

Liudas Daumantas, Vilniaus universitetas, Geomokslų institutas

STUBURINIŲ ICHNOLOGIJA EOLINĖSE NUOGULOSE



Paprastai dykumos suvokiamos kaip nepalankios gyvybei aplinkos. Mažas vandens ir maistinių medžiagų kiekis, nuolat migruojantis smėlingas substratas, šioms aplinkoms būdingi temperatūriniai ekstremumai bei stiprūs vėjai neleidžia įsitvirtinti produktyvioms ekosistemos. Net esant pakankamam drėgmės kiekiui, augalija ten būna skurdi dėl smėlinių dirvožemių nederlingumo (Osman, 2013, Hahm et al., 2014), o nepalankios tafonominės sąlygos dykumose (Lyman, 1994) lemia skurdų paleontologinį fosilijų metraštį. Nepaisant to, gerai išlikusios pėdsakinės fosilijos (ichnofosilijos) eolinėse nuogulose yra pakankamai dažnos ir gali suteikti įvairios informacijos – nuo gyvenusių gyvūnų elgsenos ir anatomijos, paleoekologijos ir paleobiogeografijos iki gamtinių sąlygų kaitos kontinentuose. Ši netikėta ichnofosilijų gausa eolinėse nuogulose skatina kelti klausimus: kokios sąlygos lemia pėdsakų išlikimą kopose ir ar tikrai dykumos visada buvo prasta vieta gyventi (Mancuso et al., 2016, Loope, 1986)? Galbūt organizmų kiekio ir sedimentacijos dinamikos santykis eolinėse aplinkose dažnai kaip tik toks, kurio reikia, kad horizontai nebūtų per daug ištrypti ir gerai išliktų pavieniai pėdsakai? O gal sąlygos, būtinos išlikti pėdsakams (pavyzdžiui, drėgmės kiekis substrate), susijusios su sąlygomis, kurios pritraukia organizmus į šią „nesvetingą“ aplinką? Gal didžiųjų kontinentinių dykumų laikotarpiais sausumos biota buvo priversta prisitaikyti prie visur vyraujančių aridinių sąlygų, tad dykumose viešpatavo keistos ir dar kol kas nepažintos ekosistemos? Kad ir kaip ten bebūtų, klausimų apie pėdsakus priešistorinėse dykumose lieka dar daug...

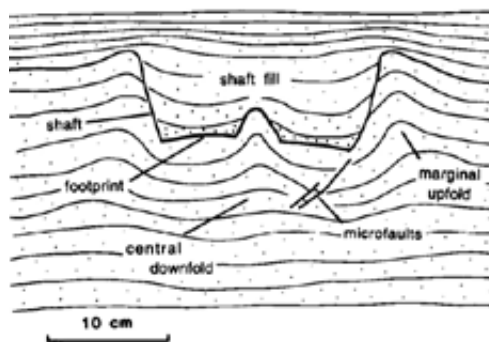
STUBURINIŲ ICHNOFOSILIJŲ EOLINĖSE NUOGULOSE PAŽINIMO ĮRANKIAI

Atpažinti stuburinių pėdsakus plane gana paprasta, tačiau vertikaliame pjūvyje jie gali

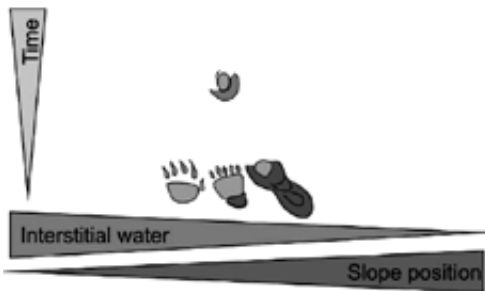
priminti nebiogenines struktūras ir dėl šios priežasties praeityje dažnai būdavo interpretuojami klaidingai (Loope, 1986; D. Lea, 1996). Plane atsidengiančių ichnofosilijų retumas, vėlai įsisaivinti pėdsakų pjūvyje identifikavimo kriterijai, o gal ir paradigmatis įsitikinimas, kad dykumose mažai gyvybės, lėmė gana menką ichnofosilijų eolinėse nuogulose iširtumą. Situacija, žinoma, keičiasi, nes, atsiradus naujiems koncepciniams ir metodiniams įrankiams, tai labai gera galimybė geologams – tiek sprendžiant mokslines problemas, tiek siekiant pakereiti populiariosios medijos smalsumą (Knaust & Bromley, 2012). Kad šiuos įrankius būtų galima panaudoti, pirmiausiai reikia su jais susipažinti.

KONCEPCINIAI ICHNOFOSILIJŲ PAŽINIMO ĮRANKIAI

Vienas pagrindinių koncepcinių įrankių, leidžiančių pradėti tyrinėti stuburinių ichnofosilijas eolinituose (*sensu* eolinės nuogulos), yra jų atpažinimo pagrindiniai kriterijai (plačiau deta-



1 pav. Generalizuota porakanopinio ichnofosilijos schema su pagrindiniais struktūriniais elementais (D. Lea, 1996): pėdsaką iš šonų supa iškilę smėlio laminų pečiai, susiję su laminų nulenkimo antiklinomis. Stačių sienelių, kertančių laminas, pėdsako „šachta“ paprastai užpildyta stambesnio grūdėtumo smėliu, kai tuo tarpu jos pagrindas gali būti išklotas aleurito dydžio dalelėmis. Pėdsako „šachtos“ padas atspindi tikrąjį pėdsako profilį (angl. *true track*) su vidurine pakiluma. Po padu esančios mažesnio laipsnio deformacinės struktūros (angl. *undertrack*) švelniomis formomis atkartoja tikrąjį pėdsako profilį.



2 pav. Apibendrinta pėdsakų morfologijos priklausomybė nuo porinio vandens kiekio grunte, šlaito polinkio ir palaidojimo laiko (Mancuso et al., 2016): kaip matyti, tafonominis pėdsakų išlikimo langas gana siauras.

lizuoti Loope, 1986; D. Lea, 1996) (1 pav.): *pėdsakų skersmens statistinis pasiskirstymas atitinka jų galimų „šeimininkų“ galūnių anatomiją; *pėdsakai – neištisinės, lokalsios sluoksnių deformacijos; *pėdsakų forma dažniausiai simetriška, be tempimo ar kompresinių struktūrų; *pėdsakų užpildas tekstūriškai ir struktūriškai skiriasi nuo aukščiau ir žemiau esančių sluoksnių; *pėdsakų taip pat aptinkama ir gerai supresuotuose vėjo ruzgų sluoksniuose, kuriems nebūdingos deformacijos dėl nebiogeninių apkrovų.

Kitas svarbus koncepcinis įrankis – ichnofosilijų tafonomija eolinėse nuogulose. Paprastai detaliesi pėdsakai išlieka priešvėjinuose, lėkštesniuose, dažniau apaugusiuose kopų šlaituose, tačiau tokie šlaitai išlieka kur kas rečiau nei statūs pavėjiniai šlaitai, kur aptinkama prastinės kokybės pėdsakų (Knaust & Bromley, 2012). Detaliesi pėdsakai išlieka esant optimaliam grunto drėgniui – kai gruntas persotintas, pėdsakai tampa labai gilūs ir praranda detales, o kai labai sausas, pėdsakai būna per daug lėkšti (Mancuso et al., 2016, 2 pav.). Itin gerą pėdsakų išlikimą gali lemti nedidelio molio kiekio (apie 4 proc.) grunte buvimas, kai molio plėvelė padengia smėlio grūdėlius (Loope, 1986). Grunto cementacija pėdsakus gali paveikti dvejopai: cementacijai įvykus po pėdsako susidarymo, jo išlikimo tikimybė padidėja, kita vertus, silpna grunto cementacija prieš lokalią apkrovą pėdsaką padaro platesnį, bet lėkštesnį (Loope, 1986, Loope & Milàn, 2016). Panašius į molio plėvelių ir cementacijos efektus pėdsakų tafonomijai atitinkamai gali turėti bioplėvelės ir bioklijai (Mancuso et al., 2016). Taip pat pėdsa-

ko forma priklauso nuo grunto mineralogijos, tekstūros ir struktūros bei gyvūno dydžio, anatomijos ir elgsenos (Graversen et al., 2007; Loope, 1986; Loope & Milàn, 2016; Mancuso et al., 2016; D. Lea, 1996).

METODINIAI ICHNOFOSILIJŲ PAŽINIMO ĮRANKIAI

Kadangi eolinėje aplinkoje fosilijų randama retai, fosilinių pėdsakų priskyrimas kuriai nors taksonominei organizmų grupei paprastai remiasi uniformizmo principu, t. y. gretinant fosilinius pėdsakus su moderniais (Buynevich, 2015; Knaust & Bromley, 2012). Taigi pagrindiniai šio uždavinio sunkumai susiję su šio metodo taikymo apribojimais neanalogiškomis tolimos praeities gyvybės formoms. Seniausios eolinituose aptiktos ichnofosilijos siekia net vėlyvąjį kambrą–ankstyvąjį ordoviką (MacNaughton et al., 2002). Šių tolimų laikotarpių biota gali labai skirtis nuo dabartinės, tad aptiktas 8–13 cm skersmens seniausias sausuminio nariuotakojų pėdsakas, savo forma primenantis šiuolaikinio šimtakojų paliekamą žymę, iš tiesų gali būti paliktas visai kitokios kūno sandaros ir gyvenenos organizmo. Taigi patikimai identifikuotų ichnofosilijų „šeimininkų“ iki rūšies arba genties lygio gausu tik netolimoje praeityje (Knaust & Bromley, 2012). Senesni fosiliniai pėdsakai yra be aiškių „šeimininkų“, tad jų nagrinėjimas ir naudojimas išnykusiai praeities faunai pažinti primena metaforinę vaiduoklių medžioklę. Tokių pėdsakų klasifikacija (ichnotaksonomija) remiasi vien tik morfologiniu skirstymu, kai tuo tarpu genetinis pėdsako priskyrimas yra nekonkretus, aukštesnio taksonominės hierarchijos lygmens. Taigi pėdsakai pagal panašumą skirstomi į ichnošeimas/gentis/rūšis. Dažnai pasikartojančios ichnotaksų asociacijos tam tikrose specifinėse aplinkose vadinamos ichnofacijomis (Hunt & Lucas, 2007).

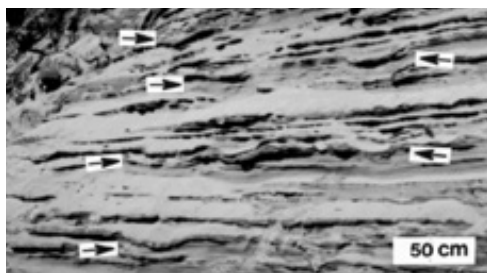
Šiuo metu sudaryta net keletas eolinių ichnofacijų, tarp kurių išskirtos ir atskiros stuburinių ichnofacijos (Loope & Milàn, 2016; Knaust & Bromley, 2012; Hunt & Lucas, 2007). Jos taikomos skirtingiems laikotarpiams ir siejamos su skirtingomis organizmų grupėmis. Pavyzdžiui, *Chelichnus* ir *Brasilichnium* ichnogentys,

priklausančios *Chelichnus* ichnofacijai, priskiriamos tam tikriems keturkojų pėdsakams, randamiems eolinėse nuogulose nuo permio iki jūros (Hunt & Lucas, 2007). *Chelichnus* ichnogenities pėdsakų paplitimas permio eoliniuose dariniuose beveik globalus – tokių pėdsakų aptinkama Šiaurės Amerikoje, Argentinoje, Škotijoje ir Vokietijoje (Mancuso et al., 2016). Be stuburinių pėdsakų, eolinėse nuogulose dažnai randama arachnidų (vorų ir skorpionų) bei kitų nariuotakojų ichnofosilijų, kurių asociacija sudaro *Octopodichnus* ichnofaciją (Hunt & Lucas, 2007). Pastaroji dažnai persidengia su *Chelichnus* ichnofacija ir tokiu atveju sudaro *Entradichnus* ichnofaciją (Knaust & Bromley, 2012). Rečiau paleokopose su šiais pėdsakais ar be jų aptinkama ir augalų šaknų labirintinių žymių, vadinamų rizomorvais (angl. *rhizomorphs*, Knaust & Bromley, 2012). Tuo tarpu mezozojaus eolinituose labiausiai paplitę dinosaurų *Grallator* tripirščiai pėdsakai (Loope & Milàn, 2016). Nuo kainozojaus (ypač vėlyvojo) eolinės ichnotaksos jau gana dažnai susiejamos su konkrečiomis organizmų rūšimis arba gentimis (Knaust & Bromley, 2012).

Tokie yra esminiai stuburinių ichnofosilijų eolinėse nuogulose pažinimo įrankiai. Toliau belieka susipažinti, kokius pažinimo vaisius, jais pasinaudoję, galime nusiskinti.

STUBURINIŲ ICHNOFOSILIJŲ EOLINĖSE NUOGULOSE PAŽINIMO VAISIAI

Pirmiausia vien pėdsakų „šeimininkų“ rūšies ar genties atpažinimas dažnai yra gana intriguojantis ir suteikia naujos paleobiogeografinės bei paleoekologinės informacijos. Pavyzdžiui, straublinių eolinių ichnofosilijų pasiskirstymas erdvėje ir laike leidžia teigti, kad pirmosios jų bendruomenės buvo jau gana sudėtingos socialinės struktūros ir pradėjo savo egzistencinę kelionę miocene, dabartinių Jungtinių Arabų Emyratų teritorijoje (Bibi et al., 2012), kai paskutinįjį pėdsaką Europoje jie greičiausiai išmynė dabartinėje Graikijos Rodo saloje vėlyvajame pleistocene–holocene (Milàn et al., 2006). Gauruotųjų mamutų (*Mammuthus primigenius*) ir neidentifikuotų porakanopių (šiaurės elnių arba bizonų)



3 pav. Gauruotojo mamuto pėdsakai eolinėse Aliaskos nuogulose pasikartoja periodiškai skirtinguose stratigrafiniuose aukštuose (D. Lea, 1996, rodyklės rodo pėdsakus).

pėdsakų paplitimas pleistoceninės Aliaskos periglacialinių dykumų nuogulose byloja apie tai, kad šiose atšiauriuose kopose buvo galima rasti nemažai žolės ir vandens, tad pats kraštovaizdis priminė „mamutinę stepę“ (D. Lea, 1996). Kai kuriuose šių eolinių nuogulų ruožuose gausesnė mamutų pėdsakai atsikartoja per kelis stratigrafinius lygmenis daug dažniau negu kituose ruožuose (3 pav.), tad gali būti, kad šios vietos siejasi su pastoviais mamutų judėjimo keliais, kurie nekito dešimtis ar net šimtus metų (D. Lea, 1996,). Gerokai piečiau esančioje Nebraskoje labai panašiai holoceno eolinėse nuogulose pasiskirstę bizonų pėdsakai leidžia įtarti, kad tuo metu čia taip pat buvo panašus, iš dalies apaugęs žole, iš dalies pustomas pusiau aridinis kraštovaizdis (Loope, 1986).

Išilgai Europos (nuo Anglijos iki Rusijos) nusidriekusi juostoje stuburinių pėdsakai kur kas mažiau tyrinėti, nors čia taip pat galima tikėtis rasti įvairių porakanopių ir žmonių įspaudų. Kadangi ši smėlio juosta erdvėje formavosi nesinchroniškai (vertinant detalesnėje laiko raiškoje), jos genezės negalima paaiškinti vienu globaliu/regioniu išoriniu veiksnio (Willemse & Groenewoudt, 2012). Kai kuriose jos vietose randamus ganyklinių gyvulių pėdsakus dengia reaktvyvotų kopų smėlis (Willemse & Groenewoudt, 2012). Taigi šią heterogenišką smėlio juostos raidą bent iš dalies galima būtų sieti su netolygiu žmonių poveikio aplinkai pasiskirstymu, t. y. nesinchroniška kultūrine bei technologine evoliucija ir netolygiu žmonių pasiskirstymu. Šiuo metu projekto „Daina“ dalyvių (Vilniaus universiteto geologų ir Lenkijos mokslininkų) organizuojami bei atliekami sedimentologiniai, palinologiniai ir

ichnologiniai tyrimai rytinėje Europos eolinės smėlio juostos dalyje turėtų atskleisti daugiau faktų apie šio eolinio darinio raidą bei susijusius aplinkos pokyčius. Taip pat turėtų paaiškėti, kokie gyvūnai rausėsi ir klajojo po mūsų kraštų kopas civilizacijos priešaušryje.

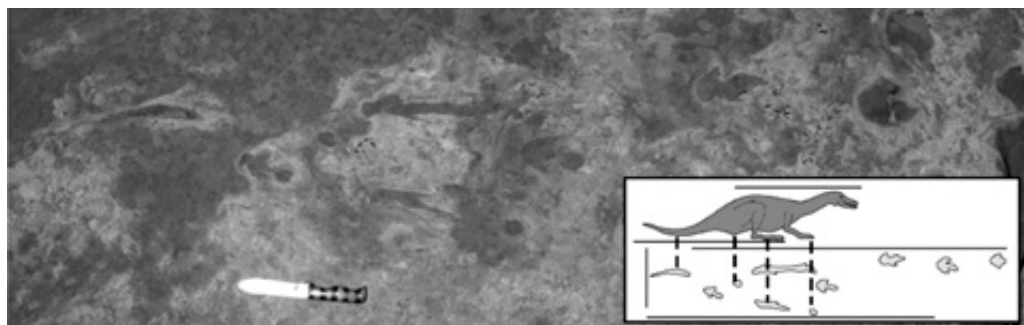
Fosilinių pėdsakų forma ir pasiskirstymas plane, be paleobiogeografinės ir paleoekologinės informacijos, taip pat gali byloti apie jas palikusią, jau seniai išnykusią gyvūnų anatomiją, elgseną ir eisenos biomechaniką. Tą gali paliudyti prie Tanganikos Laetolio ežero rasti žingsniuojančių Liusės giminaičių (*Australopithecus afarensis*) pėdsakai (Leakey & Hay, 1979). Iš jų pavyko sužinoti, kad šie hominidai pakilo ant dviejų kojų ir įgavo labai panašią eiseną į dabartinio žmogaus dar prieš mūsų, *Homo*, genties atsiradimą, t. y. prieš 3,6 mln. metų (Raichlen et al., 2010). Nors šie pėdsakai palikti piroklastų sluoksniuose, panašiai apie judėjimą galima sužinoti iš pėdsakų, esančių eolinėse nuogulose. Pavyzdžiui, *Chelichnus* ichnogenties pėdsakai Argentinos eolinituose atskleidžia, kad vienos reptilijos, palikusios labai aiškius ir detalius pėdsakus smėlyje, žingsniavo neskubėdamas, 2,5 km/val. greičiu, tuo tarpu kitos lakstė apie 5 km/val. greičiu, palikdamos mažiau aiškius pėdsakus (Mancuso et al., 2016). Fosiliniai pėdsakai eoliniuose sluoksniuose taip pat daug pasako ir apie dinosaurus (Loope & Milàn, 2016): *zauropodomorfiniai dinosaurai lipdavo į kopas, kūną orientuodami į kopos keterą, bet progresuodavo įstrižai jos (4 pav.). Panašiai elgdavosi ir pleistoceno Maljorkos ožkos bei *Chelichnus* pėdsakus paliekančios



4 pav. Zauropodomorfinio dinosauro pėdsakai eolinite (Loope & Milàn, 2016): vientisa rodyklė rodo gyvūno progresijos kryptį, punktyrinė – kūno orientaciją.

permo reptilijos (Mancuso et al., 2016); *vieni zauropodai ropodavo į kopą keturiomis, kiti – atsistoję ant dviejų kojų; *kopdami į kopą, sunkesni dinosaurai sukeldavo smėlio griūtis nuo keteros viršaus, todėl kitų žingsnių pėdsakai atsidurdavo stratigrafiškai aukštesniuose sluoksniuose, kas dabar sukelia klaidingą nevienalaikio ėjimo–įvykio įspūdį; *pėdsakų progresavimas erdvėje atpasakoja atskirų individų situacinę elgseną: aptikti terapodinio dinosauro pėdsakai atskleidžia, kaip jis, lipdamas į kopą, pritūpė, palikdamas pilvo, uodegos ir priekinių galūnių išpaudus, o tada vėl pradėjo judėti pirmyn (5 pav.).

Taigi iš pavienių stuburinių pėdsakų galima sužinoti apie jų galūnių formą, tekstūrą ir kitas



5 pav. Terapodo paliktų pėdsakų kaita plane atskleidžianti jo judėjimo pokyčius (Loope & Milàn, 2016).

anatomines detales (Knaust & Bromley, 2012; Loope & Milàn, 2016). Tiesa, struktūrinės geologijos terminų ir analizės principų taikymas, siekiant paaiškinti nedidelius pėdsakų mikroįtrūkius, šią informaciją papildo atskleidamas, kaip sekundžių bėgyje kinta sąveikos tarp substrato ir gyvūno galūnės, – tokia prieiga suteikė detalią informaciją apie terapodinių dinosauro eisenos biomechaniką (Graversen et al., 2007).

Be to, stuburinių ichnofosilijų pasiskirstymas eolinituose gali būti ir kaip kontinentinių bei regioninių sąlygų kaitos rodiklis. Horizontaliai sluoksniuotus, gerai išrūšiuoto smėlio sluoksnius kartais sunku suskirstyti stratigrafiškai, tad stuburinių ichnofosilijų gali būti tokio suskirstymo pagrindu (Loope, 1986). Kai kurios eolinės aplinkos Žemėje egzistavo labai ilgai. Pavyzdžiui, paleodykumos, plytėjusios JAV pietvakarinėje dalyje, egzistavo nuo vėlyvojo paleozojaus iki viduriniojo mezozojaus (Knaust & Bromley, 2012). Kadangi stuburinių ichnofosilijų susidarymo ir išlikimo sąlygų tafonominis langas labai siauras, o jų forma taip pat kinta, reaguodama į nedidelius aplinkos pokyčių svyravimus (žr. 2 pav., Mancuso et al., 2016), pagal jas sėkmingai

galima būtų vertinti įvairius gamtinius pokyčius minėtose per ilgą laiką susikaupusiose eolinėse nuogulose. Pavyzdžiui, fosilinių pėdsakų kiekių svyravimai JAV Navajos smiltainių eolinituose įvairių autorių aiškinami paleotemperatūros, kritulių ir vėjuotumo pokyčiais bei siejami su musoniniu režimu (Knaust & Bromley, 2012). Kai kuriuose šių smiltainių horizontuose stambių ir plėšrių dinosauro pėdsakų yra tiek daug (apie 6 vnt./m²), kad panašu, jog lietingais švelnesnio klimato laikotarpiais dykumos virsdavo kone gyvybės metropoliais (Seiler & Chan, 2008).

Kaip rodo šie tyrimų pavyzdžiai, stuburinių ichnofosilijų eolinėse nuogulose iš tiesų gali daug papasakoti apie praeities gyvūniją, kraštovaizdį bei klimato pokyčius. Taigi belieka pasitelkti šių ichnofosilijų pažinimo įrankius ir traukti susirinkti jų pažinimo vaisių!

PADĖKA

Šis straipsnis remiamas Lietuvos mokslo tarybos lėšomis, skirtomis finansuoti tarptautinį lietuvių–lenkų mokslininkų projektą „Daina“ (Nr. S-LL-18-2).

LITERATŪRA

- Bibi, F., Kraatz, B., Craig, N., Beech, M., Schuster, M. & Hill, A. (2012). Early evidence for complex social structure in Proboscidea from a late Miocene trackway site in the United Arab Emirates.
- Buynevich, I. (2015). Recent vertebrate tracks in sandy substrates and their paleoenvironmental implications: Examples from coastal Lithuania.
- D. Lea, P. (1996). Vertebrate Tracks in Pleistocene Eolian Sand-Sheet Deposits of Alaska.
- Graversen, O., Milan, J. & Loope, D. B. (2007). *The Journal of Geology* 115, 641-654.
- Hahm, W. J., Riebe, C. S., Lukens, C. E. & Araki, S. (2014). *PNAS* 111, pp. 3338-3343.
- Hunt, A. P. & Lucas, S. G. (2007). *Ichnos* 14, 59-68.
- Knaust, D. & Bromley, R. G. (2012). Trace fossils as indicators of sedimentary environments. *Newnes*.
- Leakey, M. D. & Hay, R. L. (1979). *Nature* 278, 317-323.
- Lyman, R. L. (1994). *Vertebrate Taphonomy*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Loope, D. B. (1986). *Palaios*, 141-151.
- Loope, D. B. & Milàn, J. (2016). *Dinosaur Tracks*, edited by P. L. Falkingham, D. Marty & A. Richter, pp. 359-365: Indiana University Press.
- MacNaughton, R. B., Cole, J. M., Dalrymple, R. W., Braddy, S. J., Briggs, D. E. & Lukie, T. D. (2002). *Geology* 30, 391-394.
- Mancuso, A. C., Krapovickas, V., Marsicano, C., Benavente, C., Benedito, D., De La Fuente, M. & Ottone, E. G. (2016). *Palaios* 31, 374-388.
- Milàn, J., Bromley, R. G., Titschack, J. & Theodorou, G. (2006). *SPECIAL PUBLICATION-SEPM* 88, 333.
- Osman, K. T. (2013). *Forest Soils: Properties and Management*, pp. pp. 19-44. Switzerland: Springer International Publishing Switzerland.
- Raichlen, D. A., Gordon, A. D., Harcourt-Smith, W. E., Foster, A. D. & Haas Jr, W. R. (2010). *PLoS One* 5, e9769.
- Seiler, W. M. & Chan, M. A. (2008). *Palaios* 23, 700-710.
- Willemsse, N. W. & Groenewoudt, B. J. (2012).