

ANALIZA GEOMETRIJE LIJAKASTIH PASTI V PESKU

TINA KLENOVŠEK,¹ DUŠAN DEVETAK,² JAN PODLESNIK¹

¹ Univerza v Mariboru, Fakulteta za naravoslovje in matematiko, Maribor, Slovenija
tina.klenovsek@um.si, jan.podlesnik@um.si

² Maribor, Slovenija
dusan.devetak@guest.arnes.si

Sinopsis Volkci lijakarji so žuželke, katerih ličinke v pesku gradijo pasti v obliki lijaka za lov plena. Naklon lijaka in sipanje peska proti dnu lijaka plenu otežujeta pobeg, zato je oblika lijaka ključnega pomena za uspeh pri lovu. Različne vrste volkcev lijakarjev lahko gradijo različno oblikovane pasti. V raziskavi Devetak in sodelavci (2020) smo proučevali povezavo med geometrijo pasti in lastnostmi peščenega substrata. Pasti smo 3D skenirali z laserskim čitalnikom in izdelali 3D modele pasti, ki smo jih uporabili za opis oblike z meritvami kotov in za analizo variabilnosti pasti z metodami geometrijske morfometrije. Ugotovili smo, da substrat z manjšo granulacijo ali večjim deležem finega peska omogoča gradnjo kompleksnejših pasti s strmějšími stenami, saj ima višji maksimalni kot stabilnosti. Oblika pasti je torej odvisna od strukture substrata in v heterogenem habitatu omogoča sobivanje različnih vrst volkcev z različnimi preferencami glede substrata.

Ključne besede:

3D laserski
čitalnik,
geometrijska
morfometrija,
analiza oblike,
ličinke volkcev,
granulacija peska

ANALYSIS OF GEOMETRY OF PIT-FALL TRAPS IN SAND

TINA KLENOVŠEK,¹ DUŠAN DEVETAK,² JAN PODLESNIK¹

¹ University of Maribor, Faculty of Natural Sciences and Mathematics, Maribor, Slovenia,

tina.klenovsek@um.si, jan.podlesnik@um.si

² Maribor, Slovenija
dusan.devetak@guest.arnes.si

Abstract Pit-building antlions are insects whose larvae catch prey by constructing pitfall traps in the sand. The slope of the trap and sand avalanches impede the escape of the prey, therefore, the shape of trap is crucial for hunting success. Different species of pit-building antlions can build differently shaped traps. In the study by Devetak et al. (2020), we analysed the connection between the trap geometry and the properties of the sand substrate. We scanned the traps in 3D with a laser scanner and created 3D models of the traps, which we used to describe the shape with angle measurements and to analyse the trap variability using the geometric morphometry methods. We found that a substrate with smaller granulation or a larger proportion of fine sand enables the construction of more complex traps with steeper walls, as it has a higher maximum angle of stability. The shape of the trap therefore depends on the structure of the substrate and in a heterogeneous habitat enables the coexistence of different antlion species with different substrate preferences.

Keywords:

3D laser scanner,
geometric
morphometrics,
shape analysis,
antlion larvae,
sand granulation

1 Uvod

Volkci (Myrmeleontidae) so žuželke iz skupine pravih mrežekrilcev (Neuroptera). Imajo popolno preobrazbo in plenilsko ličinko. Ličinke volkcev na plen prežijo iz zasede. Na plen čakajo zakopane pod površjem substrata ali na dnu peščenega lijaka, ki služi kot past. Plen so običajno mravlje in drugi talni nevretenčarji. Uporaba lijakastih pasti ličinkam omogoča večjo uspešnost pri lovu in lov večjega plena. Ličinke za gradnjo lijakov najraje izbirajo suh, droben pesek. Naklon lijaka in sipanje peska proti dnu lijaka plenu otežujeta pobeg. Ko plen pade v lijak, ga zagrabijo s čeljustmi, vanj vbrizgajo strupe in prebavne encime ter utekočinjeno vsebino plena posesajo.

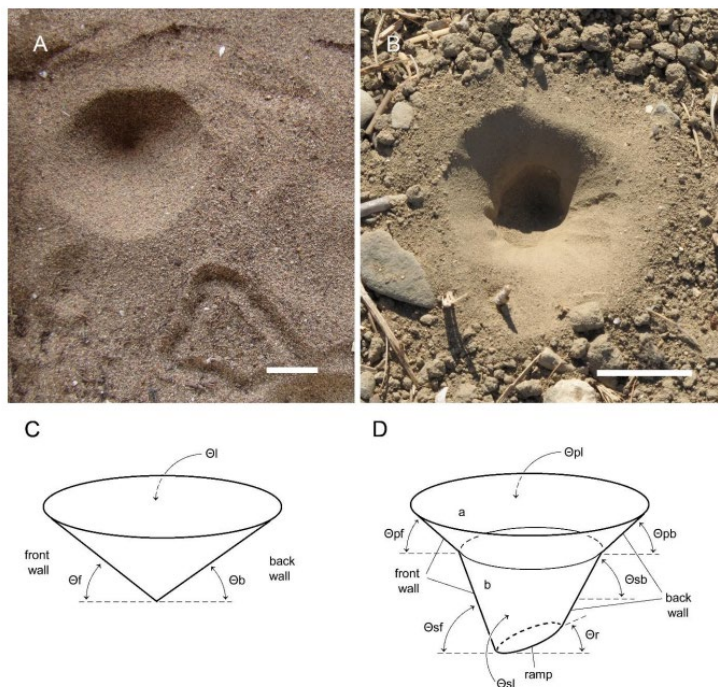
Ličinka volkca koplje lijak v pesek s spiralnim gibanjem nazaj in metanjem peska iz nastajajočega lijaka. Gradnja lijaka predstavlja velik časovni in energetski vložek, zato je učinkovita past ključnega pomena za preživetje ličinke. Ko plen zaide v past, strmina lijaka otežuje pobeg, metanje peska ličinke pa sproži peščeni plaz, ki plen odnese proti dnu (Humeau in sod., 2019). Na uspešnost lova vpliva več dejavnikov: velikost lijaka, naklon sten lijaka, velikost peščenih delcev in fizikalne lastnosti zrnatega medija.

Različne vrste volkcev lahko gradijo različno oblikovane lijakaste pasti, t.j. od pasti v obliki enostavnega narobe obrnjenega stožca do pasti v obliki dveh odsekanih narobe obrnjenih stožcev vstavljenih eden v drugega (Devetak in sod., 2020). Razlike v obliki pasti različnih vrst volkcev so nas vzpodbudile k raziskavi (Devetak in sod., 2020) povezave med geometrijo pasti in značilnostmi substrata, ki ga vrste izberejo za gradnjo. Geometrijo pasti dveh različnih vrst volkcev smo povezali z lastnostmi substrata (velikostjo peščenih delcev, kotom maksimalne stabilnosti in kotom obmirovanja). V tem prispevku predstavljamo tisti del omenjene raziskave, ki se nanaša na analizo 3D modelov peščenih pasti volkcev z metodami geometrijske morfometrije.

2 Ljakaste pasti

Za raziskavo smo uporabili ličinke dveh volkcev *Myrmeleon hyalinus* in *Cueta lineosa*. Prva vrsta gradi enostavnejše pasti v obliki narobe obrnjenega stožca, druga vrsta gradi kompleksnejše pasti v obliki dveh odsekanih narobe obrnjenih stožcev vstavljenih eden v drugega (slika 1A, B). Ličinke smo v Laboratoriju za fiziologijo živali in etologijo na FNM UM gojili v peščenem substratu. Uporabili smo substrat

iz naravnega habitata ličink kot tudi umeten substrat. Izmerili smo lastnosti substratov (velikost delcev, kot obmirovanja (α_r) in maksimalni kot stabilnosti (α_m)), ki so ključne za stabilnost sten lijakov.

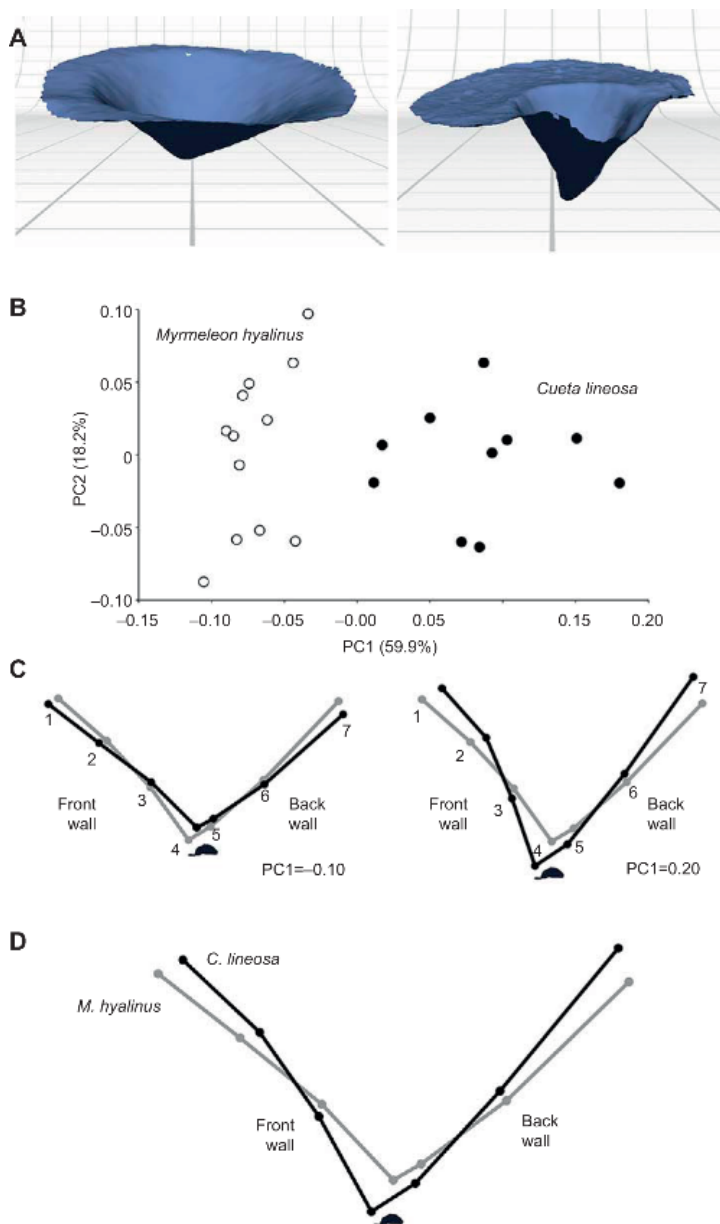


Slika 1: Pasti dveh vrst volkcev (A,C –*Myrmeleon hyalinus*; B, D – *Cueta lineosa*). Za oznake na slikah C in D glej vir: Devetak in sod. 2020

Vir: Devetak in sod. 2020.

2.1 3D skeniranje in modeli lijakastih pasti

Ličinke so v substratu zgradile lijakaste pasti, ki smo jih nato v Laboratoriju za morfometrijo FNM UM (morpholab.fnm.um.si) skenirali s prenosnim 3D laserskim optičnim čitalcem NextEngine 3D Scanner Ultra HD. Optični čitalec smo postavili na podstavek nad posodo s peskom, v kateri je bila lijakasta past. S programom NextEngine ProScan ScanStudio smo izdelali 3D model vsake pasti. Modele pasti smo uporabili za meritve kotov pasti v programu NIS-Elements D 4.20 (slika 1C, D) kot tudi za analizo velikosti in oblike pasti z metodami geometrijske morfometrije (slika 2).



Slika 2: Primerjava oblike pasti dveh vrst volkcev, *Myrmeleon hyalinus* in *Cueta lineosa*. A – 3D model pasti: *M. hyalinus* (levo) in *C. lineosa* (desno), B – razsevni diagram prve (PC1) in druge (PC2) glavne komponente, C – prikaz skrajnih oblik pasti (črni žični graf) v primerjavi s povprečjem (sivi žični graf) na PC1,

D – primerjava povprečne oblike pasti vrste *M. hyalinus* (sivi ž. g.) in *C. lineosa* (črni ž. g.)

Vir: Devetak in sod. 2020.

2.1.1 Analiza pasti z geometrijsko morfometrijo

Geometrijska morfometrija je skupina pristopov za multivariatno statistično analizo podatkov v obliki kartezijskih koordinat pridobljenih z določanjem oslonilnih točk, s katerimi opišemo obliko objektov (Adams in sod., 2013). Metoda omogoča ločeno analizo velikosti in oblike in ves čas analize v celoti ohranjajo vse informacije o relativnih prostorskih razmerjih med oslonilnimi točkami ter s tem omogoča vizualizacijo sprememb in skupinskih ali individualnih razlik v obliki objektov (Klenovšek, 2014).

Za analizo velikosti in oblike pasti z metodami geometrijske morfometrije smo uporabili 2D prereze 3D modelov pasti. Prerezi so bili pravokotni na površino peska in v sredinski ravnini telesa ličink volkcev zakopanih na dnu lijaka (slika 2C, D). Na vsakem 2D prerezu smo določili 7 oslonilnih točk (slika 2C) s programom TpsDig2 (Rohlf, 2015), s katerimi smo opisali obliko pasti. Nato smo točke vseh prerezov poravnali s Procrustovo analizo, ki je konfiguracije točk premaknila v skupno izhodišče, zavrtela in nato skalirala, tako da je bila vsota kvadratov razdalj med točkami na koncu minimalna (Rohlf in Slice, 1990). Tako smo izločili tudi vse razlike med pastmi nastale v procesom digitalizacije in dobili ločene spremenljivke za velikost in obliko pasti. Za zmanjšanje števila oblikovnih spremenljivk in prikaz morfološke variabilnosti pasti smo uporabili analizo glavnih komponent. Za prikaz spreminjanja oblike pasti vzdolž prve glavne komponente in primerjavo povprečnih oblik pasti dveh vrst volkcev smo uporabili žične grafe, ki temeljijo na interpolacijski funkciji TPS (angl. Thin Plate Spline) (Bookstein, 1991). Uporabili smo program MorphoJ (Klingenberg, 2011). Za statistično analizo smo uporabili t-test in analizo variance.

Rezultati analize so pokazali statistično značilne razlike tako v velikosti kot obliki pasti med obema vrstama. Ličinke vrste *M. hyalinus* so gradile večje, a enostavnejše pasti z bolj položnimi stenami. Pasti ličnik vrste *C. lineosa* so bile na splošno manjše, a kompleksnejše, iz dveh obrnjenih stožcev vstavljenih eden v drugega, s širšim zgornjim in ožjim spodnjim delom. Nakloni sten pasti *C. lineosa* so bili različni, tako glede na globino pasti kot lego ličinke (sprednja, zadnja stena, slika 2D). Očitne razlike med pastmi obeh vrst prikazuje tudi graf prvih dveh komponent, kjer vzdolž prve glavne komponente (PC1), ki je razložila skoraj 60% variabilnosti, med posameznimi pastmi ni bilo nobenega prekrivanja.

3 Zaključki

Ličinke *M. hyalinus* so habitatni generalisti, medtem ko so ličinke vrste *C. lineosa* habitatni specialisti (Barkae in sod., 2012). V nadaljevanju raziskave (Devetak in sod., 2020) ličinke *C. lineosa* tako niso gradile pasti v substratu *M. hyalinus* kot tudi ne v umetnem substratu, ki je bil po fizikalnih lastnostih preveč različen od njenega naravnega. Ličinke *M. hyalinus* so bile bolj fleksibilne, saj so gradile pasti v različnih substratih. V substratu, ki je bil podoben naravnemu substratu *C. lineosa*, t.j. finejši pesek z granulacijo $<110 \mu\text{m}$, so tudi ličinke *M. hyalinus* gradile podobne pasti kot *C. lineosa*. Substrat z manjšo granulacijo ali večjim deležem finega peska omogoča gradnjo pasti s strmejšimi stenami, saj ima višji maksimalni kot stabilnosti. Oblika pasti je torej odvisna od strukture substrata. Preferenca in izbira različnega substrata pa vrstama *M. hyalinus* in *C. lineosa* omogoča sobivanje z zmanjšanjem tekmovanja za prostor in plen.

Literatura

- Adams, D. C., Rohlf, F. J., Slice, D. E. (2013) A field comes of age: geometric morphometrics in the 21st century. *Hystrix*, 24(1), 1–8.
- Barkae, E. D., Scharf, I., Abramsky, Z. and Ovadia, O. (2012). Jack of all trades, master of all: a positive association between habitat niche breadth and foraging performance in pit-building antlion larvae. *PLoS ONE* 7, e33506.
- Bookstein, F. L. (1991). *Morphometric tools for landmark data*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Devetak, D., Podlesnik, J., Scharf, I., Klenovšek, T. (2020). Fine sand particles enable antlions to build pitfall traps with advanced three-dimensional geometry. *J Exp Biol*, 223 (15) <https://doi.org/10.1242/jeb.224626>
- Humeau, A., Rougé, J., Casas, J. (2015). Optimal range of prey size for antlions. *Ecol. Entomol.* 40, 776-781. <https://doi.org/10.1111/een.12254>
- Klenovšek, T. (2014). *Priročnik za uporabo geometrijske morfometrije v biologiji*. Fakulteta za naravoslovje in matematiko. Maribor.
- Klingenberg, C. P. (2011). MorphoJ: an integrated software package for geometric morphometrics. *Mol. Ecol. Res.* 11, 353-357.
- Rohlf, F. J. (2015). The tps series of software. *Hystrix* 26, 9-12.
- Rohlf, F.J., Slice, D. (1990). Extensions of the Procrustes method for the optimal superimposition of landmarks. *Syst. Zool.* 39, 40-59.

