

Kárpáti Zsolt akadémiai doktori értekezésének bírálata

Barta Zoltán

Vélemény

Nagy érdeklődéssel vettem kézhez Kárpáti Zsolt dolgozatát, mely számomra kevéssé ismert határterületen végzett kutatásokról számol be. A pályázó vizsgálatai a kukoricamoly fajon belüli és fajok közötti információ átadását tanulmányozza főleg neurobiológiai eszközökkel. Ennek részeként dolgozott a feromonok érzékelését végző receptor neuronok térbeli elhelyezkedésének feltárásán, illatspecifikusságukon, a repülés közben történő feromonérzékelés részletein, a molyok feromon alapú monitorozásán, illetve a molyok és tápnövényük, a kukoricánövény között zajló információ-átadás neurológiai alapjain. A téma rendkívül érdekes, hiszen ilyen kutatásokon jelenthetik az első lépéseket az irányba, amelyeket követve bepillantást nyerhetünk valamennyire abba, hogy az állati információfelfogás és -feldolgozás hogyan is működhet. Mivel a kukoricamoly veszélyes mezőgazdasági kártevő, így a kutatásoknak fontos gyakorlati vonatkozása is lehet, hiszen a vizsgálatok révén könnyebbé válhat a molyok “becsapása” és így kontrollálása is.

A dolgozat hat közleményen alapul, amelyek csak egy kis szeletét adják a jelölt területhez kapcsolódó munkásságának. Örömmel olvastam volna még további eredményeket is, pl. a Diszkusszióban is tárgyalt receptor expressziós vizsgálatokról. A dolgozat 6 nagy fejezetre különül, követve a tudományos művek klasszikus felosztását, úgymint: Bevezetés, Irodalmi áttekintés, Célkitűzés, Módszerek, Eredmények és Megvitatás. Mivel a dolgozat alapvetően tudományos cikkekben már közölt eredmények összefoglalója, talán szerencsésebb lett volna megtartani a cikkenkénti tagolást, hiszen így az összetartozó információk nagyon elszórva találhatók meg csak a dolgozatban, pl. az eredmények olvasásánál állandóan keresgélni kell az adott eredményt megalapozó módszerek leírását. A könnyű megtalálhatóságot nem segíti az sem, hogy a módszereknél több esetben sincs egyértelműen jelölve, hogy melyik eredményhez kapcsolódik. A dolgozat viszonylag sok elütést tartalmaz, és sajnos elég gyakoriak a magyartalan mondatszerkezetek is.

A tudományos eredmények dolgozatbeli prezentálásának értékét kissé csökkenti, hogy sokszor nem világos, pontosan milyen adatokat gyűjtöttek, analizáltak, pl. a 10. ábra klaszteranalízisének. A mintanagyságok közlése is több helyen hiányzik. Természetesen bízhatunk abban, hogy az adatgyűjtés rendben van, hiszen az eredményeket már publikálta a szerző nemzetközi szakfolyóiratokban, de jó lett volna a doktori mű bírálót is meggyőzni erről.

Az adatok elemzése néhány helyen szintén problémásnak tűnik. Nem világos például az 5.3 szakaszban alkalmazott statisztikai tesztek alkalmazása. Ha jól értem, az egy forrás

választása esetén a gyűjtött adatok azt mutatták, hogy a hím eljutott-e a forrásig vagy sem. Ez bináris (0/1) adatokat eredményez, aminek az elemzésére nem igazán alkalmas a Kruskal-Wallis teszt (35. o.). Sokkal jobb lett volna egy bináris regresszió. Szintén nem világos a Ryan post-hoc teszt alkalmazása, melyet egy parametrikus teszt, általában szignifikáns ANOVA után alkalmaznak, de itt mind a Kruskal-Wallis mind a χ^2 teszt nem-parametrikus. Továbbá, a 20. ábrán (58. o.) közel hatszoros különbség is van a különböző feromondózisokkal gyűjtött hím egyedek száma között, mégsem sikerült szignifikáns különbséget kimutatni közöttük. Miért? A módszerek szerint $\log(x+1)$ transzformációt hajtottak végre az adatokon. Nem lett volna szerencsésebb egy generalizált lineáris modellt (GLM-t) használni Poisson vagy negatív binomiális hibaeloszlással?

Általánosságban is elmondható, hogy ezen csapdázási adatok statisztikai elemzése nem biztos, hogy a legjobb módszerekkel történt. Nem világos, hogyan kezelték az ugyanazon csapdából származó adatokat? Kontrolláltak-e a csapdák térbeli közelségére? Vizsgálták-e az egyes csapdák hatását, pl. a 21. ábrán látható jelentős kiugrást okozhatta-e egy bizonyos csapda nagy fogása? Miért elemezték a 2013-as és 2014-es 3 csapdatípust összehasonlító adatokat külön, miért nem egyben, az év hatásra kontrollálva?

Mindezen apróbb hiányosságok ellenére a tézisekben felsorolt eredményeket jelentős, új tudományos eredményeknek fogadom el.

Kérdések, megjegyzések

Mint minden eredeti tudományos vizsgálat ez a doktori mű is számos érdekes tudományos kérdést/problémát vet fel.

Kémiai kommunikáció: A jelölt a kommunikációt túl szélesen értelmezi, pl. az olyan kémiai anyagkibocsátást is kommunikáció címszó alatt tárgyalja, ahol a kibocsátás csak a felfogó egyed számára előnyös (7. o: “Ha a felfogó fél számára előnyös akkor kairomonnak (Brown et al. 1970), ha a kibocsátónak egyednek származik ebből előnye, akkor allomonnak (Brown 1968) és ha mindkét fél számára előnyös akkor szinomonnak hívjuk (Nordlund and Lewis 1976) (1. ábra).”). Ez azonban eléggé szembe megy a viselkedésokológia kommunikáció definíciójával, mely szerint a kommunikáció az adó által a vevő viselkedésének manipulálása céljából, kifejezetten e célra kialakult jelzés továbbítása. Ha egy vegyület kibocsátása káros a kibocsátó számára, akkor miért bocsátja ki? Nem korrektebb ezt a jelenséget inkább kihasználásnak hívni? Pl. a légzési CO_2 kibocsátását a szúnyogok felhasználják az áldozatuk lokalizálására, de ezt nem tekintjük úgy, hogy az áldozatok direkt közlik (kommunikálják) a helyzetüket a szúnyogoknak. Másképpen, nem gondoljuk, hogy a CO_2 kibocsátás azért alakult ki evolúciósan, hogy lehetővé tegye a szúnyogok tápláléforrás-lokalizálását.

A disszertáció szerint (pl. 10. o.) a szexferomonok sokszor fajra jellemző arányokban tartalmaznak az összetevőket. Mint laikust érdekel, hogyan marad meg ez a fajra jellemző arány a terjedés során? Az aránymegmaradás feltételezi, hogy az összetevők azonos sebességgel diffundálnak. Igaz ez? Ha nem, akkor hogyan garantált az arány megmaradása?

Miért van az, hogy a nőstény lepkék csak igen kis mennyiségben termelik a szexferomonokat (12. o.)?

A disszertáció szerint a nőstények feromonmirigyekben termelnek olyan anyagokat is, melyekre a hímek nem reagálnak, vagyis amelyek nem minősülnek feromonkomponenseknek. Miért termelik ezeket a nőstények, ha látszólag nincs funkciójuk?

A dolgozat két hipotézist ismertet, amelyek magyarázhatják a szexferomonokon alapuló kommunikációt, (i) küldő-prekurzor hipotézis és (ii) az érzékelés-kihasználás hipotézist. Ezek fontossága, illetve “működőképessége” nem teljesen világos. Az érzékelés-kihasználás hipotézist a növények által, a feromonokra hasonló illatanyagok termelésével illusztrálja a szerző, de ez inkább tűnik a növényi illatanyagok evolúcióját magyarázó hipotézisnek, mint a szexferomonok kialakulását magyarázónak. A küldő-prekurzor hipotézis esetében feltétel, hogy a hímek illatanyag preferenciája megváltozzon, amikor a nőstények új illatanyagokat kezdenek termelni. Ezzel két probléma merülhet fel: Egy, miért kezdenek a nőstények új anyagokat termelni, amikor a hímek még nem érzékenyek rá? Valószínű ezen anyagok termelése nem olcsó, vagyis termelésük pazarlásnak, maladaptívnek tűnik. Másrészt, miért változna a hímek érzékenysége? A hímek illatanyagérzékelő képessége valószínűleg nem véges, így új anyagoknak az érzékelő palettára kerülése feltehetőleg csökkenti a régi, még működő anyagok érzékelési hatékonyságát, az adott hím hátrányba hozva, a többi, az új anyagot nem érzékelő hímhez szemben. A jelölt szerint a kiút ebből a 22-es csapdájából az, hogy a két változás egyszerre következik be mind a hímekben, mind a nőstényekben. A kérdés, hogy mi ennek az egyszerre-bekövetkezésnek a valószínűsége?

Mi lehet annak az oka, evolúciós magyarázata, hogy a kukoricamolynál legalább két, különböző feromon profilt produkáló vonal létezik? Pont egy éppen zajló fajképződési folyamatba sikerült belebotlani, vagy ezek lokális adaptációk a helyi környezeti viszonyokhoz?

A funkcionális topológiai elemzéseknél viszonylag alacsony a sikeres jelölés (41. o.). Emiatt nagyon kicsik a mintanagyságok az öröklődés elemzésénél (8. ábra, 43. o.). Felmerül a kérdés, hogy a jelölések sikeressége nem befolyásolhatja-e ezeket az eredményeket, pl. egyes típusoknál nagyobb a sikeresség mint másoknál. Hogyan lehetne ezt a lehetőséget kizárni?

A “Projekciós és helyi interneuronok fiziológiai jellemzése” szakaszban a jelölt azt állítja, hogy a “klaszterelemzésen alapuló dendrogram mutatja, hogy az inhibitor LN-ok, az 50:50 keverék PN-ok, a Z11-14Ac-specifikus PN-ok és a keverék PN-ok külön klaszterekbe tartoznak”. Azonban disszertációban közölt klaszter ábra nem támasztja ezt igazán alá, pl. a Z11-14Ac-specifikus neuronok és a 50:50 keverék neuronok közel fele-fele azonos klaszterbe tartozik (klaszternek az ábrán azonos színkóddal jelölt ágakat vettem), míg a keverék neuronok több klaszterben vannak szétszórva. Az, hogy az inhibitor neuronok teljesen külön klaszter alkotnak talán nem meglepő. Ez alapján nem teljesen világos, hogy mit jelentenek az eredmények, hiszen a klaszteranalízis alapján nem váltak szét a neuronok az előzetes címkézésük szerint, vagyis vagy a klaszteranalízis nem képes szétválasztani a neurontípusokat, vagy a neuronok előzetes címkézése nem korrelál jól a valódi funkciójukkal. Valószínűleg segítené a megértést, ha lehetne pontosabban tudni, hogy milyen adatokon történt az analízis.

Mi lehet az oka annak, hogy az E vonal hímjei kb. egyformán érzékenyek a két illatanyag komponensre, míg a Z vonal érzékenyebb a Z11-re (5.1.4 szakasz)?

Az 5.1.4 szakasz eredményei kodomináns öröklődést sugallnak, míg az 5.1.1 szakasz recesszív-domináns öröklődést. Mi lehet a különbség oka?

Az 5.3 szakaszban a jelölt csak a Z-vonalbeli hímek reakcióját vizsgálta a repülés közbeni feromonváltásra, az E-vonalbeliekét nem. Miért? Van-e elképzelése az E-vonal hímjeinek viselkedéséről?

Van-e elképzelése a jelöltnek arról, hogy miért pont a nonanal és a dekanal kukorica illatanyagok váltottak ki választ a molyokból? A hímekre is hatnak ezek az anyagok?

A 26. ábrán bemutatott eredmények szerint a kukoricabogárral fertőzött kukoricanövényen fejlődő lárvák jobban túléltek, nagyobb tömegre tettek szert, többet ettek mint a kontroll növényeken fejlődők. Ennek ellenére a fertőzött növényeket alig választották a nőtények. Mit gondol a jelölt, miért? Mennyire reális a növényeken tapasztalt 6-8%-s túlélési arány? A természetben is ennyi lehet? Különösen érdekes ez az alacsony túlélés annak fényében, hogy a 29. ábrán sokkal magasabb túlélési arányról (30-40%) számol be a jelölt.

Eredményei alapján a szerző levonja a következtetést, hogy “több, egy időben jelenlévő forrás esetében a [feromon] specificitás nagymértékben csökken”. Mi lehet ennek az oka?

Részletek

- 4. o, Bevezetés: A *Bevezetés* alig tartalmaz irodalmi hivatkozásokat. Bár van egy külön *Irodalmi áttekintés* fejezet, e fejezetből fájóan hiányoznak a hivatkozások.
- 6. o.: Hivatkozások hiányoznak, pl. “A szemiokemikáliák már a legprimitívebb élő szervezeteknél, például a baktériumoknál is megtalálhatók.”
- 8. o, “A feromonok esetében a hatás kifejtéséért egy vagy több vegyület együttes előfordulása szükséges.”: Egy vegyület nem fordulhat elő együttesen.
- 9. o.: “Azz” -> “Az”
- 10. o.: “feromonok felelősek a hímek és nőtények egymásra találásában” -> “találásáért”
- 10. o.: “egy, két vagy három összetevőből álló keverékből állnak” -> “egy, két vagy három összetevőből állnak”
- 11. o.: “hemofimfába” -> “hemolimfába”
- 12. o.: “Al levélbolhák” -> “A levélbolhák”
- 15. o.: “szájszerven elhelyezkedő szenzillában helyezkednek el” -> “szájszerven található szenzillában helyezkednek el”
- 15. o., “Egy glomerulusba csak olyan ORN axonok futnak be melyek csak egyféle OR-t expresszálnak, ebből következően minden egyes glomerulus egy illatanyagért felelős”: Hova futnak be azon ORN-ek (olfactory receptor neuron), amelyek több OR-t expresszálnak, ahogy az az előző szakasz végén kiderül?
- 16. o., “az acetmuslica [...] esetében 52 glomerulust írtak le”: Ez azt jelenti, hogy az acetmuslica csak 52-féle illatot képes érzékelni?
- 16. o., 4. ábra: Az ábrán magán “MGC” szerepel, de az ábramagyarázatban “MGK”.
- 19. o.: “tápnövényét írt le” -> “tápnövényét írta le”
- 22. o.: “fókustálva” -> “fókuszálva”
- 25. o.: “aratam”??
- 25. o., “Általánosságban elmondható, hogy a két vonal hímjei igen érzékenyek a feromonkomponensek pontos arányára, amiből az következik, hogy a hibridizáció

esélye igen alacsony.”: Ebből csak akkor következik az alacsony hibridizációs esély, ha a nőstények feromon termelése is igen specifikus.

- 25. o.: “feromonkánál” -> “feromonoknál”
- 29. o.: A 4.4-s szakasz címe dőlt betűs, eddig félkövérrel voltak szedve az ilyen címek.
- 30. o.: “elvékonyított vége” -> “elvékonyított végét”
- 32. o.: “A feromon stimulusokat minden kísérleti napon a stimulusokat frissen készítettem el.”
- 32. o., “A csápválaszok amplitúdóit lemértem, és ugyanarra a stimulusra adott válaszokat átlagoltam, majd a kontroll értékhez normalizáltam. A Z11-14Ac választ elosztottam az E11-14Ac válasszal.”: Miért és hogyan normalizált a kontroll értékhez? Miért osztottal el a Z11-es választ a E11-essel?
- 34. o.: “tüske amplitúdójának alapján el tudtam” -> “tüske amplitúdó alapján el tudtam”
- 34. o.: Ha Kruskal-Wallis tesztet használt az elemzésre, ami egy nem parametrikus módszer, akkor miért az átlagokat hasonlította a parametrikus Tukey HSD tesztel?
- 34. o.: A 6. ábra után rögtön a 14. ábra következik. Miért? És hol van a 14. ábra (OK, valahol több tízoldallal később kerül elő).
- 35. o.: Mik az adatok, amiken a teszteket végezték?
- 36. o.: Nem világos, hogy a LED fény sor hogyan teszi láthatóvá a feromon mindenkori helyét a légáramban. LED hullámhosszán láthatóvá válik a feromon? Vagy csak becslik a feromon helyét, feltételezve, hogy a feromonfront a légáramlat sebességével terjed? Egyébként miért fontos a front helyének ismerete?
- 36. o.: Mik az adatok? Mik lettek lemérve a videófelvételekről?
- 37. o.: A növényi illatanyagokra adott reakciókat különböző viselkedési elemekkel mérték. Nem világos azonban, hogy mit rögzítettek, csak az egyes elemek előfordulási gyakoriságát, vagy az előfordulás idejét is (nem mindegy, hogy egy moly 10 mp alatt ér az illatforráshoz, vagy 10 perc alatt).
- 39. o.: “minkét” -> “mindkét” de egyébként nem inkább “mindhárom”?
- 39. o., “kísérleteket öt ismétlésben végeztük”: Ez mit jelent? Öt terület? Típusonként 5 csapda? Öt időpont?
- 39. o., “A csapdákat hetente ellenőriztük”: Vagyis a hetente megfogott egyedek száma az adat? Kontrollálták-e arra, hogy az ugyanazon csapdából származó adatok nem függetlenek egymástól?
- 42. o.: A 7. ábra C és D panelén a neuronok kontrollra adott reakciója nagyon hasonlít a Z11-re adott reakcióra. Hogyan lehet ezt elkülöníteni? Ugyanitt: mi az a Z11-14:OAc? Eddig Z11-14Ac szerepelt.
- 43. o.: A 7. ábra után miért a 9. következik a szövegben?
- 45. o., 9. ábra A panel felett: Mi az a “E11-14 PN”? Nem “E11-14Ac PN”-nek kellene lennie?
- 50. o.: “megmértem a Z11- és E11-14:Ac-ra adott hímek csápválaszát” -> “megmértem a hímek Z11- és E11-14:Ac-ra adott csápválaszát”
- 50. o.: “14B” -> “13B”?
- 52. o., 13B. ábra: Mit jelentenek a színek a korongokban? A komponens listák melletti vonalak mit jelentenek?

- 53. o.: $100\% - 10\% = 90\%$ az nem közel 100% !
- 56. o., 17C. ábra: Az ábra, mely a megfogott hímek számát mutatja az idő függvényében félrevezető, mivel a vízszintes tengelyen egyenlő távolságokra eltérő időtartamok vannak felvéve. Továbbá a módszerek szerint a “csapdákat hetente” ellenőrizték (39. o.), ami valószínűsíti, hogy heti bontásban vannak adataik a megfogott hímek számáról. Nem világos, hogy ezen az ábrán miért nem jelenik meg ez a heti felbontás?
- 59. o.: “51:50” $\rightarrow$ “50:50”?
- 59. o., 22. ábra: Miért vannak kis és nagy betűk?
- 59. o.: A 2015-ös kísérletben két területen csapdáztak feromonkomponensek különböző arányaival, annak kiderítésére, hogy a két területen melyik feromon vonal van jelen. E két terület kb. 30km-re van egymástól. Mennyire reális azt várni, hogy ilyen közel két vonal legyen jelen? Van erre irodalmi adat?
- 60. o., “Bicskén a rendszeres csapdaellenőrzésből adódóan 2015-ben nyomon tudtuk követni a kukoricamoly rajzásdinamikáját (23. ábra)”: A Módszerek szerint hetente ellenőrizték minden csapdás vizsgálatnál a csapdákat. Miért csak itt vizsgálták az időbeli lefolyást?
- 60. o., 23. ábra: A vízszintes tengely időbeosztása itt sem korrekt, teljesen más időintervallumokat (pl. 3 nap vs 20 nap) reprezentál ugyanolyan távolság.
- 73. o.: A jelölt felveti, hogy a glomerulusok mérete a receptor neuronok méretével arányosak, de nem igazán találtam meg az erre vonatkozó számszerű eredményeket a dolgozatban.
- 76. o.: A jelölt egy teljes oldalt szentel a feromon receptor expressziójának, de nem világos, hogy ez hogyan kapcsolódik a dolgozatban bemutatott vizsgálatokhoz. E szakaszban (77. o.) hivatkozik az “Rz”-re, mint fontos evolúciós lépcsőre, de nem derül ki, mi is az az Rz.

Összegzés

A fentebbieket összegezve, megállapítható, hogy Kárpáti Zsolt, az apróbb hiányosságoktól eltekintve, egy jelentős és eredeti, nemzetközi folyóiratokban már közölt tudományos eredményekről beszámoló akadémiai doktori művet nyújtott be. A prezentált munka fontos értékének tartom, hogy számos területen villantja fel az új, gyakorlati szempontból is jelentős eredményekkel kecsegtető továbblépés lehetőségét. Mindezek alapján javaslom a nyilvános vita kitűzését és Kárpáti Zsolt akadémiai doktori művének elfogadását.

Debrecen, 2025. október 9.



Barta Zoltán