The Clean Paper

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

Suðlægur vitnisburður nærri endalokunum

Ný aldursgreining setur risaeðlusteingervinga í Naashoibito-laginu í Nýju-Mexíkó mjög nærri lokum Krítar og sýnir að suðlægt risaeðlusamfélag lifði áfram seint í Maastricht-tímanum. Gögnin styrkja mynd af svæðisbundinni líflandafræði í Norður-Ameríku, en segja ekki að risaeðlur hafi verið jafn vel staddar alls staðar rétt fyrir Chicxulub-árekstur.

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

Suðlægur vitnisburður nærri endalokunum

Sagan um síðustu risaeðlurnar er oft sögð út frá norðanverðum Stóru sléttunum: Montana, Dakótafylkjunum og Hell Creek-heiminum. Sú steingervingaskrá er svo góð að hún er orðin kunnugleg, og kunnugleiki getur auðveldlega látið eins og hann sé heildarmynd. Steingervingar dreifast ekki jafnt, því sagan hafði enga skyldu til að flokka sjálfa sig fyrir okkur.

Ný grein í *Science* bætir við suðlægum vitnisburði. Höfundarnir rannsökuðu Naashoibito-lagið í San Juan-lægðinni í Nýju-Mexíkó, steingervingabær berglög sem deilt hefur verið um aldur á í áratugi. Ef steingervingarnir væru mun eldri segðu þeir lítið um síðustu stundirnar fyrir loftsteinsáreksturinn. Ef þeir væru frá allra síðasta hluta Krítartímans skiptu þeir miklu máli.

Niðurstaða greinarinnar er sú síðari. Með nýrri aldursgreiningu og seguljarðlögfræði halda höfundarnir því fram að helstu risaeðluberandi lög Naashoibito séu innan um **340.000 ára** frá mörkum Krítar og Paleógens. Það setur risaeðlurnar í Nýju-Mexíkó nógu nálægt endalokunum til að þær skipti máli fyrir gömlu spurninguna: voru risaeðlur þegar í langvarandi hnignun, eða voru mörg vistkerfi enn svæðisbundið fjölbreytt þegar áreksturinn varð?

Varlega svarið er ekki „risaeðlurnar stóðu allar mjög vel, svo kom höggið“. Setningin hefur gott flæði en slæma siði. Betra svarið er þrengra og gagnlegra: **í vesturhluta Norður-Ameríku styður vel aldursgreind suðlæg skrá þá mynd að seint á Krítartíma hafi risaeðlufánur enn verið svæðisbundið ólíkar**, fremur en að eitt einsleitt, fáskrúðugt samfélag hafi verið að fjara út alls staðar samtímis.

Það nægir. Niðurstaðan þarf ekki stærri hatt.

Bisti/De-Na-Zin Wilderness í Nýju-Mexíkó, roflandslag í víðara San Juan-svæðinu. Myndin er aðeins samhengi, ekki gögn úr *Science*-greininni: rök rannsóknarinnar byggja á aldursgreindum, steingervingaberandi jarðlögum, ekki landslagi.

Bob Wick / BLM California CC BY 2.0

Hvað merkir „innan 340.000 ára“ hér?

Loftsteinsáreksturinn og mörk Krítar og Paleógens eru aldurssett í um **66,052 milljón ár** fyrir nútíma. Spurningin er hvar steingervingaberandi bergið liggur miðað við þessi mörk.
Höfundarnir aldursgreindu ekki risaeðlubein beint og kölluðu málið afgreitt. Þeir aldursgreindu eldfjallasteindir, sérstaklega sanidín, úr sandsteinum Naashoibito með **^{40}Ar/^{39}Ar-aðferð** og sameinuðu þær niðurstöður **seguljarðlögfræði**: varðveittri sögu um viðsnúninga segulsviðs jarðar í bergi.
Stutta útgáfan: eitt sýni gefur hámarkssetaldur **66,87 ± 0,04 milljón ár**, annað sýni úr risaeðluberandi lagi gefur **66,38 ± 0,08 milljón ár**, og segulstefnumynstrið setur efri hluta sniðsins í síðasta öfuga segulskeið Krítartímans. Saman setja þessar skorður helstu risaeðlulögin mjög nærri mörkunum. Þetta er jarðfræðileg klukka, ekki skeiðklukka, en hún er nógu nákvæm til að breyta umræðunni.

Hvað gerðu höfundarnir?

Teymið sameinaði tvær gerðir rannsókna sem þurfa hvor á annarri að halda. Fyrst þrengdu þau aldur Naashoibito-lagsins. Einingin liggur ofan á eldri Campanian-lögum og neðan við elstu Paleósen-lög, en nákvæmur aldur hennar hefur verið umdeildur: sumar eldri túlkanir settu hana í um 70–69 milljón ár, aðrar í allra síðasta Krítartímann og fáeinar fullyrðingar jafnvel hluta hennar inn í Paleósen. Höfundarnir mældu jarðlagasnið, tóku sýni á risaeðlustöðum, aldursgreindu laus sanidínkorn með ^{40}Ar/^{39}Ar og tengdu sniðið við þekkt segulstefnuskeið.

Síðan spurðu þeir hvernig dýralífið liti út í samhengi. Þeir söfnuðu skráningum á land- og ferskvatnshryggdýrum frá vesturhluta Norður-Ameríku yfir Campanian, Maastrichtian og snemma Paleósen og notuðu vistfræðilegar og líflandfræðilegar aðferðir til að prófa hvort fánur væru svæðisbundnar eða einsleitar. Lykilhugtakið er **svæðaskipting** (*provinciality*): hvort mismunandi svæði höfðu eigin dýrasamfélög fremur en sömu dýr alls staðar.

Þetta skiptir máli vegna þess að ein útgáfa af síðkrítarsögu risaeðla segir að vesturhluti Norður-Ameríku hafi orðið einsleitari á Maastrichtian, með minni svæðamun og útbreiddari sameiginlegri fánu. Einsleitara og mögulega fáskrúðugra kerfi er auðveldara að ímynda sér sem viðkvæmt fyrir loftsteininum. Svæðisbundið uppbyggt kerfi segir aðra sögu.

Hvað fundu þeir?

Aldursgreiningin er lykilatriðið. Tvö risaeðluberandi Naashoibito-sýni gefa seint Maastrichtian aldur. Sandsteinssýnið H08-Sand-08 gaf hámarkssetaldur **66,87 ± 0,04 milljón ár**. Sýni frá „34-Bone Site“, þar sem fannst hluti beinagrindar lambeosaurine-hadrosaurs, gaf **66,38 ± 0,08 milljón ár**. Saman með segulstefnuskránni setja höfundarnir helstu risaeðluberandi lögin innan um **340.000 ára** frá K-Pg-mörkunum.

Það gerir San Juan-skrána í grófum dráttum samtíma betur þekktri Hell Creek-fánunni norðar. Hún aðskilur einnig Naashoibito-risaeðlurnar frá fyrstu Paleósen-fánu Nacimiento um um **700.000 ár**, sem skiptir máli vegna þess að enginn vill fyrir mistök setja risaeðlur aðrar en fugla röngu megin við útdauðamörkin. Það væri óþægilega ruglingslegt — og rangt.

Vistfræðilega niðurstaðan er hinn helmingurinn. Yfir síðustu tímabil Krítar sem þau greindu fundu höfundarnir vísbendingar um **tvö líflandfræðileg svæði** í vesturhluta Norður-Ameríku. Þegar risaeðlur voru greindar sér mynduðu þær tvö svæði í öllum síðkrítartímabilum rannsóknarinnar. Greinin heldur því fram að þessi svæðamunur hafi ekki einfaldlega hrunið niður í eina einsleita fánu fyrir áreksturinn.

Drifkrafturinn var ekki aðeins lína frá norðri til suðurs. Greiningarnar benda á **hitastig** sem helsta þáttinn sem mótaði þessi svæði á Krítartíma, með landafræði í aukahlutverki. Hlýrri suðursvæði kunna að hafa hentað sumum dýrum, svo sem sauropodum, en kaldari norðursvæði öðrum, til dæmis hadrosaurinum. Niðurstaðan er ekki að hvert svæði hafi verið „heilbrigt“. Hún er að seint á Krítartíma hafði kortið enn vistfræðilega uppbyggingu.

Hvað sýnir þetta *ekki*?

- Þetta sannar **ekki** að risaeðlur alls staðar á jörðinni hafi blómstrað fram að árekstrinum. Höfundarnir taka fram að myndin sé enn að mestu norður-amerísk.
- Þetta eyðir **ekki** vísbendingum um hnignun hjá sumum hópum, á sumum svæðum eða í sumum greiningum. Það mótmælir of sléttri sögu um eina sameiginlega meginlandshnignun, ekki öllum hugmyndum um streitu fyrir útdauðann.
- Þetta sýnir **ekki** að loftsteinninn hafi verið ómikilvægur. Áreksturinn er áfram meginatburðurinn við mörkin; greinin spyr hvers konar vistkerfi urðu fyrir honum.
- Nýja-Mexíkó verður **ekki** fullkominn gluggi á allan hnöttinn. Rannsóknin bætir við suðlægum gagnapunkti í skrá sem áður var mjög norðlæg.
- „Blómstruðu alveg fram að árekstri“ er **ekki** örugg fyrirsögn. Það er víðasta mögulega túlkunin, ekki varfærnasta niðurstaðan.

Hversu sterk eru gögnin?

Fyrir aldur risaeðluberandi Naashoibito-laganna er megintextinn nógu sterkur til að skipta máli. Höfundarnir sameina geislavirkar aldursgreiningar á sanidíni við seguljarðlögfræði og lykiltölurnar passa við allra síðasta Krítartímann. Greinin tekur einnig beint á eldri deilunni um hvort steingervingarnir væru mun eldri, seinkrítar eða jafnvel frá Paleósen.

Tæknileg varnagla er þó til staðar. Nákvæm aldursgreining, túlkun segulsviðs og gagnatöflur eru í viðbótargögnum *Science*. Megintextinn gefur nauðsynlegar niðurstöður og tölur, en lokaútgáfa ætti að athuga viðaukann áður en hvert aðferðaratriði er talið lokað.

Fyrir víðari vistfræðilegu niðurstöðuna eru gögnin gagnleg og sannfærandi, en meira líkanháð. Höfundarnir nota skráningar, klasagreiningar og endurúrtök til að álykta um líflandfræðileg svæði. Það er rétt verkfærasafn fyrir spurninguna, en niðurstaðan veltur líka á steingervingasöfnun, flokkun, tímabilaskiptingu og meðferð fjarvista. Steingervingaskrá er gagnasafn með tennur sem vantar.

Öruggasta túlkunin skiptir því niðurstöðunni í tvennt: Nýja-Mexíkó gefur raunverulega og mikilvæga suðlæga skrá frá síðasta hluta Krítar; niðurstaðan að vesturhluti Norður-Ameríku hafi enn haft svæðisbundna fánubyggingu nærri lokunum er vel studd af greiningunum; en stökkið þaðan yfir í heilsu risaeðla á heimsvísu ber að forðast.

Hvers vegna skiptir þetta máli?

Gamla deilan um hnignun risaeðla snýst ekki aðeins um risaeðlur. Hún snýst um hversu mikla sögu eitt steingervingasvæði getur borið.

Ef besta skráin frá lokum Krítar kemur frá norðanverðum Stóru sléttunum er freistandi að láta hana standa fyrir meginlandið og síðan láta meginlandið standa fyrir heiminn. Það er skilvirkt. Það er líka leiðin sem svæðisbundið mynstur fer með lyftunni upp í alheimssögu án miða.

Niðurstaðan frá Nýju-Mexíkó gerir söguna ósléttari. Hún segir: horfið suður. Hér er risaeðluberandi lag mjög nærri mörkunum. Hér eru fánur sem eru ekki einfaldlega afrit af þeim norðlægu. Hér eru gögn um að hitastig og svæðisbundin vistfræði skiptu enn máli seint í leiknum.

Það gerir loftsteininum ekki síður hamfarakenndan. Ef eitthvað er verður hamfarin skýrari. Áreksturinn kom ekki í lok eins einfalds vistkerfis heldur skall á mörgum svæðisbundnum heimum sem höfðu enn sín eigin mynstur.

Greinin hefur líka rólegri lærdóm: góð aldursgreining breytir frásögn. Steingervingasafn án öruggs aldurs getur orðið orðrómur með beinum. Setjið það á réttan stað á klukkunni og sömu beinin verða að gögnum.

Í stuttu máli

Rannsókn í *Science* endurmetur Naashoibito-lagið í Nýju-Mexíkó, risaeðluberandi berglög sem lengi hefur verið deilt um aldur á. Með $^{40}Ar/^{39}Ar$-aldursgreiningu á lausum sanidínkornum og seguljarðlögfræði setja höfundarnir helstu risaeðlulögin innan um 340.000 ára frá mörkum Krítar og Paleógens. Þau eru því meðal síðustu þekktu risaeðla annarra en fugla í Norður-Ameríku og nokkurn veginn samtíma Hell Creek-fánunni norðar. Vistfræðileg og líflandfræðileg greining á hryggdýraskrá vesturhluta Norður-Ameríku bendir jafnframt til þess að síðkrítarfánur hafi enn verið svæðisbundnar: risaeðlur skiptust í tvö líflandfræðileg svæði og hitastig virðist hafa verið mikilvægur drifkraftur. Niðurstaðan gengur gegn hugmyndinni um eina fáskrúðuga, meginlandsbreiða risaeðlufánu sem hafi hnignað alls staðar á sama hátt fyrir áreksturinn. Hún sannar ekki hnattræna „heilsu“ risaeðla og leysir ekki allar deilur um hnignun. Hún sýnir að betur aldursgreind suðlæg skrá gerir lokasögu Norður-Ameríku svæðisbundnari, flóknari og minna slétta.

Raunhæf yfirferð

Það sem greinin sýnir: Risaeðluberandi lög Naashoibito í Nýju-Mexíkó eru frá allra síðasta Krítartíma, líklega innan um 340.000 ára frá K-Pg-mörkunum, og skrá hryggdýra í vesturhluta Norður-Ameríku styður viðvarandi svæðisbundin líflandfræðileg samfélög nærri lokunum.

Það sem er líklegt en ekki sannað: Að mörg risaeðluvistkerfi hafi enn verið sterk skömmu fyrir áreksturinn; að hitastig hafi hjálpað til við að halda norðlægum og suðlægum fánum aðskildum; og að eldri hugmynd um einfaldan meginlandsbreiðan hnignunarferil sé of slétt.

Það sem greinin sýnir ekki: Að risaeðlur alls staðar hafi blómstrað; að engir hópar eða svæði hafi verið í hnignun; að loftsteinninn hafi ekki verið meginorsök útdauðans; eða að Nýja-Mexíkó eitt endurskrifi hnattræn endalok Krítartímans.

Helstu takmarkanir: Svæðisbundin steingervingaskrá; líkanháð greining á svæðaskiptingu; skekkjur í steingervingasöfnun; og þörf á að staðfesta einstök aðferðaratriði úr viðbótargögnum *Science*.

Hversu mikið traust ætti almennur lesandi að bera til niðurstöðunnar? Mikið traust á því að Nýja-Mexíkó gefi nú mikilvæga suðlæga skrá frá síðasta hluta Krítar. Gott traust á því að vesturhluti Norður-Ameríku hafi haldið svæðisbundinni fánubyggingu nærri lokunum. Lítið traust á fyrirsögninni „risaeðlurnar voru í góðu lagi alls staðar þar til loftsteinninn kom“. Raunverulega niðurstaðan er betri: síðasti kaflinn var ekki ein flöt saga fyrir allt meginlandið.

Heimildir

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