



The CLEAN PAPER

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

新墨西哥州的化石記錄讓恐龍的最後一章更複雜

一項 *Science* 研究把新墨西哥州納阿紹伊比托段的年代重新確定在小行星撞擊前最後幾十萬年。這很重要，因為白堊紀末最好的恐龍證據大多來自更北方。新的南方記錄表明，北美洲西部臨近末日時仍存在地區各異的恐龍動物群，而不是一個統一、逐漸衰落的群落。它沒有證明世界各地的每個恐龍生態系統直到撞擊前都在繁盛，而是說明地區性化石記錄為何會讓全球故事顯得過於平滑。

Written by Cinzia Vaglio · Cross-checked by Lucio Vaglio and Vera Rubin · Edited by Michele Renda · Figures by Lucio Vaglio · AI-assisted, human-reviewed

Paper: *Late-surviving New Mexican dinosaurs illuminate high end-Cretaceous diversity and provinciality*, Andrew G. Flynn, Stephen L. Brusatte, Alfio Alessandro Chiarenza, Jorge García-Giron, Adam J. Davis, C. Will Fenley IV, Caitlin E. Leslie, Ross Secord, Sarah Shelley, Anne Weil, Matthew T. Heizler, Thomas E. Williamson, and Daniel J. Peppe, *Science* 390, 400-404 (2025) · DOI: [10.1126/science.adw3282](https://doi.org/10.1126/science.adw3282)

末日臨近時來自南方的見證

關於最後一批恐龍的故事，常常借助北部大平原的記錄來講述：蒙大拿、達科他地區、地獄溪的世界。那裡的化石記錄足夠好，因而變得耳熟能詳；而熟悉很容易冒充完整。化石分布並不均勻，因為歷史沒有好心到替我們整理歸檔。

一篇新的 *Science* 論文帶來了來自南方的見證。作者研究了新墨西哥州聖胡安盆地的納阿紹伊比托段 (Naashoibito Member)，這是一個含化石的岩層單元，其年代已經爭論了幾十年。如果這些化石更古老，它們就無法為小行星撞擊前的最後時刻提供多少資訊；如果它們屬於白堊紀最晚期，意義就會大不相同。

論文給出的答案是後者。團隊利用新的地質年代學和磁性地層學，論證納阿紹伊比托段主要含恐龍層位距白堊紀—古近紀界線約 **340,000 年以內**。這使新墨西哥州的恐龍記錄足夠接近末日，可以參與回答那個老問題：恐龍是否早已陷入長期衰退，還是撞擊發生時許多生態系統仍保有地區多樣性？

謹慎的答案不是「恐龍全都過得很好，然後砰的一聲」。這句話節奏不錯，分寸卻很差。更好的答案範圍更窄，也更有用：在北美洲西部，一份年代測定可靠的南方記錄支持這樣一幅圖景——晚期恐龍動物群仍存在地區差異，並不是同一個低多樣性群落在各地同時衰落。

這樣就夠了，不需要再給它戴一頂更響亮的帽子。



新墨西哥州比斯蒂/德納津荒野，是聖胡安盆地更廣大區域內的一片惡地地貌。影像僅供背景參考，並非 *Science* 論文的證據：研究論證依賴的是經過年代測定的含化石地層，而不是風景。

這裡的「距界線約 340,000 年以內」是什麼意思？

小行星撞擊與白堊紀—古近紀界線的年代約為距今 **66.052 百萬年**。問題在於含化石岩層相對於這條界線處在什麼位置。

作者並沒有直接測定恐龍骨骼的年代，然後就宣佈問題解決。他們使用⁴⁰Ar/³⁹Ar 地質年代學，測定納阿紹伊比托剖面砂岩中的火山礦物顆粒，尤其是透長石，並將這些年代與**磁性地層學**結合：即保存在岩石中的地球磁場反轉記錄。

簡而言之：一個樣本給出的最大沉積年齡為 **66.87 ± 0.04 百萬年**，另一個含恐龍樣本為 **66.38 ± 0.08 百萬年**；磁性模式則把剖面上部置於白堊紀最後一個反極性時段。綜合這些限制，主要含恐龍層位非常接近界線。這是一座地質時鐘，不是秒錶，但已經近到足以改變爭論。

作者做了什麼

團隊結合了兩類彼此不可或缺的工作。第一，他們收緊了納阿紹伊比托段的年代範圍。該單元位於較老的坎潘階岩層之上、古新世早期岩層之下，但其確切年代一直存在爭議：一些早期解釋認為它形成於距今約 70–69 百萬年，另一些主張它屬於白堊紀最晚期，還有少數說法甚至把部分記錄推到了古新世。作者測量地層剖面，在含恐龍地點取樣，以⁴⁰Ar/³⁹Ar 方法測定碎屑透長石顆粒的年代，並把剖面與已知磁極性時段對應起來。

第二，他們考察這套動物群在整體背景下呈現怎樣的面貌。他們匯集了北美洲西部坎潘期、馬斯特里赫特期和古新世早期陸生及淡水脊椎動物的出現記錄，再使用生態學和生物地理學方法，檢驗動物群具有地區性還是趨於統一。關鍵詞是**分區性**：不同地區是否擁有不同群落，而不是各地都生活著同樣的動物。

這很重要，因為關於恐龍晚期歷史的一種說法認為，北美洲西部在馬斯特里赫特期變得更加同質，地區差異減少，動物群分布更廣。一個更統一、多樣性更低的系統，很容易被想像成在小行星撞擊前已經脆弱不堪。一個具有地區結構的系統講述的則是另一個故事。

他們發現了什麼

年代測定是論證的樞紐。兩個含恐龍的納阿紹伊比托樣本都提供了馬斯特里赫特期晚期的限制條件。一個砂岩樣本 H08-Sand-08 給出的最大沉積年齡為 **66.87 ± 0.04 百萬年**。「34 號骨骼地點」的一個樣本含有一具不完整的賴氏龍亞科鴨嘴龍骨架，其最大沉積年齡為 **66.38 ± 0.08 百萬年**。結合磁極性記錄，作者把納阿紹伊比托段主要含恐龍層位置於 K-Pg 界線前約 **340,000 年以內**。

這使聖胡安盆地記錄與更北部、也更為人熟知的地獄溪動物群大致處於同一時代。它還把納阿紹伊比托恐龍與古新世最早期的納西緬托動物群分開約 **700,000 年**；這一點很重要，因為誰都不想誤把非鳥類恐龍放到滅絕界線的另一邊。那不僅會把時間線弄亂，而且是錯誤的。

生態學結果構成另一半。作者分析了白堊紀最晚期的各個時段，發現北美洲西部存在**兩個生物地理分區**的證據。單獨分析恐龍時，在研究所涵蓋的所有白堊紀最晚期時段中，恐龍都分成兩個生物地理分區。論文認為，這些地區差異在小行星撞擊前並沒有簡單坍縮成一個統一的動物群。

驅動因素並不只是地圖上從北到南畫出的一條線。分析指向**溫度**是白堊紀塑造這些生物地理分區的主要因素，地理位置則起次要作用。較溫暖的南部地區可能有利於某些動物，例如蜥腳類；較涼爽的北部地區則可能有利於另一些動物，例如鴨嘴龍亞科。重點不是每個分區都比其他分區更健康，而是白堊紀晚期的地圖仍然具有結構。

這項研究沒有證明什麼

- 它**沒有**證明小行星撞擊前，世界各地的恐龍都繁盛興旺。作者明確指出，這在很大程度上仍是一幅北美洲圖景。
- 它**沒有**抹去某些類群、地區或分析顯示的衰退證據。它反駁的是一種過度平滑的全大陸敘事，而不是滅絕前可能存在壓力的每一種版本。
- 它**沒有**表明小行星並不重要。撞擊仍是界線處的主要事件；這篇論文追問的是，遭到撞擊的究竟是什麼樣的生態系統。
- 它**沒有**把新墨西哥州變成觀察整個地球的完美窗口。它補充的是一個此前缺失的南方資料點，而既有記錄一直由北方地點主導。
- 它**沒有**讓「繁盛直到撞擊發生」成為一個穩妥的標題。那是最寬泛的說法，並不是最準確的研究結果。

證據有多強？

對於納阿紹伊比托段含恐龍層位的年代，正文證據足夠有力，具有實質意義。作者把碎屑透長石顆粒的放射性同位素年齡與磁性地層學結合起來，關鍵年代與白堊紀最晚期解釋相符。論文也直接處理了這些化石究竟早得多、屬於白堊紀最晚期，甚至屬於古新世的舊爭議。

但仍有一個技術性限制。詳細的地質年代學、磁性解釋和資料表收錄在 *Science* 補充材料中。正文給出了必要主張和數字，但在把每項方法細節都視為定論之前，最終發表版本仍應核對補充材料。

對於更寬泛的生態學主張，證據具有提示性和實用價值，卻更加依賴模型。作者使用出現記錄資料集、分群和重抽樣來推斷生物地理分區。這類工具適合回答該問題，但也意味著結果取決於化石採樣、分類學歸屬、時間分組和缺失記錄的處理方式。化石記錄是一套缺了牙齒的資料。

因此，最穩妥的解讀應當拆開來看：新墨西哥州記錄確實是一份重要的白堊紀晚期南方記錄；作者的分析充分支持北美洲西部在末日臨近時仍保有地區動物群結構；但不應由此跳到有關全球恐龍健康狀況的結論。

為什麼重要

關於恐龍衰退的舊爭論，不只關係到恐龍，也關係到一份化石記錄能夠承載多大的解釋重量。

如果白堊紀末最好的記錄來自北部大平原，人們很容易讓這份記錄代表整個大陸，再讓整個大陸代表

全世界。這樣做很有效率，卻也正是地區模式如何不買票就搭電梯變成全球故事。

新墨西哥州的結果讓故事不再那麼平滑。它說：向南看。這裡有一個接近界線的含恐龍岩層單元；這裡的動物群並不只是複製北方動物群；這裡有證據表明，在這場漫長演出的後期，溫度和地區生態仍然重要。

這並不會讓小行星撞擊顯得不那麼災難性。恰恰相反，它讓災難更加鮮明。撞擊到來時，面對的不是一個已經簡化成單一形態的生態系統，而是一組仍有各自結構的地區世界。

論文還有一條更安靜的教訓：可靠的年代測定會改變敘事。一組沒有可靠年代的化石，可以變成一個帶著骨頭的傳聞。把它放到時間軸的正確位置，同一批化石就會成為證據。

清晰摘要

一項 *Science* 研究重新檢視了新墨西哥州的納阿紹伊比托段，這個含恐龍岩層單元的年代長期存在爭議。作者採用碎屑透長石⁴⁰Ar/³⁹Ar 測年和磁性地層學，把主要含恐龍層位限制在白堊紀—古近紀界線前約 340,000 年以內，使其成為北美洲已知最晚期的非鳥類恐龍之一，並與更北方的地獄溪動物群大致同時。隨後，他們利用北美洲西部脊椎動物出現記錄進行生態學和生物地理學分析，論證白堊紀晚期動物群仍保有地區結構：恐龍分成兩個生物地理分區，而溫度似乎是造成這些差異的主要驅動因素。結果反駁了一個低多樣性、全大陸一致的恐龍動物群在小行星撞擊前均勻衰落的觀點。它沒有證明全球恐龍健康，不能解決關於衰退的每一場爭論，也沒有表明所有恐龍直到最後都在繁盛。它表明，一份測年更可靠的南方記錄，讓北美洲最後階段的故事更具地區性、結構性，也不再那麼平滑。

不繞彎核查

論文證明了什麼：新墨西哥州納阿紹伊比托段的含恐龍層位屬於白堊紀最晚期，很可能位於 K-Pg 界線前約 340,000 年以內；北美洲西部的脊椎動物記錄支持末日臨近時仍存在持續的地區生物地理分區。

什麼合理但尚未證明：許多恐龍生態系統在小行星撞擊前仍然穩健；溫度有助於維持南北方不同的動物群世界；過去那種簡單的全大陸衰退敘事過於平滑。

它沒有證明什麼：世界各地的恐龍都在繁盛；沒有任何類群或地區處於衰退；小行星不是主要滅絕誘因；僅憑新墨西哥州就能改寫全球白堊紀末期。

主要限制：地區性化石記錄；依賴模型的分區性分析；化石採樣偏差；詳細地質年代學和出現記錄方法仍需與 *Science* 補充材料進行最終核對。

普通讀者應該有多大信心？可以高度確信，新墨西哥州如今提供了一份重要的白堊紀晚期南方恐龍記錄。可以較有信心地認為，北美洲西部在末日臨近時仍保有地區動物群結構。對於把這一點壓縮成「恐龍在小行星撞擊前到處都過得很好」，應持低信心。真實結果更好：最後一章並不是一個平坦、全大陸一致的故事。

來源

Flynn et al., Late-surviving New Mexican dinosaurs illuminate high end-Cretaceous diversity and provinciality, Science 390, 400-404 (2025)
<https://doi.org/10.1126/science.adw3282>