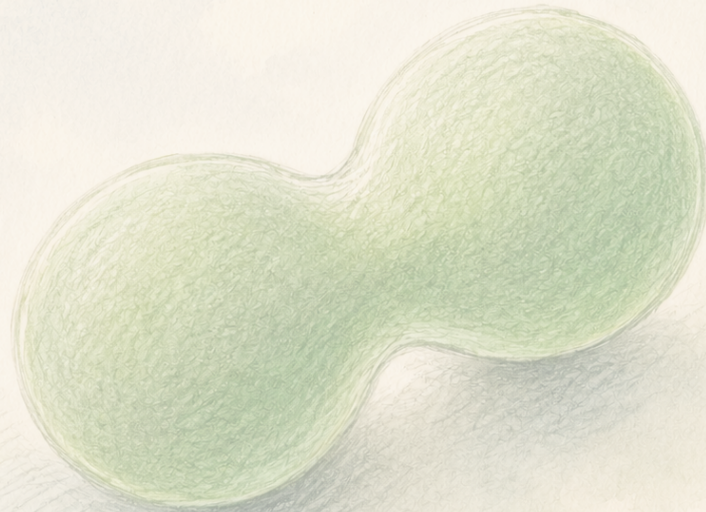




The CLEAN PAPER

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

一種會攝取、生長和分裂的合成細胞——重要進展，但不是從零創造生命

明尼蘇達大學的一個團隊報告了一種攜帶約 90,000 鹼基基因組的脂質液滴，它會攝取物質、複製 DNA、生長，並跨越五代分裂；研究者引入的有利突變透過選擇在群體中擴散。這是利用成分明確、經過純化的部件構建細胞的一項真實進展。但它尚未經過同行評審；不能製造自己的蛋白質合成系統，也不能維持自身代謝；所用部件是純化的生物分子，不是從零組裝的簡單化學物質；而且——用作者自己的話說——這裡的選擇並非自發的達爾文式進化。清晰的說法不是「首個由非生命物質造出的活細胞」。

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Nathaniel J. Gaut, Christopher Deich, Brock Cash, Tanner Hoog, Aaron E. Engelhart, Katarzyna P. Adamala, Preprint (not peer-reviewed) —University of Minnesota

「第一個合成細胞」的故事：剝去包裝，回到液滴本身

新聞標題極其宏大：全球第一個擁有完整生命週期的合成細胞、由非生命物質建造的生命、堪比生物學「人造衛星時刻」的突破。但標題底下的論文更低調，老實說也比那些口號有趣得多。明尼蘇達大學的一支團隊報告了一種微小的脂質液滴——也就是構成細胞膜的那類油脂泡泡——它攜帶一組遺傳指令，能與較小的供應液滴融合以取得養分、複製那些指令、成長，並分裂成子液滴，持續好幾輪。在一項實驗中，指令裡一個有利的變化會在族群中擴散，因為攜帶它的液滴繁殖得更快。

這在一個具體而確切的意義上確實是進展：從底層開始，用已知零件建造類細胞系統，並讓細胞週期的基本動作在同一個地方協同運作。但這仍是一篇尚未經過同儕審查的預印本，而且——用作者自己的話說——它不是自給自足的生物，也不是自發的達爾文演化。準確的說法不是「生命從零開始被創造出來」，而是：研究人員首次在完全定義的合成液滴內，使用純化的生物零件，運行了完整的細胞週期程序。

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

這是一條證據鏈，不是一個英雄細胞。最上排是論文展示的內容：一個完全定義的液滴，能取得養分、複製基因組、成長並跨越五代分裂，而一個被引入的有利變化也會透過選擇擴散。中排是它仍需要外部提供的內容：純化的核糖體與酶、供應液滴，以及——對基因驅動的分裂而言——手動添加的額外成分。最下排是界線：這是完全定義的合成系統中重新構成的細胞週期行為，不是自主的活細胞，也不是自發演化。

Original diagram — The Clean Paper CC BY 4.0

作者做了什麼

先看容器。這個合成細胞是一個**脂質體**——由與包圍真實細胞相同類型的脂肪薄膜包裹而成的液滴。團隊在其中放入兩樣東西：一組遺傳指令，以及一套用來讀取指令和製造蛋白質的微型工具組。

這些指令是一個約有 **90,000 個 DNA 字母** 的基因組（90 kbp），分成七個小環（質體）。製造蛋白質的工具組並非憑空發明，而是由取自生物體、經純化且能運作的零件組成的明確混合物——核糖體、酶，以及其餘蛋白質合成機器——各成分都按已知量組成。（在這個領域，這種重新構成且成分完全明確的混合物稱為 **PURE**。「化學定義」在這裡是指每種成分都已知且經過量測，不是指它由簡單化學物質建造而成。）

有了這個液滴，作者展示了它能運行細胞週期的基本步驟。他們做了四件相互連結的事。

首先，他們讓它**自行取得養分**。液滴藉由與較小的供應液滴（「供養」脂質體）融合，吸收新鮮材料。促使它們融合的訊號，是細胞利用自身基因組製造的膜蛋白——所以取得養分由細胞自身的基因啟動，而不是每一輪由人手添加。

其次，他們讓它**複製 DNA**，使用由基因組編碼、取自病毒的複製酶（Phi29）。

第三，他們讓它**成長並分裂**——而且用兩種不同方式進行分裂，這一點後來證明相當重要（見下文）。

第四，他們展示了**選擇**。他們在基因組中引入一個變化，使細胞能更快取得養分並成長，並展示這些較快的細胞比其他細胞繁殖出更多後代，進而接管族群，尤其是在食物稀少時。

他們發現了什麼

完整週期協同運行。在五個「世代」中，液滴反覆以一套程序取得養分、複製 DNA、成長並分裂，而不是各自獨立的一次性展示。讓這些步驟在同一個定義明確的系統中運作，並與細胞自身的基因表現連結，是這篇論文的核心結果。

取得養分和分裂可以由基因驅動。細胞能製造驅動自身取得養分的蛋白質；在另一項產率較低、仍需要手動添加額外成分的展示中，它也能製造驅動自身分裂的蛋白質。這是朝向一個依靠自身指令、而非實驗人員操作來運行的系統邁出的一步。

有利變化透過選擇擴散。一個帶有更強取得養分蛋白「開關」的變體（也就是活性更高的啟動子）成長得更快、留下更多後代，並在資源稀缺時勝過原始型。這是在合成系統內，從遺傳變化連結到繁殖成功的真實例子。

遺傳並不完美。五代之後，經分析的細胞中只有少數仍攜帶全部七個 DNA 環的完整集合。要把基因組完整地分配給子液滴，目前還不可靠。

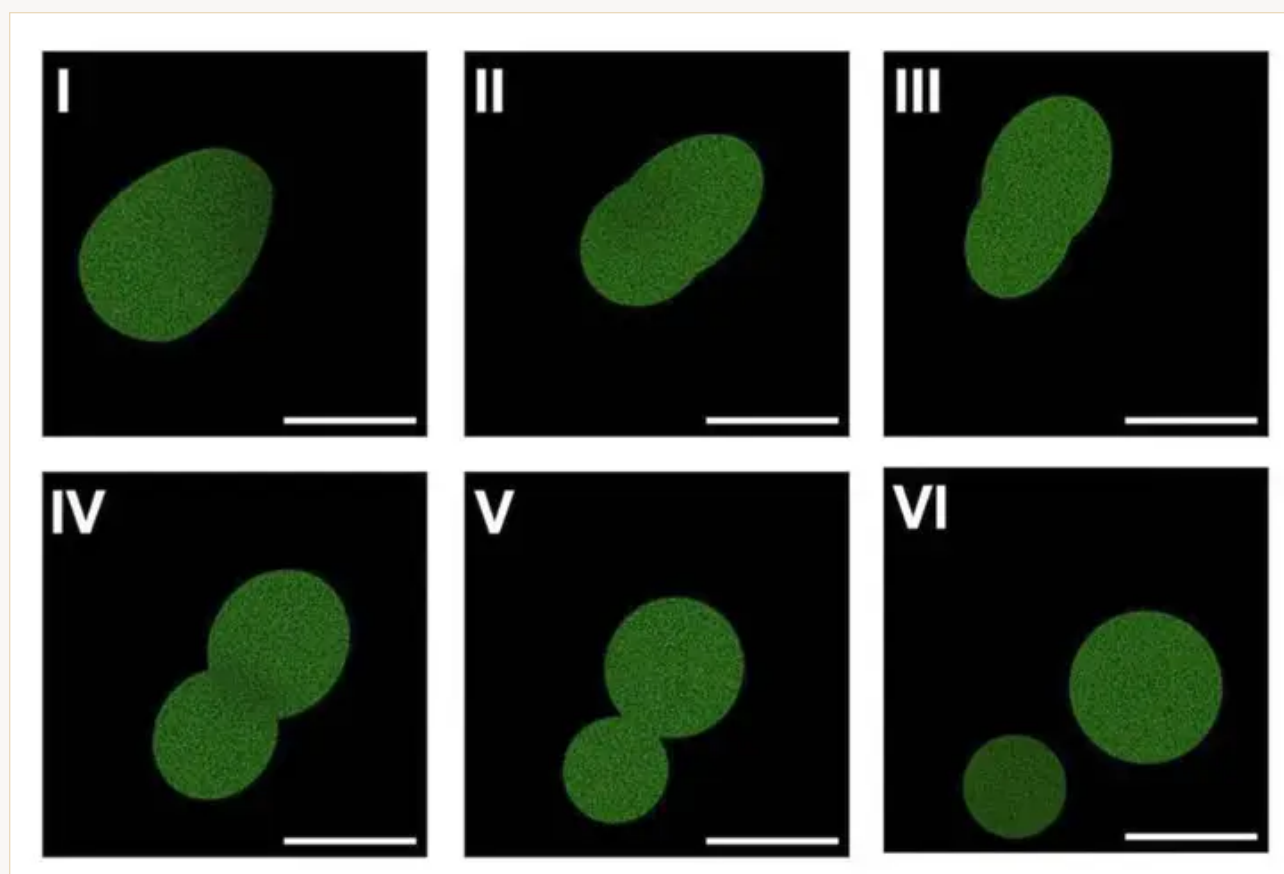
哪些能自行運行——哪些不能

新聞標題中分量最重的詞是完整。在論文裡，「完整細胞週期」是指操作上的步驟——取得養分、複製、成長、分裂——被重新構成並共同測量。這不表示細胞自給自足。有兩項限制很重要，而且作者都明確說明了。

第一，細胞**無法製造自己的蛋白質製造機器**。核糖體和大多數酶都是預先純化後供應進來的，而不是由細胞製造。在作者的描述中，這個系統的代謝能力非常有限，也無法製造核糖體；真正的代謝獨立性需要大得多的基因組。因此，這個液滴能運行細胞週期，卻不能從零開始運行自身的生化作用。

第二，常規分裂是**機械式的**。在五代實驗中，液滴被推過細孔濾膜而分開——之所以選用這種方法，是因為它能可靠地產生子液滴。更像細胞的基因驅動分裂（由細胞製造的蛋白質驅動分裂）則另行展示，需要從外部加入額外成分（橋接系統：鏈黴親和素和連接子），而且產率較低。作者明確表示，更穩健、產率更高且可控制的分裂仍需繼續研究——可能需要一個細胞目前尚未具備的合成內部骨架。

這就是圖中將兩種分裂分開呈現的原因：五代循環的主要成果使用機械分裂；基因驅動分裂則是有希望但脆弱的附加成果。



來自作者託管的預印本的螢光顯微鏡序列，展示合成細胞在基因驅動分裂展示中伸長，並分離成兩個液滴。這張影像以降低解析度的形式依合理使用原則重製，用於評論分裂結果；文章上方的主要證據鏈圖則將這項展示與五代測試中使用的機械分裂分開呈現。

選擇，而非自發演化

選擇的結果很清楚，也值得精確地說明。一個有利變化——更強的取得養分「開關」——讓細胞成長得更快，因此留下更多後代，於是這個變化擴散開來。這是真實作用於可遺傳差異的選擇。

但這個變化並不是自行產生的，而是作者把它放進去的。用他們自己的話說，這個有利突變並非自發出現在族群中，而是人工引入，這與自然的達爾文演化不同；讓突變自行產生被列為未來工作。因此：選擇與資源競爭，確實有。開放式、自發的演化，還沒有。

這項研究沒有證明什麼

- 它**沒有**展示由非生命化學物質創造出的細胞。這些零件是純化的生物成分——來自活生物的核糖體和酶，以及病毒複製酶——組裝成一個定義明確的液滴。「化學定義」是指成分完全明確，而不是從零合成；論文自己的 Figure 1 將這些細胞描述為由逐一純化的天然成分組裝而成。
- 它**沒有**展示自給自足的生物。細胞無法製造自己的核糖體或運行自身代謝；它依賴外部供應的機器，以及供養液滴。
- 它**沒有**展示自發演化。有利突變是研究人員引入的，不是系統自行產生的。
- 它**沒有**展示穩健的遺傳。五代之後，只有少數細胞保留完整基因組。
- 它**沒有**展示以細胞驅動的分裂作為標準機制。反覆進行的五代週期依賴機械分裂；基因驅動分裂的產率較低，且需要外部協助。
- 它**不是**經過同儕審查的研究。這是一篇預印本；根據 Science 的報導，它曾被 Cell 拒稿，據稱目前正在其他地方進行同儕審查。具體數字應視為暫定結果。

證據有多強？

就核心工程主張而言，證據直接且充分。作者報告，在一個定義明確的合成液滴內，細胞週期的操作步驟共同運行，與系統自身的基因表現連結，並跨越數個週期重複進行。這項主張有清楚界線、可以驗證，也有量化展示支持，儘管研究仍是預印本。

系統缺乏代謝獨立性和自發演化，不應被視為失敗或低可信度的主張。作者並沒有聲稱具備這些能力：他們明確將其描述為缺失的能力，或是未來工作的目標。這些是「完整細胞週期」在此處所代表意義的重要界線，而不是反駁實際報告結果的證據。

因此，主要不確定性並不是研究是否創造了自主生命，而是所報告的工程性能究竟會有多穩健、可重現。在經過同儕審查和獨立重現之前，應將確切的世代數、基因組保留比例和分裂產率視為暫定結果。適當的信心分布是：對已展示的細胞週期操作整合有較高信心；對精確的性能估計信心較低；至於生命、自給自足或自發演化的主張，則超出研究範圍。

面向公眾的故事增加了什麼——為什麼這很重要

這裡有趣的落差，不是論文與現實之間的落差，而是論文與圍繞論文打造的整套說法之間的落差。手稿本身對這條界線很謹慎；當成果被壓縮成「活細胞」、「自給自足的細胞」或「從零開始的生命」時，過度宣稱的風險才會出現。糾正這些標題式的過度解讀，和因為論文沒有提出的主張而貶低它，是兩件不同的事。

手稿自己的措辭是克制的。它把這項工作稱為朝向生命所需最小成分邁進的一步、未來系統可能使用的「底盤」，以及「完全人工生物的基礎」——對重大應用也用最終和可能等詞保留餘地。明尼蘇達大學的新聞稿則以「全球第一個擁有完整生命週期的合成細胞」以及「可能徹底改變」生物學為主軸，描述這個細胞由非生命成分建造，並列出醫學、材料和工業方面的應用。限制確實存在——但它們在突破性框架之後才出現，這時已無法再發揮煞車作用。

這一切不需要假設有人心存惡意。在同儕審查前分享結果，可以是正當、甚至慷慨的選擇：它讓其他實驗室能更早檢視方法並嘗試重現，這也是作者給出的理由。高知名度期刊拒稿並不代表研究薄弱——雄心勃勃、可能面臨撤稿風險的成果確實很難找到合適的期刊，而害怕被搶先發表也是真實存在的壓力。這些壓力很人性，也可以理解。

但正因為溝通聲量如此之大，而且發生在同儕審查之前，精確表述的責任應該提高，而不是降低。順序就是重點。新聞稿先選擇最大化的解讀，之後才補上限制。清楚的說法則相反：先陳述證據及其狀態，之後才談雄心。這種「先證據與狀態，後談雄心」的習慣，是讀者可以帶到下一個「突破」上的方法，不只適用於這一篇。

重點摘要

明尼蘇達大學團隊報告了一個完全定義的合成細胞：一個攜帶約 90,000 個鹼基的基因組和純化蛋白質製造系統的脂質液滴；它能與供應液滴融合以取得養分、複製 DNA、成長，並跨越五代分裂。他們展示了一個由研究人員引入的有利遺傳變化，會透過選擇在族群中擴散，也展示取得養分和分裂都能由細胞自身的基因驅動。這些零件是組裝成定義明確系統的純化生物成分，而不是從零開始建造的化學物質；細胞無法製造自己的核糖體或運行自身代謝；例行的五代分裂是機械式的，而基因驅動分裂產率較低且需要外部協助；有利突變是被引入的，而非自發產生；完整基因組的遺傳並不完美。這項工作是一篇預印本，尚未經過同儕審查。

務實檢視

論文展示了什麼：一個定義明確的合成液滴，能取得養分（透過由基因編碼的融合機制與供應液滴融合）、複製約 90 kbp 的基因組、成長並跨越五代分裂；另有基因驅動分裂的獨立展示，以及對被引入有利突變的選擇，包括資源稀缺時的競爭。

在同儕審查前仍屬暫定的內容：確切的世代數、分裂產率，以及保留完整基因組的細胞比例；完整週期跨實驗室的穩健性與可重現性。

它沒有展示什麼：由非生命化學物質建造的細胞；自給自足的生物；自發突變或開放式達爾文演化；基因組的穩健遺傳；以細胞驅動的分裂作為標準機制；新聞材料所提及的醫學、材料或工業應用已經準備就緒。

主要限制：尚未經過同儕審查；沒有代謝獨立性（核糖體和酶由外部供應）；標題中的週期使用機械分裂；基因驅動分裂產率較低且需要添加成分；基因組遺傳不完美。

一般讀者應有多大信心？對核心工程結果可以有相當高的信心：作者在定義明確的合成液滴內共同運行了細胞週期的操作步驟，但這項工作仍等待同儕審查。對確切的世代數、分裂產率和遺傳率，在同儕審查與獨立重現之前，信心應為中低程度。論文並未聲稱該系統是活的、自給自足的或能自我演化；這些是範圍界線，不是低信心的發現。適當的立場是：這是用已知零件建造細胞的一項令人印象深刻的進展，而不是創造了生命。

發布後更新

- 釐清 · 2026-07-23

澄清了信心表述：活細胞、自給自足的細胞和能夠自行進化的細胞不在論文主張範圍內，並非低可信度結果。對核心工程結果的評估沒有改變。

來源

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>