



The CLEAN PAPER

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

רשומת מאובנים מניו מקסיקו מסבכת את הפרק האחרון של הדינוזאורים

מחקר ב-*Science* מתארך מחדש את *Member Naashoibito* בניו מקסיקו למאות האלפים האחרונות שלפני פגיעת האסטרואיד. זה חשוב משום שרוב הראיות הטובות ביותר לסוף הקרטיקון מגיעות מאזורים צפוניים יותר. הרשומה הדרומית החדשה מרמזת שמערב צפון אמריקה עדיין החזיק *faunas* אזוריות שונות של דינוזאורים סמוך לסוף, ולא קהילה אחידה ודועכת אחת. זה לא מוכיח שכל מערכת אקולוגית של דינוזאורים בעולם שגשגה עד הפגיעה, זה מראה איך רשומת מאובנים אזורית יכולה להפוך סיפור גלובלי לחלק מדי.

Written by Cinzia Vaglio · Cross-checked by Lucio Vaglio and Vera Rubin · Edited by Michele Renda · Figures by Lucio Vaglio and Nova Vela · 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 Garcia-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

עד מדרום, קרוב לסוף

הסיפור על הדינוזאורים האחרונים מסופר לעיתים קרובות דרך המישורים הגדולים הצפוניים: מונטנה, הדקוטות, עולם Creek. Hell הרשומה שם טובה מספיק כדי להיעשות מוכרת, ולמוכרות יש נטייה להעמיד פנים שהיא שלמות. מאובנים אינם מפוזרים באופן אחיד, משום שההיסטוריה לא הייתה אדיבה מספיק כדי לתייק את עצמה עבורנו.

מאמר חדש ב-Science מוסיף עד מדרום. המחברים חקרו את Member Naashoibito באגן Juan San שבניו מקסיקו, יחידת סלע עשירה במאובנים שגילה שנוי במחלוקת כבר עשרות שנים. אילו המאובנים היו עתיקים יותר, הם היו אומרים מעט על הרגעים האחרונים לפני פגיעת האסטרואיד. אילו היו מן הקרטיקון המאוחר ביותר, הם היו חשובים מאוד.

תשובת המאמר היא האפשרות השנייה. באמצעות גאוכרונולוגיה חדשה ומגנטוסטרטיגרפיה, הצוות טוען ששכבות המאובנים העיקריות של הדינוזאורים ב-Member Naashoibito נמצאות בתוך כ-340,000 שנה מגבול הקרטיקון-פלאוגן. זה מציב את הדינוזאורים של ניו מקסיקו קרוב מספיק לסוף כדי לדבר אל השאלה הישנה: האם הדינוזאורים כבר היו בדעיכה ממושכת, או שמערכות אקולוגיות רבות עדיין היו מגוונות אזורית כשהפגיעה הגיעה?

התשובה הזוהרה אינה "לכל הדינוזאורים היה מצוין, ואז בום". למשפט הזה יש קצב טוב ונימוסים רעים. התשובה הטובה יותר צרה ושימושית יותר: במערב צפון אמריקה, רשומה דרומית מתוארכת היטב תומכת בתמונה שבה faunas מאוחרות של דינוזאורים עדיין היו שונות אזורית, ולא קהילה אחת בעלת מגוון נמוך שנחלשה בכל מקום בו-זמנית.

זה מספיק. אין צורך בכובע רועש יותר.



Wilderness Bisti/De-Na-Zin בניו מקסיקו, נוף badlands באזור הרחב של אגן Juan. San התמונה היא הקשר, לא ראייה מן המאמר ב-Science: טיעון המחקר נשען על שכבות נושאות מאובנים שתוארכו, לא על הנוף.

מה פירוש "בתוך 340,000 שנה" כאן?

היא השאלה. זמננו לפני שנה מיליון 66.052- מתוארכים הקרטיקון-פלאוגן וגבול האסטרואיד פגיעת הזה. לקו ביחס המאובנים נושאי הסלעים נמצאים איפה המחברים לא תיארכו עצמות דינוזאור ישירות והכריזו שהעניין נסגר. הם תיארכו גרגרי מינרלים געשיים, במיוחד sanidine מאבני חול בחתך Naashoibito באמצעות גאוכרונולוגיית $^{93}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$, ושילבו את התאריכים עם מגנטוסטריגרפיה: הרשומה של היפוכי השדה המגנטי של כדור הארץ שנשמרת בסלעים. הגרסה הקצרה: דגימה אחת נותנת גיל הפקדה מרבי של 66.87 ± 0.04 מיליון שנה, דגימה נוספת הנושאת דינוזאורים נותנת 66.38 ± 0.08 מיליון שנה, ודפוס המגנטיות מציב את החלק העליון של החתך בתוך פרק הקוטביות ההפוכה האחרון של הקרטיקון. יחד, האילוצים האלה מציבים את שכבות הדינוזאורים העיקריות קרוב מאוד לגבול. זה שעון גאולוגי, לא סטופר, אבל מספיק קרוב כדי לשנות את הוויכוח.

מה עשו המחברים

הצוות שילב שני סוגי עבודה שזקוקים זה לזה. ראשית, הם צמצמו את אי-הוודאות בגיל של Naashoibito Member. היחידה יושבת מעל סלעים קמפניים עתיקים יותר ומתחת לסלעים פלאוקניים מוקדמים, אבל הגיל המדויק שלה היה שנוי במחלוקת: פרשנויות מוקדמות יותר הציבו אותה סביב 70–69 מיליון שנה לפני זמננו, אחרות טענו לגיל קרטיקון מאוחר ביותר, וכמה טענות אפילו דחפו חלק מן הרשומה לתוך הפלאוקן. המחברים מדדו חתכים, דגמו אתרים נושאי דינוזאורים, תיארכו גרגרי sanidine דטרטיליים בשיטות $^{93}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ וקישרו את החתך לפרקי קוטביות מגנטית ידועים.

שנית, הם שאלו איך נראתה ה-fauna בהקשר. הם אספו נתוני הופעה של בעלי חוליות יבשתיים ומימיים במערב צפון אמריקה לאורך הקמפניאן, המאסטרטיכטיאן והפלאוקן המוקדם, ואז השתמשו בשיטות אקולוגיות וביוגאוגרפיות כדי לבדוק אם faunas היו אזוריות או אחידות. מילת המפתח היא provinciality: האם אזורים שונים החזיקו קהילות שונות, במקום אותם בעלי חיים בכל מקום.

זה חשוב משום שגרסה אחת של היסטוריית הדינוזאורים המאוחרת טוענת שמערב צפון אמריקה נעשתה הומוגנית יותר במאסטרטיכטיאן, עם פחות הבדלים אזוריים ו-fauna-קוסמופוליטית יותר. מערכת אחידה יותר ובעלת מגוון נמוך יותר קלה לדמיין כפגיעה עוד לפני האסטרואיד. מערכת בעלת מבנה אזורי מספרת סיפור אחר.

מה הם מצאו

התיארוך הוא הציר. שתי דגימות Naashoibito נושאות דינוזאורים נותנות אילוצים של מאסטרטיכטיאן מאוחר. דגימת אבן חול אחת, H08-Sand-08, נתנה גיל הפקדה מרבי של 66.87 ± 0.04 מיליון שנה. דגימה מאתר "34-Bone Site", שמכיל שלד חלקי של hadrosaur, lambeosaurine נתנה גיל הפקדה מרבי של 66.38 ± 0.08 מיליון שנה. בשילוב רשומת הקוטביות המגנטית, המחברים מציבים את שכבות הדינוזאורים העיקריות של Naashoibito בתוך כ-340,000 שנה מגבול K-Pg.

זה הופך את רשומת אגן Juan San לבת-זמן באופן רחב עם faunas המוכרות יותר של Creek Hell צפונה. הוא גם מפריד את דינוזאורי Naashoibito מן ה-fauna המוקדמת של Nacimiento בפלאוקן בכ-700,000 שנה, דבר חשוב משום שאף אחד לא רוצה לשים בטעות דינוזאורים לא-עופיים בצד הלא נכון של גבול ההכחדה. זה יהיה לא מסודר,

וגם שגוי.

התוצאה האקולוגית היא החצי השני. לאורך פרקי הקרטיקון המאוחר ביותר שניתחו, המחברים מצאו ראיות ל-**שתי** bioprovinces במערב צפון אמריקה. דינוזאורים, כאשר נותחו לבדם, נפרדו לשתי bioprovinces בכל פרקי הזמן המאוחרים ביותר של הקרטיקון במחקר. המאמר טוען שההבדלים האזוריים האלה לא פשוט קרסו ל-fauna אחידה אחת לפני פגיעת האסטרואיד.

הגורם לא היה רק קו מצפון לדרום. הניתוחים מצביעים על **טמפרטורה** כגורם המרכזי שעיצב את ה-bioprovinces בקרטיקון, כאשר לגאוגרפיה היה תפקיד משני. אזורים דרומיים חמים יותר אולי העדיפו בעלי חיים מסוימים, כמו sauropods, בעוד שאזורים צפוניים קרירים יותר העדיפו אחרים, כמו hadrosaurines. הנקודה אינה שכל מחוז היה "בריא" יותר מכל אחר. הנקודה היא שלמפת הקרטיקון המאוחר עדיין היה מבנה.

מה זה לא מוכיח

- הוא לא מוכיח שדינוזאורים בכל מקום בעולם שגשגו עד לפגיעת האסטרואיד. המחברים מפורשים שזו עדיין בעיקר תמונה צפון-אמריקאית.
- הוא לא מוחק ראיות לדעיכה בקבוצות, אזורים או ניתוחים מסוימים. הוא מתנגד לסיפור חלקי מדי של דעיכה אחידה בכל היבשת, לא לכל גרסה אפשרית של לחץ לפני ההכחדה.
- הוא לא מראה שהאסטרואיד לא היה חשוב. הפגיעה נשאת האירוע המרכזי בגבול; המאמר שואל איזה סוג מערכות אקולוגיות נפגע.
- הוא לא הופך את ניו מקסיקו לחלון מושלם על כל העולם. הוא מוסיף נקודת נתון דרומית שהייתה חסרה ברשומה שנשלטת בידי אתרים צפוניים.
- הוא לא הופך את "שגשגו עד הפגיעה" לכותרת בטוחה. זו הטענה הרחבה ביותר, לא התוצאה הנקייה ביותר.

עד כמה הראיות חזקות?

לגבי גיל שכבות הדינוזאורים של Naashoibito, הראיות בטקסט הראשי חזקות מספיק כדי להיות משמעותיות. המחברים משלבים תאריכים רדיואיזוטופיים מגרגרי sanidine דטרטיליים עם מגנטוסטרטיגרפיה, והתאריכים המרכזיים מתיישרים עם פרשנות של הקרטיקון המאוחר ביותר. המאמר גם מתמודד ישירות עם הוויכוח הישן על השאלה אם המאובנים האלה עתיקים בהרבה, מן הקרטיקון המאוחר ביותר או אפילו מן הפלאוקן.

עדיין יש הסתייגות טכנית. פרטי הגאוכרונולוגיה, הפרשנות המגנטית וטבלאות הנתונים נמצאים בחומרים המשלימים של Science. המאמר הראשי נותן את הטענות והמספרים הדרושים, אבל מעבר פרסום סופי צריך לבדוק את הסופלמנט לפני שכל פרט מתודולוגי נחשב סגור.

לגבי הטענה האקולוגית הרחבה יותר, הראיות מרמזות ושימושיות, אבל תלויות יותר במודל. המחברים משתמשים במאגרי הופעות, resampling-1 clustering כדי להסיק bioprovinces. אלה כלים מתאימים לשאלה, אבל פירוש הדבר שהתוצאה תלויה בדגימת המאובנים, בשיוכים טקסונומיים, בחלוקת הזמן ובאופן שבו מטפלים בהיעדרויות. רשומת המאובנים היא נתונים עם שינויים חסרות.

לכן הקריאה הבטוחה ביותר מפוצלת: הרשומה מניו מקסיקו היא רשומה דרומית אמיתית וחשובה מן הקרטיקון המאוחר; המסקנה שמערב צפון אמריקה שמר על מבנה faunal אזורי סמוך לסוף נתמכת היטב בניתוחי המחברים; ויש להתנגד לקפיצה משם לבריאות הגלובלית של הדינוזאורים.

למה זה חשוב

הוויכוח הישן על דעיכת הדינוזאורים אינו רק על דינוזאורים. הוא על כמה משקל רשומת מאובנים אחת יכולה לשאת. אם הרשומה הטובה ביותר מסוף הקרטיקון מגיעה מן המישורים הגדולים הצפוניים, מפתה לתת לה לייצג את היבשת, ואז לתת ליבשת לייצג את העולם. זה יעיל. זו גם הדרך שבה דפוס אזורי הופך לסיפור גלובלי – עולה במעלית בלי כרטיס.

התוצאה מניו מקסיקו הופכת את הסיפור לפחות חלק. היא אומרת: הביטו דרומה. הנה יחידה נושאת דינוזאורים קרוב לגבול. הנה faunas שאינן פשוט משכפלות את הצפוניות. הנה ראייה שטמפרטורה ואקולוגיה אזורית עדיין היו חשובות בשלב המאוחר של המשחק.

זה לא הופך את האסטרואיד לפחות קטסטרופלי. אם כבר, זה מחדד את האסון. הפגיעה לא הגיעה בסוף מערכת אקולוגית אחת ופשוטה. היא פגעה באוסף של עולמות אזוריים שעדיין היו בעלי סידורים משלהם.

יש גם לקח שקט יותר. תיארוך טוב משנה נרטיב. אוסף מאובנים בלי גיל בטוח יכול להפוך לשמועה עם עצמות. שמים אותו במקום הנכון על השעון, ואותם מאובנים נעשים ראייה.

בקצרה

מחקר ב-Science בוחן מחדש את Member Naashoibito בניו מקסיקו, יחידה נושאת דינוזאורים שגילה היה שני במחלוקת זמן רב. באמצעות תיארוך $Ar^{93}Ar^{04}$ של sanidine דטרטלי ומגנטוסטרטיגרפיה, המחברים מצמצמים את גיל שכבות הדינוזאורים העיקריות לכ-340,000 שנה מגבול הקרטיקון-פלאוגן, מה שהופך אותן לחלק מן הדינוזאורים הלא-עופיים האחרונים הידועים בצפון אמריקה ובני-זמן באופן רחב עם faunas של Creek Hell צפונה. לאחר מכן הם משתמשים בניתוחים אקולוגיים וביוגאוגרפיים של הופעות בעלי חוליות במערב צפון אמריקה כדי לטעון ש-faunas של הקרטיקון המאוחר שמרו על מבנה אזורי: הדינוזאורים נפרדו לשתי bioprovinces, ונראה שטמפרטורה הייתה גורם מרכזי בהבדלים. התוצאה דוחפת נגד הרעיון של fauna אחת, בעלת מגוון נמוך, בכל היבשת, שנחלשה באופן אחיד לפני פגיעת האסטרואיד. היא לא מוכיחה בריאות גלובלית של דינוזאורים, לא פותרת כל ויכוח על דעיכה ולא מראה שכל הדינוזאורים שגשגו עד הסוף. היא מראה שרשומה דרומית מתוארכת טוב יותר הופכת את הסיפור הצפון-אמריקאי האחרון לאזורי יותר, מובנה יותר ופחות חלק.

בדיקה מפוכחת

מה המאמר מראה: שכבות נושאות הדינוזאורים של Member Naashoibito בניו מקסיקו הן מן הקרטיקון המאוחר ביותר, כנראה בתוך כ-340,000 שנה מגבול K-Pg, ורשומת בעלי החוליות במערב צפון אמריקה תומכת ב-bioprovinces אזוריות מתמשכות סמוך לסוף.

מה סביר אך לא הוכח: שמערכות אקולוגיות רבות של דינוזאורים עדיין היו יציבות יחסית ממש לפני פגיעת האסטרואיד; שטמפרטורה עזרה לשמר עולמות faunal צפוניים ודרומיים שונים; שהרעיון הישן של דעיכה פשוטה בכל היבשת חלק מדי.

מה הוא לא מראה: שדינוזאורים בכל מקום שגשגו; שאף קבוצה או אזור לא היו בדעיכה; שהאסטרואיד לא היה

טריגר ההכחדה המרכזי; שניו מקסיקו לבדה משכתבת את סוף הקרטיקון הגלובלי.

המגבלות העיקריות: רשומת מאובנים אזורית; ניתוח provinciality תלוי-מודל; הטיות דגימת מאובנים; פרטי הגאוכרונולוגיה ושיטות ההופעות עדיין דורשים בדיקה סופית מול החומרים המשלימים של Science.

כמה ביטחון צריך להיות לקורא כללי? גבוה בכך שניו מקסיקו מספקת כעת רשומה דרומית חשובה מסוף הקרטיקון. טוב בכך שמערב צפון אמריקה שמר על מבנה faunal אזורי סמוך לסוף. נמוך בכך שאפשר לדחוס זאת ל"לכל הדינוזאורים היה מצוין עד האסטרואיד". התוצאה האמיתית טובה יותר: הפרק האחרון לא היה סיפור שטוח ואחיד של יבשת שלמה.

מקורות

Science provinciality, and diversity end-Cretaceous high illuminate dinosaurs Mexican New Late-surviving al., et Flynn
(2025) 400-404, 390

<https://doi.org/10.1126/science.adw3282>