



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

Ένα απολιθωματικό αρχείο από το Νέο Μεξικό περιπλέκει το τελευταίο κεφάλαιο των δεινοσαύρων

Μια μελέτη στο Science επαναχρονολογεί το Naashoibito Member στο Νέο Μεξικό στις τελευταίες λίγες εκατοντάδες χιλιάδες χρόνια πριν από την πρόσκρουση του αστεροειδούς. Αυτό έχει σημασία επειδή μεγάλο μέρος των καλύτερων στοιχείων για τους δεινοσαύρους στο τέλος της Κρητιδικής προέρχεται από βορειότερες περιοχές. Το νέο νότιο αρχείο υποδηλώνει ότι η δυτική Βόρεια Αμερική διατηρούσε ακόμη περιφερειακά διακριτές πανίδες δεινοσαύρων κοντά στο τέλος, αντί για μία ομοιόμορφη κοινότητα που έφθινε παντού. Δεν αποδεικνύει ότι κάθε οικοσύστημα δεινοσαύρων παγκοσμίως ευημερούσε μέχρι την πρόσκρουση· δείχνει γιατί ένα περιφερειακό απολιθωματικό αρχείο μπορεί να κάνει μια παγκόσμια ιστορία υπερβολικά ομαλή.

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 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

Ένας νότιος μάρτυρας κοντά στο τέλος

Η ιστορία των τελευταίων δεινοσαύρων αφηγείται συχνά μέσα από τις βόρειες Μεγάλες Πεδιάδες: Μοντάνα, Ντακότα, τον κόσμο του Hell Creek. Το αρχείο εκεί είναι αρκετά καλό ώστε να γίνει οικείο, και η οικειότητα έχει την κακή συνήθεια να προσποιείται την πληρότητα. Τα απολιθώματα δεν είναι ομοιόμορφα κατανεμημένα, επειδή η ιστορία δεν είχε την καλοσύνη να αρχειοθετηθεί για χάρη μας.

Μια νέα εργασία στο *Science* προσθέτει έναν νότιο μάρτυρα. Οι συγγραφείς μελέτησαν το Naashoibito Member στη λεκάνη San Juan του Νέου Μεξικού, μια απολιθωματοφόρα πετρώδη ενότητα της οποίας η ηλικία αποτελεί αντικείμενο διαφωνίας εδώ και δεκαετίες. Αν αυτά τα απολιθώματα ήταν παλαιότερα, θα έλεγαν λίγα για τις τελευταίες στιγμές πριν από την πρόσκρουση του αστεροειδούς. Αν ήταν από το πολύ ύστερο Κρητιδικό, θα είχαν πολύ μεγαλύτερη σημασία.

Η απάντηση της εργασίας είναι το δεύτερο. Με νέα γεωχρονολόγηση και μαγνητοστρωματογραφία, η ομάδα υποστηρίζει ότι οι κύριοι ορίζοντες με δεινόσαυρους στο Naashoibito Member βρίσκονται σε απόσταση περίπου **340.000 ετών** από το όριο Κρητιδικού-Παλαιογενούς. Αυτό τοποθετεί τους δεινοσαύρους του Νέου Μεξικού αρκετά κοντά στο τέλος ώστε να μιλήσουν για το παλιό ερώτημα: βρίσκονται ήδη οι δεινόσαυροι σε μακρά παρακμή ή πολλά οικοσυστήματα παρέμεναν περιφερειακά ποικίλα όταν έφτασε η πρόσκρουση;

Η προσεκτική απάντηση δεν είναι «όλοι οι δεινόσαυροι ήταν μια χαρά και μετά μπουμ». Η πρόταση έχει καλό ρυθμό και κακούς τρόπους. Η καλύτερη απάντηση είναι στενότερη και χρησιμότερη: στη δυτική Βόρεια Αμερική, ένα καλά χρονολογημένο νότιο αρχείο υποστηρίζει την εικόνα πανίδων δεινοσαύρων που παρέμεναν περιφερειακά διακριτές αργά στην Κρητιδική, όχι μιας ενιαίας κοινότητας χαμηλής ποικιλότητας που έφθινε παντού ταυτόχρονα.

Αυτό αρκεί. Δεν χρειάζεται πιο θορυβώδες καπέλο.



Η περιοχή Bisti/De-Na-Zin Wilderness στο Νέο Μεξικό, ένα τοπίο badlands στην ευρύτερη περιοχή της λεκάνης San Juan. Η εικόνα δίνει πλαίσιο, δεν αποτελεί στοιχείο από την εργασία του Science: το επιχείρημα της μελέτης βασίζεται σε χρονολογημένα απολιθωματοφόρα στρώματα, όχι στο τοπίο.

Bob Wick / BLM California CC BY 2.0

Τι σημαίνει εδώ «εντός 340.000 ετών»;

Η πρόσκρουση του αστεροειδούς και το όριο Κρητιδικού-Παλαιογενούς χρονολογούνται περίπου στα **66.052 εκατομμύρια χρόνια πριν**. Το ερώτημα είναι πού βρίσκονται τα πετρώματα με απολιθώματα σε σχέση με αυτή τη γραμμή.

Οι συγγραφείς δεν χρονολόγησαν άμεσα οστά δεινοσαύρων και δεν θεώρησαν το ζήτημα λήξαν. Χρονολόγησαν κόκκους ηφαιστειακών ορυκτών, ιδιαίτερα σανιδίνη, από ψαμμίτες της τομής Naashoibito με **γεωχρονολόγηση $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$** και συνδύασαν αυτές τις ηλικίες με **μαγνητοστρωματογραφία**: το αρχείο των αναστροφών του μαγνητικού πεδίου της Γης που διατηρείται στα πετρώματα.

Η σύντομη εκδοχή: ένα δείγμα δίνει μέγιστη ηλικία απόθεσης **66.87 ± 0.04 εκατομμύρια έτη**, ένα άλλο δείγμα με δεινόσαυρους δίνει **66.38 ± 0.08 εκατομμύρια έτη**, και το μαγνητικό μοτίβο τοποθετεί το ανώτερο μέρος της τομής στο τελευταίο διάστημα ανεστραμμένης πολικότητας της Κρητιδικής. Μαζί, αυτοί οι περιορισμοί τοποθετούν τους κύριους ορίζοντες με δεινόσαυρους πολύ κοντά στο όριο. Είναι γεωλογικό ρολόι, όχι χρονόμετρο, αλλά είναι αρκετά ακριβές ώστε να αλλάζει τη συζήτηση.

Τι έκαναν οι συγγραφείς

Η ομάδα συνδύασε δύο είδη δουλειάς που χρειάζονται το ένα το άλλο. Πρώτα, περιόρισε καλύτερα την ηλικία του Naashoibito Member. Η ενότητα βρίσκεται πάνω από παλαιότερα πετρώματα του Καμπάνιου και κάτω από πετρώματα του πρώιμου Παλαιοκαίνου, αλλά η ακριβής ηλικία της έχει αμφισβητηθεί: ορισμένες παλαιότερες ερμηνείες την τοποθετούσαν περίπου στα 70–69 εκατομμύρια χρόνια πριν, άλλες υποστήριζαν ηλικία από το τέλος της Κρητιδικής, ενώ μερικοί ισχυρισμοί έσπρωχναν τμήματα του αρχείου ακόμη και στο Παλαιόκαινο. Οι συγγραφείς μέτρησαν στρωματογραφικές τομές, πήραν δείγματα από θέσεις με δεινόσαυρους, χρονολόγησαν αποτριμματικούς κόκκους σανιδίνης με μεθόδους $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ και συνέδεσαν την τομή με γνωστά διαστήματα μαγνητικής πολικότητας.

Έπειτα ρώτησαν πώς έμοιαζε η πανίδα μέσα στο πλαίσιο της. Συγκέντρωσαν δεδομένα παρουσίας χερσαίων και γλυκού νερού σπονδυλωτών από τη δυτική Βόρεια Αμερική κατά το Καμπάνιο, το Μάαστριχτ και το πρώιμο Παλαιόκαινο και χρησιμοποίησαν οικολογικές και βιογεωγραφικές μεθόδους για να ελέγξουν αν οι πανίδες ήταν περιφερειακές ή ομοιόμορφες. Η λέξη-κλειδί είναι **επαρχιακότητα**: αν διαφορετικές περιοχές είχαν διακριτές κοινότητες, αντί να υπάρχουν παντού τα ίδια ζώα.

Αυτό έχει σημασία επειδή μία εκδοχή της ύστερης ιστορίας των δεινοσαύρων λέει ότι η δυτική Βόρεια Αμερική έγινε πιο ομοιογενής στο Μάαστριχτ, με λιγότερες περιφερειακές διαφορές και πιο κοσμοπολίτικη πανίδα. Ένα πιο ομοιόμορφο σύστημα χαμηλότερης ποικιλότητας είναι ευκολότερο να το φανταστούμε ήδη ευάλωτο πριν από τον αστεροειδή. Ένα περιφερειακά δομημένο σύστημα αφηγείται διαφορετική ιστορία.

Τι βρήκαν

Η χρονολόγηση είναι ο μεντεσές του επιχειρήματος. Δύο δείγματα Naashoibito με δεινόσαυρους δίνουν περιορισμούς από το ύστερο Μάαστριχτ. Ένα δείγμα ψαμμίτη, H08-Sand-08, έδωσε μέγιστη ηλικία απόθεσης **66.87 ± 0.04 εκατομμύρια έτη**. Ένα δείγμα από τη θέση «34-Bone Site», που περιέχει μερικό σκελετό λαμπεοσαυρίνου αδροσαύρου, έδωσε μέγιστη ηλικία απόθεσης **66.38 ± 0.08 εκατομμύρια έτη**. Σε συνδυασμό με το αρχείο μαγνητικής πολικότητας, οι συγγραφείς τοποθετούν τους κύριους απολιθωματοφόρους ορίζοντες του Naashoibito σε απόσταση περίπου **340.000 ετών** από το όριο K-Pg.

Αυτό κάνει το αρχείο της λεκάνης San Juan περίπου σύγχρονο με τις πολύ γνωστότερες πανίδες Hell Creek βορειότερα. Χωρίζει επίσης τους δεινοσαύρους του Naashoibito από την πρώιμη παλαιοκαινική πανίδα Nacimiento κατά περίπου **700.000 χρόνια**, κάτι σημαντικό επειδή κανείς δεν θέλει να βάλει κατά λάθος μη πτηνόμορφους δεινοσαύρους στη λάθος πλευρά του ορίου της εξαφάνισης. Θα ήταν ακατάστατο, και επίσης λάθος.

Το οικολογικό αποτέλεσμα είναι το άλλο μισό. Στα διαστήματα του πολύ ύστερου Κρητιδικού που ανέλυσαν, οι συγγραφείς βρήκαν στοιχεία για **δύο βιοεπαρχίες** στη δυτική Βόρεια Αμερική. Οι δεινόσαυροι, όταν αναλύθηκαν μόνοι τους, χωρίζονταν σε δύο βιοεπαρχίες σε όλα

τα χρονικά διαστήματα του πολύ ύστερου Κρητιδικού της μελέτης. Η εργασία υποστηρίζει ότι αυτές οι περιφερειακές διαφορές δεν κατέρρευσαν απλώς σε μία ενιαία ομοιόμορφη πανίδα πριν από την πρόσκρουση του αστεροειδούς.

Ο παράγοντας δεν ήταν απλώς μια γραμμή από βορρά προς νότο. Οι αναλύσεις τους δείχνουν τη **θερμοκρασία** ως τον κύριο παράγοντα που διαμόρφωνε αυτές τις βιοεπαρχίες στην Κρητιδική, με τη γεωγραφία να παίζει δευτερεύοντα ρόλο. Οι θερμότερες νότιες περιοχές ίσως ευνοούσαν ορισμένα ζώα, όπως τους σαυρόποδες, ενώ οι ψυχρότερες βόρειες άλλα, όπως τους αδροσαυρίνους. Το σημείο δεν είναι ότι κάθε επαρχία ήταν πιο «υγιής» από κάθε άλλη. Είναι ότι ο χάρτης του ύστερου Κρητιδικού εξακολουθούσε να έχει δομή.

Τι δεν αποδεικνύει

- **Δεν** αποδεικνύει ότι οι δεινόσαυροι παντού στη Γη ευημερούσαν μέχρι να χτυπήσει ο αστεροειδής. Οι συγγραφείς δηλώνουν ρητά ότι η εικόνα παραμένει σε μεγάλο βαθμό βορειοαμερικανική.
- **Δεν** εξαφανίζει στοιχεία για παρακμή σε ορισμένες ομάδες, περιοχές ή αναλύσεις. Αντιτίθεται σε μια υπερβολικά ομαλή ιστορία για ολόκληρη την ήπειρο, όχι σε κάθε πιθανή εκδοχή στρες πριν από την εξαφάνιση.
- **Δεν** δείχνει ότι ο αστεροειδής ήταν ασήμαντος. Η πρόσκρουση παραμένει το κύριο γεγονός στο όριο· αυτή η εργασία ρωτά τι είδους οικοσυστήματα χτυπήθηκαν.
- **Δεν** μετατρέπει το Νέο Μεξικό σε τέλειο παράθυρο για ολόκληρο τον πλανήτη. Προσθέτει ένα νότιο σημείο δεδομένων που έλειπε από ένα αρχείο κυριαρχούμενο από βόρειες θέσεις.
- **Δεν** κάνει ασφαλή τίτλο το «ευημερούσαν μέχρι την πρόσκρουση». Αυτός είναι ο ισχυρισμός στην πιο πλατιά του μορφή, όχι το αποτέλεσμα στην καθαρότερη.

Πόσο ισχυρά είναι τα στοιχεία;

Για την ηλικία των οριζόντων του Naashoibito με δεινόσαυρους, τα στοιχεία του κύριου κειμένου είναι αρκετά ισχυρά ώστε να έχουν σημασία. Οι συγγραφείς συνδυάζουν ραδιοϊσοτοπικές ηλικίες από αποτριμματικούς κόκκους σανιδίνης με μαγνητοστρωματογραφία και οι κρίσιμες ηλικίες συμφωνούν με ερμηνεία από το πολύ ύστερο Κρητιδικό. Η εργασία αντιμετωπίζει επίσης άμεσα την παλιότερη διαφωνία για το αν αυτά τα απολιθώματα ήταν πολύ παλαιότερα, από το τέλος της Κρητιδικής ή ακόμη και από το Παλαιόκαινο.

Υπάρχει ακόμη μια τεχνική επιφύλαξη. Η λεπτομερής γεωχρονολόγηση, η μαγνητική ερμηνεία και οι πίνακες δεδομένων βρίσκονται στο συμπληρωματικό υλικό του *Science*. Η κύρια εργασία δίνει τους απαραίτητους ισχυρισμούς και αριθμούς, αλλά ένα τελικό πέρασμα πριν από δημοσίευση πρέπει να ελέγξει το συμπλήρωμα πριν θεωρήσει κάθε μεθοδολογική λεπτομέρεια κλεισμένη.

Για τον ευρύτερο οικολογικό ισχυρισμό, τα στοιχεία είναι ενδεικτικά και χρήσιμα, αλλά

εξαρτώνται περισσότερο από μοντέλα. Οι συγγραφείς χρησιμοποιούν σύνολα δεδομένων παρουσίας, ομαδοποίηση και επαναδειγματοληψία για να συμπεράνουν βιοεπαρχίες. Είναι τα κατάλληλα εργαλεία για το ερώτημα, αλλά σημαίνει επίσης ότι το αποτέλεσμα εξαρτάται από τη δειγματοληψία απολιθωμάτων, τις ταξινομικές αναθέσεις, τον χρονικό διαμερισμό και τον τρόπο με τον οποίο χειρίζονται οι απουσίες. Τα απολιθωματικά αρχεία είναι δεδομένα με δόντια που λείπουν.

Η ασφαλέστερη ανάγνωση είναι λοιπόν διπλή: το αρχείο του Νέου Μεξικού είναι ένα πραγματικό και σημαντικό νότιο αρχείο του ύστερου Κρητιδικού· το συμπέρασμα ότι η δυτική Βόρεια Αμερική διατήρησε περιφερειακή δομή της πανίδας κοντά στο τέλος υποστηρίζεται καλά από τις αναλύσεις των συγγραφέων· το άλμα από αυτό προς την παγκόσμια «υγεία» των δεινοσαύρων πρέπει να αποφεύγεται.

Γιατί έχει σημασία

Η παλιά συζήτηση για την παρακμή των δεινοσαύρων δεν αφορά μόνο τους δεινοσαύρους. Αφορά το πόσο βάρος μπορεί να σηκώσει ένα απολιθωματικό αρχείο.

Αν το καλύτερο αρχείο του τέλους της Κρητιδικής προέρχεται από τις βόρειες Μεγάλες Πεδιάδες, είναι δελεαστικό να το αφήσουμε να εκπροσωπήσει την ήπειρο και έπειτα να αφήσουμε την ήπειρο να εκπροσωπήσει τον κόσμο. Είναι αποτελεσματικό. Είναι επίσης ο τρόπος με τον οποίο ένα περιφερειακό μοτίβο γίνεται παγκόσμια ιστορία παίρνοντας το ασανσέρ χωρίς εισιτήριο.

Το αποτέλεσμα του Νέου Μεξικού κάνει την ιστορία λιγότερο ομαλή. Λέει: κοιτάξτε νότια. Εδώ υπάρχει μια ενότητα με δεινόσαυρους κοντά στο όριο. Εδώ υπάρχουν πανίδες που δεν αντιγράφουν απλώς τις βόρειες. Εδώ υπάρχουν στοιχεία ότι η θερμοκρασία και η περιφερειακή οικολογία εξακολουθούσαν να έχουν σημασία προς το τέλος.

Αυτό δεν κάνει τον αστεροειδή λιγότερο καταστροφικό. Αν μη τι άλλο, κάνει την καταστροφή πιο αιχμηρή. Η πρόσκρουση δεν ήρθε στο τέλος ενός και μοναδικού απλοποιημένου οικοσυστήματος. Χτύπησε ένα σύνολο περιφερειακών κόσμων που εξακολουθούσαν να έχουν τις δικές τους διατάξεις.

Υπάρχει και ένα πιο ήσυχο μάθημα στην εργασία. Η καλή χρονολόγηση αλλάζει την αφήγηση. Ένα σύνολο απολιθωμάτων χωρίς ασφαλή ηλικία μπορεί να γίνει φήμη με κόκαλα. Βάλτε το στο σωστό σημείο του ρολογιού και τα ίδια απολιθώματα γίνονται στοιχεία.

Καθαρή σύνοψη

Μια μελέτη στο *Science* επανεξετάζει το Naashoibito Member στο Νέο Μεξικό, μια ενότητα με δεινόσαυρους της οποίας η ηλικία συζητείται εδώ και καιρό. Χρησιμοποιώντας χρονολόγηση $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ αποτριμματικής σανίδινης και μαγνητοστρωματογραφία, οι συγγραφείς περιορίζουν

τους κύριους ορίζοντες με δεινόσαυρους σε περίπου 340.000 χρόνια από το όριο Κρητιδικού-Παλαιογενούς, καθιστώντας τους ανάμεσα στους τελευταίους γνωστούς μη πτηνόμορφους δεινοσαύρους της Βόρειας Αμερικής και περίπου σύγχρονους με τις πανίδες Hell Creek βορειότερα. Έπειτα χρησιμοποιούν οικολογικές και βιογεωγραφικές αναλύσεις παρουσιών σπονδυλωτών της δυτικής Βόρειας Αμερικής για να υποστηρίξουν ότι οι πανίδες του ύστερου Κρητιδικού διατηρούσαν περιφερειακή δομή: οι δεινόσαυροι χωρίζονταν σε δύο βιοεπαρχίες και η θερμοκρασία φαίνεται να ήταν κύριος παράγοντας αυτών των διαφορών. Το αποτέλεσμα αντιστέκεται στην ιδέα μιας ενιαίας πανίδας δεινοσαύρων χαμηλής ποικιλότητας σε όλη την ήπειρο που έφθινε ομοιόμορφα πριν από την πρόσκρουση του αστεροειδούς. Δεν αποδεικνύει παγκόσμια ευρωστία των δεινοσαύρων, δεν λύνει κάθε συζήτηση για παρακμή και δεν δείχνει ότι όλοι οι δεινόσαυροι ευημερούσαν μέχρι το τέλος. Δείχνει ότι ένα καλύτερα χρονολογημένο νότιο αρχείο κάνει την τελική βορειοαμερικανική ιστορία πιο περιφερειακή, πιο δομημένη και λιγότερο ομαλή.

Έλεγχος χωρίς υπερβολές

Τι δείχνει η εργασία: Οι ορίζοντες με δεινόσαυρους του Naashoibito Member στο Νέο Μεξικό είναι από το πολύ ύστερο Κρητιδικό, πιθανώς σε απόσταση περίπου 340.000 ετών από το όριο K-Pg, και το αρχείο σπονδυλωτών της δυτικής Βόρειας Αμερικής υποστηρίζει επίμονες περιφερειακές βιοεπαρχίες κοντά στο τέλος.

Τι είναι εύλογο αλλά δεν έχει αποδειχθεί: Ότι πολλά οικοσυστήματα δεινοσαύρων παρέμεναν εύρωστα λίγο πριν από την πρόσκρουση του αστεροειδούς· ότι η θερμοκρασία βοήθησε στη διατήρηση διακριτών βόρειων και νότιων κόσμων πανίδας· ότι η παλαιότερη ιδέα μιας απλής παρακμής σε όλη την ήπειρο είναι υπερβολικά ομαλή.

Τι δεν δείχνει: Ότι οι δεινόσαυροι ευημερούσαν παντού· ότι καμία ομάδα ή περιοχή δεν βρισκόταν σε παρακμή· ότι ο αστεροειδής δεν ήταν ο κύριος πυροδότης της εξαφάνισης· ότι το Νέο Μεξικό μόνο του ξαναγράφει το παγκόσμιο τέλος της Κρητιδικής.

Κύριοι περιορισμοί: Περιφερειακό απολιθωματικό αρχείο· ανάλυση επαρχιακότητας εξαρτώμενη από μοντέλα· μεροληψίες στη δειγματοληψία απολιθωμάτων· η λεπτομερής γεωχρονολόγηση και οι μέθοδοι για τις παρουσίες χρειάζονται ακόμη τελικό έλεγχο έναντι του συμπληρωματικού υλικού του *Science*.

Πόση εμπιστοσύνη πρέπει να έχει ένας γενικός αναγνώστης; Υψηλή ότι το Νέο Μεξικό παρέχει πλέον ένα σημαντικό νότιο αρχείο δεινοσαύρων από το ύστερο Κρητιδικό. Καλή εμπιστοσύνη ότι η δυτική Βόρεια Αμερική διατηρούσε περιφερειακή δομή της πανίδας κοντά στο τέλος. Χαμηλή ότι αυτό μπορεί να συμπιεστεί στο «οι δεινόσαυροι ήταν μια χαρά παντού μέχρι τον αστεροειδή». Το πραγματικό αποτέλεσμα είναι καλύτερο: το τελευταίο κεφάλαιο δεν ήταν μία επίπεδη ιστορία για ολόκληρη την ήπειρο.

Πηγές

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>