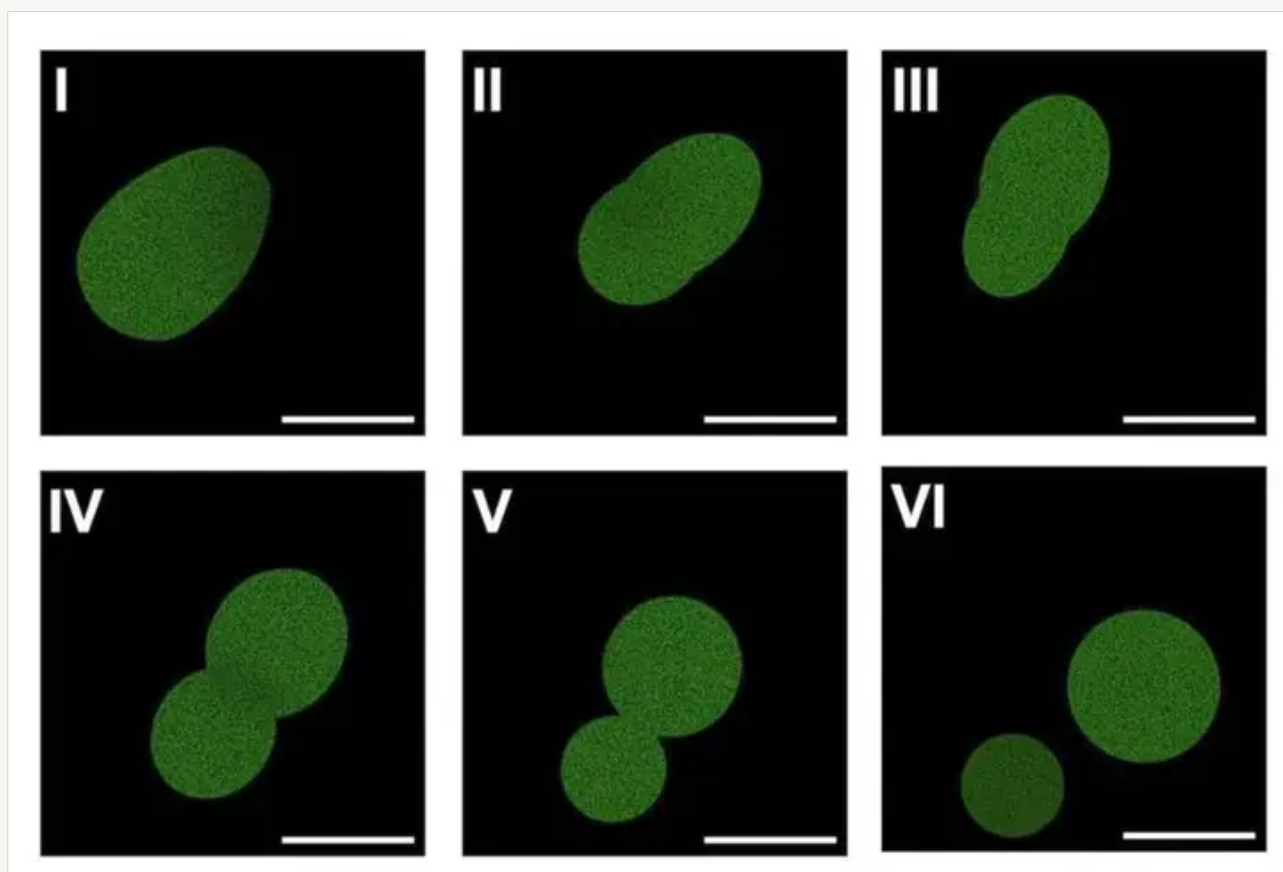
哪些过程可以自行运行——哪些不行

新闻标题中分量最重的词是完整。在论文中，“完整细胞周期”指的是操作步骤——获取营养、复制、生长、分裂——被重构出来并一起测量。它并不意味着细胞能够自给自足。有两个限制很重要，作者也都明确说明了。

第一，细胞**无法制造自己的蛋白质制造机器**。核糖体和大多数酶都是预先纯化并供给进去的，而不是由细胞制造的。按照作者的表述，这个系统的代谢能力非常有限，无法制造核糖体；真正的代谢独立性需要大得多的基因组。因此，这个液滴能够运行细胞周期，却不能从零开始运行自己的生化过程。

第二，日常的分裂是**机械性的**。在五代实验中，液滴被推过细孔滤膜而分开——选择这种方法是因为它能够可靠地产生子液滴。更像细胞的基因驱动分裂（由细胞制造的蛋白质驱动分裂）是在单独的实验中展示的，需要从外部添加额外成分（一个桥接系统：链霉亲和素和连接子），而且产率更低。作者明确表示，更稳健、更高产且可控的分裂仍需进一步研究——可能需要一种这个细胞目前还没有的合成内部骨架。

这就是为什么图中将两种分裂分开：标题所说的五代周期使用机械分裂；基因驱动分裂是一个前景可观但很脆弱的附加成果。



来自作者托管的预印本的荧光显微镜序列，展示了合成细胞在基因驱动分裂演示中伸长并分离成两个液滴。这张图以降低的分辨率复制，用于评论分裂结果，符合合理使用原则；文章上方的主要证据链图则将这一演示与五代检测中使用的机械分裂区分开来。

是选择，不是自发进化

选择结果很漂亮，也值得准确表述。一个有利变化——更强的获取营养“开启开关”——让细胞生长更快，因此留下更多后代，于是这一变化扩散开来。这是真实的选择作用于可遗传差异。

但这个变化并不是自行产生的，而是作者放进去的。用他们自己的话说，这个有利突变并非在群体中自发出现，而是被人工引入的；这不同于自然的达尔文式进化。让突变自行产生被列为未来工作。因此：选择和资源竞争，有。开放式的自发进化，还没有。

这项工作不能证明什么

- 它**不能**说明细胞是由非生命化学物质构建的。其部件是纯化的生物成分——来自活生物体的核糖体和酶，以及一种病毒复制酶——被组装进一个完全定义的液滴。“化学定义”意味着成分完全明确，而不是从零合成；论文自己的图 1 将这些细胞描述为由逐一纯化的天然成分组装而成。
- 它**不能**说明这是一个自给自足的生物。细胞无法制造自己的核糖体，也无法运行自己的代谢；它依赖外部供给的机器和供给液滴。
- 它**不能**说明存在自发进化。有利突变是研究人员引入的，并非由系统自行产生。
- 它**不能**说明遗传稳健。五代之后，只有少数细胞保留了完整基因组。
- 它**不能**说明由细胞驱动的分裂是标准机制。反复进行的五代周期依赖机械分裂；基因驱动分裂产率较低且需要外部辅助。
- 它**尚未经过**同行评审。这是一篇预印本；据《科学》报道，它被《细胞》拒稿，据称同行评审正在其他地方进行。在同行评审完成前，应将具体数字视为暂定结果。

证据有多强？

对于核心工程学主张，证据直接且充分。作者报告说，细胞周期的操作步骤在一个完全定义的合成液滴内部协同运行，与系统自身的基因表达相耦合，并在多个周期中重复出现。这个主张边界清晰、可以检验，而且有定量演示支持，尽管这项工作仍是一篇预印本。

系统缺乏代谢独立性和自发进化，不应被视为失败的主张或低置信度的主张。作者并没有声称系统具备这些能力：他们明确将其描述为缺失的能力，或未来工作的目标。它们是“完整细胞周期”在这里所代表含义的重要边界，而不是反驳已报告结果的证据。

因此，主要不确定性并不在于这项研究是否创造了自主生命，而在于报告的工程性能究竟会被证明有多稳健、可重复。在同行评审和独立复现之前，应将确切的世代数、基因组保留比例和分裂产率视为暂定结果。恰当的置信度分布是：对于已展示的细胞周期操作整合，置信度较高；对于精确的性能估计，置信度较低；而关于生命、自给自足或自发进化的主张则超出范围。

面向公众的叙事增加了什么——为什么这很重要

这里有趣的差距不在于论文与现实之间，而在于**论文**与围绕它打造的**传播包装**之间。稿件本身谨慎地处理了这条边界；当结果被压缩成“活细胞”“自给自足的细胞”或“从零开始的生命”时，过度宣称的风险才会出现。纠正这些标题式的过度解读，不同于因为论文没有提出的主张而降低对论文的评价。

稿件自己的措辞是克制的。它将这项工作称为迈向生命所需最小组成部分的一步、未来系统的可能“底盘”、以及“完全人工生物的基础”——并用最终和可能等词对宏大应用加以限定。明尼苏达大学的新闻稿则以“世界上第一个拥有完整生命周期的合成细胞”开篇，称其“可能彻底改变”生物学，描述该细胞由非生命成分构建，并列出医学、材料和工业领域的应用。限定语确实存在——但它们出现在突破性叙事之后，此时已经无法再起到刹车作用。

这一切并不需要假设存在恶意。在同行评审之前分享结果，可以是合理、甚至慷慨的选择：它能让其他实验室更早审视方法并尝试复现，这正是作者给出的理由。高影响力期刊拒稿并不意味着工作薄弱——雄心勃勃、存在撤稿风险的结果确实很难找到合适的发表位置，而担心被抢先发表也是真实存在的压力。这些压力具有人性，也可以理解。

但恰恰因为传播声量如此之大，而且是在同行评审之前到来，对精确性的责任反而会上升，而不是下降。顺序就是全部关键所在。新闻稿先选择最大化的解读，之后才补充限制。准确的版本则反过来：先说明证据及其状态，之后才谈雄心。证据和状态先于雄心——读者可以把这种习惯带到下一次“突破”中，而不只是这一次。

简明总结

明尼苏达大学团队报告了一种完全定义的合成细胞：一个携带约 90,000 个碱基的基因组和纯化蛋白质制造系统的脂质液滴，它通过与供给液滴融合来获取营养，复制 DNA，生长，并在五代中分裂。他们展示了一个由研究人员引入的有利遗传变化如何通过选择在群体中扩散，也展示了获取营养和分裂都可以由细胞自身的基因驱动。这些部件是组装进完全定义系统的纯化生物成分，而不是从零开始构建的化学物质；细胞无法制造自己的核糖体，也无法运行自己的代谢；常规的五代分裂是机械性的，而基因驱动分裂产率较低且需要外部辅助；有利突变是被引入的，而不是自发产生的；完整基因组的遗传并不完美。这项工作是一篇预印本，尚未经过同行评审。

不说套话检查

论文展示了什么：一种完全定义的合成液滴，能够获取营养（通过基因编码的方式与供给液滴融合）、复制其约 90 kbp 的基因组、生长并在五代中分裂；一项基因驱动分裂的单独演示；以及对一个引入的有利突变的选择，包括资源稀缺条件下的竞争。

在同行评审完成前仍属暂定的内容：确切的世代数、分裂产率和保留完整基因组的细胞比例；完整周期在不同实验室中的稳健性和可重复性。

它没有展示什么：由非生命化学物质构建的细胞；自给自足的生物；自发突变或开放式的达尔文式进

化；基因组的稳健遗传；作为标准机制的细胞驱动分裂；新闻材料中提到的医学、材料或工业应用已经可以投入使用。

主要限制：尚未经过同行评审；没有代谢独立性（核糖体和酶由外部供给）；标题所说的周期使用机械分裂；基因驱动分裂产率较低且需要添加成分；基因组遗传不完美。

普通读者应有多大程度的信心？ 对核心工程学结果可以有相当高的信心：作者在完全定义的合成液滴内部协同运行了细胞周期的操作步骤，尽管这项工作仍在等待同行评审。在同行评审和独立复现之前，对确切的世代数、分裂产率和遗传率应保持中低程度的信心。论文并未声称该系统是有生命的、自给自足的或能够自我进化的；这些是范围边界，而不是低置信度的发现。恰当的态度是：这是利用已知部件构建细胞的一步令人印象深刻的进展，而不是生命的创造。

发布后更新

• 澄清 · 2026-07-23

澄清了信心表述：活细胞、自给自足的细胞和能够自行进化的细胞不在论文主张范围内，并非低可信度结果。对核心工程结果的评估没有改变。

来源

Gaut, Deich, Cash, Hoog, Engelhart & Adamala —‘A Chemically Defined Synthetic Cell Capable Of Growth And Replication’, author-hosted preprint (not peer-reviewed), 2026

<https://biotic.org>

Science —news coverage of the synthetic-cell preprint (2026)

<https://doi.org/10.1126/science.zwa8dvz>

University of Minnesota —press release

<https://twin-cities.umn.edu/news-events/worlds-first-synthetic-cell-complete-life-cycle-could-revolu>