

Válasz Dr. Bakonyi Gábor bírálatára

Köszönöm szépen Dr. Bakonyi Gábornak, hogy doktori dolgozatomban bírálójaként megtisztelte munkámat figyelmes és alapos szakmai értékelésével. Külön hálával tartozom a bírálat gondos, körültekintő és szakmailag igényes elemzéséért és a szakmailag megalapozott kérdésekért.

Formai kritikákra adott válasz

Köszönöm, hogy észrevette és felhívta a figyelmet a formai hibákra. Egyetértek, hogy a szövegben testsúly helyett testtömeget kellett volna használnom. Ellenben a dózis szót a dolgozatban helyesnek tartom, mert a feromoncsapdázással kapcsolatos kísérletekben egy bizonyos dózist, vagy anyagmennyiséget (1 ug, 10 ug stb.) mértem rá a kibocsátó kapszulára, nem pedig koncentrációt, ami azt írja le, hogy milyen arányban van egy adott anyag egy adott térfogatban (pl. 10 ug/ul). Talán szerencsésebb lett volna anyagmennyiséget írni dózis helyett.

Köszönöm az észrevételt, igen az első említésnél jobb lett volna kapcsos zárójelbe tenni az *Ostrinia* szó előtt, majd zárójelbe tenni a Hübner 1796 részt és kapcsos zárójellel befejezni ezt a mondatrészt.

Igen, sajnos a 26A ábra szerkesztése közben egy hiba történt és ott tényleg 3 csillagnak kell lennie, mivel nagyon nagy különbség volt a kukoricabogárral fertőzött és az egészséges növényekere rakott tojások és tojáscsomók száma között.

Egyetértek, egy külön függelékben kiírhattam volna a tényleges p értékeket. Elfogadom, hogy a p -értékek önmagukban nem feltétlenül informatívak a hatások biológiai relevanciájáról, így a hatásmagyság számítása és közlése minden statisztikai eredmény értelmezését alapvetően segíti. Ez egy fontos szempont például a koncentráció-válasz görbéknél (ahogy a 20. ábra esetében is), hiszen ott sokszor statisztikailag szignifikáns, de biológiailag marginális eltéréseket is találhatunk.

A statisztikai próbák alkalmazási feltételeinek ellenőrzését minden esetben elvégeztem (normalitás, varianciahomogenitás, stb.), de ezek explicit leírását valóban bele kellett volna foglalni a módszertani részbe, vagy legalább egy függelékben összefoglalni.

Köszönöm a Kruskal–Wallis teszthez fűzött helyesbítést is: a post-hoc Dunn-teszt valóban megfelelőbb mint a Tukey-féle teszt nemparaméteres összehasonlításokra.

Kérdésekre adott válaszok

1. Kérdés

Köszönöm a kérdést. Sajnos az axon átmérője és a glomerulus térfogata közötti összefüggéssel kapcsolatban szakirodalmi keresésem során arra jutottam, hogy nem végeztek 2010 óta további kutatásokat rovarok esetében. Ellenben egereknél Bressel és mtsai, 2016-ban szintén lineáris korrelációt találtak a szagló receptor neuronok száma és a szaglólebenyben elhelyezkedő glomerulusok mérete között. Azaz ha a

neuronok száma magasabb a glomerulus térfogata nagyobb. Sajnos ez is „csak” egy 2016-ben publikált eredmény. Erre hivatkozhattam volna a dolgozatban, de mivel elég távol állnak az emlősök az ízeltlábúaktól, illetve nem pontosan az axon átmérő és a glomerulus mérete közti összefüggést tárgyalja, ezért ezt nem tettem.

Az utóbbi években az axonok mérete/száma és a glomerulusok mérete közötti összefüggés kutatása nem tűnt el, inkább szerkezeti-szinaptikus irányba fejlődött tovább, különösen a modellfajok, például a *Drosophila* esetében. Gruber és mtsai 2025-ben leírták, hogy a glomerulus mérete és az idegrostok sűrűsége a szinaptikus specializációkhoz kapcsolódik: A „szűken hangolt” glomerulusok (pl. DA2) több, vastagabb axont és nagyobb szinaptikus sűrűséget tartalmaznak, ami fokozza a jelátvitelt alacsony illatanyag-koncentrációknál. Ezen kívül szintén ez a cikk tér ki arra, hogy a glomerulusméret nem csupán a különböző neuronok számát tükrözi, hanem a szagló receptor neuron és a projekciós neuron kapcsolatok erősségét és topológiáját is, ami eltérhet a különböző glomerulus típusok között.

Összefoglalva ma már a glomerulusméretet multifaktoriális jellemzőként értelmezik, amely magában foglalja az axonmorfometriát, szinaptikus sűrűséget, receptor-expressziót és plasztikus átrendeződéseket. Tehát a kutatási irány nem tűnt el, hanem klasszikus morfológiai leírásokból egy finomabb, szinaptikus funkcionalításra építő paradigmává nőtt ki magát, amely ma a legaktuálisabb megközelítésnek számít a rovarok olfaktorikus rendszerének tanulmányozásában.

2. Kérdés

Köszönöm a kérdést. A választ azzal kezdeném, hogy lepkék esetében a feromon felfogásért felelős receptorok igen szűken hangoltak, a legtöbb esetben egy receptor csak egy specifikus feromon komponenst képes felfogni. Az „egy neuron–egy receptor” rendszer szintén alkalmas az interspecifikus kommunikációra, vagyis arra, hogy elkerülje a közel rokon faj nőténye által termelt feromonra repülést. Ugyanakkor ha 1 neuronon több ugyanolyan funkciójú receptor található, akkor az kiterjeszti az információfeldolgozás és érzékelés módját, különösen, ha interspecifikus kommunikációra van szükség. Más szóval az 1 neuron több receptor rendszer gyorsabb, több fajra kiterjedő viselkedési választ eredményezhet főleg abban az esetben, ha több, közel rokon faj szinatriában van jelen egy adott területen. Ennek evolúciós jelentősége az lehet, hogy a hímek gyorsabban el tudják kerülni például más fajok nőtényeinek zavaró jeleit, minimalizálva a kereszteződés esélyét. Ez persze csak találgatás, ennek a rendszernek a különlegességét, jelentőségét tovább kellene kutatni.

3. Kérdés

A hímek feromonokra adott viselkedési válaszána neurofiziológiai hátteréről szóló legújabb eredmények alapján ma már világos, hogy a folyamat többlépcsős: a specifikus feromonreceptorok aktiválódásával indul a periférián, ezen jelek aztán a szaglólebeny makroglomeruláris komplexén (MGK) keresztül projekciós neuronok

segítségével specializált idegi pályákon jutnak tovább az agy megfelelő viselkedési központjaiba általában az oldalsó lebenybe érintve a gombatestet ahol a tanulás és a memória központ található.

Az MGK-ból kilépő neuronok három fő pályán haladnak (medialis, mediolaterális, laterális tractus). Chu és mtsai 2020-as munkájukban kimutatták, hogy a laterális tractus "gyors, robusztus" viselkedési válaszokat közvetít, amelyek a gyors irányváltáshoz szükségesek, szemben a medialis tractussal, amely inkább a jel "minőségét" (fajra jellemző feromon összetétel) kódolja lassabban és precízebben.

Molekuláris szinten, Wang és mtsai 2024-ben új receptort és annak szerkezeti sajátosságát határozták meg gyapottok bagolylepke (*Helicoverpa armigera*) esetében. Ez a *HarmOR11* receptor volt, amely a II-es típusú, általában telítetlen szénhidrogének közé tartozó feromonokra érzékeny. Ez nemcsak receptor-újdonlás, hanem azt is mutatja, hogy a különböző típusú jelzések feldolgozása jól szeparálható a perifériás érzékelés szintjén is.

Endokrin modulációval kapcsolatban, az ipszilon bagolylepke (*Agrotis ipsilon*) esetében bizonyították, hogy a hímek feromonérzékenysége nem statikus, hanem hormonok (pl. juvenilis hormon) és a táplálkozási állapot is modulálja a feromonfelfogás érzékenységét és a viselkedési válasz erősségét – például egy tápanyagban gazdagabb táptalaj vagy emelkedett juvenilis hormonszint növeli a feromon jelekre adott választ (Debernard et al., 2025; Force et al., 2025; Force and Debernard, 2025).

Ecetmuslicával (*Drosophila melanogaster*) kapcsolatban újabban kimutatták, hogy a hímek feromonokra adott válasza összetett multimodális integráció, ahol hang-, vizuális- és feromon ingerek összekapcsolva – egy adott neurális körön belül – döntik el, hogy a viselkedési válasz (pl. párási próbálkozás, udvarlás) kiváltódik-e (Palacios-Muñoz and Clemens, 2025).

4. Kérdés

Véleményem szerint az undekán a biológiai védekezési stratégiákba integrálható lehetne a kukoricamoly ellen. Repellens vagy tojásrakás gátlóként lehetne alkalmazni, aminek következtében csökkenne a kukoricára lerakott tojások száma, ezáltal csökkentve a kártételt.

Az undekán alkalmazása kis ökológiai lábnyommal bír, mivel elég lenne igen kis mennyiségben kijuttatni a növényekre, vagy pl. csak egy kibocsátóba ahol a növény közvetlenül nem is érintkezne az undekánnal. Így jól illeszthető a biológiai védekezési stratégiákba, mint például a természetes ellenségek (pl. parazitoidok) támogatása mellett alkalmazott taszító anyag.

Az undekán nem pusztítaná el a kártevőt, csak távol tarthatja vagy megzavarhatja a viselkedését, így önmagában kevésbé hatékony, mint a kémiai inszekticidek. Egyedül, úgy gondolom, nem lenne elég a populációk tartós, gazdaságilag elfogadható szintű szabályozására, ezért inkább kiegészítő eszközként lehetne használni más kezelésekkel együtt. Hozzá kell tennem, hogy szabadföldi vizsgálatokat nem végeztem az undekánnal, ezért a várható hatást sem tudom megmondani.

5. Kérdés:

A hernyók kezdeti tömegének egységességét úgy igyekeztünk biztosítani, hogy frissen kelt egyedeket használtunk mind a kontroll, mind a kezelt csoportokban. Ezeket azonban nem mértük meg egyedileg, amit azzal indokoltunk, hogy egy növényre több hernyót helyeztünk el – ez jól tükrözi a természetes viszonyokat, ahol egy tojáscsomó átlagosan 10 tojást tartalmaz, és a különálló egyedek későbbi visszakeresése, jelölése ilyen kicsi lárvastádiumnál technikailag nem kivitelezhető. Így sem az egyedi tömeg mérésének, sem a későbbi egyedi beazonosításnak nem volt értelme, mivel a tömegek szétválasztása és nyomon követése nem megoldható ebben a kísérleti beállításban.

Mindezek alapján a kiinduló paramétereket (kezdeti tömeg) a csoporton belüli véletlenszerű keveredés véleményünk szerint kiegyenlíti, tehát biológiailag életszerű és gyakorlati szempontból releváns módszert alkalmaztunk.

6. Kérdés

A kukoricán és a szintetikus táptalajon nevelt lárvák közötti relatív testtömeg-növekedés jelentős különbsége elsősorban a táplálék tápértékében keresendő. A mesterséges táptalajokat általában úgy tervezik, hogy maximalizálják a lárvák növekedését, és jellemzően könnyen felvehető, kiegyensúlyozott tápanyagokat tartalmaznak, ami sokkal nagyobb súlynövekedést eredményezhet, mint a természetes növényi szövetek, ahol a másodlagos anyagcseretermékek, vagy alacsonyabb tápanyag-koncentráció korlátozhatja a lárvák fejlődését.

Ezzel szemben a kukoricán tartott lárvák sokkal kisebb testsúlygyarapodást mutattak (29. ábra C), ami valószínűleg a növény természetes fizikai és kémiai védekezésével, valamint a komplex szövetmátrixszal magyarázható, amely gátolhatja a táplálékfelvételt és a tápanyagok hasznosítását. Ezek a tényezők együttesen magyarázhatják, hogy miért volt a kukoricán csak ~10%-os, míg a mesterséges táptalajon ~220%-os a növekedés.

Fontos megjegyezni, hogy a kukoricán tartott állatok esetében 1-es lárvastádiumú, míg a mesterséges táptalajon 2-es lárvastádiumú hernyókat használtunk. A kis hernyók (1-es stádium) nagyon érzékenyek az áthelyezésre (ami a túlélési arány kb. 30%-ában is megmutatkozott), illetve ebben a kísérletben egy növényre több hernyót is helyeztünk, ami versenyhelyzetet eredményezett. A mesterséges táptalaj esetében, ahol 2-es lárvastádiumot használtunk, a lárvák robusztusabbak, és egyedül kerültek elhelyezésre, így a túlélésük jóval magasabb volt (kb. 90%), és a versenyhelyzet sem alakult ki. Ezek együttesen okozhatták a nagy eltérést.

Az undekán kezeléssel kapcsolatban: a kezelés hatása a lárvatömegre csak a kukoricán nevelt lárváknál volt kimutatható, míg a mesterséges táptalajon nem volt észlelhető hatás. Ez arra utal, hogy az undekán biológiai aktivitása kontextusfüggő, és szükség lehet a kukoricán található, egyéb növényi jelek jelenlétére ahhoz, hogy a

lárvák táplálkozási viselkedésére hasonlít. A mesterséges táptalajban hiányoznak ezek a növényi jelek, ezért az undékán önmagában nem fejtett ki mérhető hatást. Az ilyen kölcsönhatásokat közvetítő további jeleket munkám során nem azonosítottam.

Irodalomjegyzék

- Bressel, O.C., Khan, M., Mombaerts, P., 2016. Linear correlation between the number of olfactory sensory neurons expressing a given mouse odorant receptor gene and the total volume of the corresponding glomeruli in the olfactory bulb. *J Comp Neurol* 524, 199–209.
<https://doi.org/10.1002/cne.23835>
- Chu, X., Heinze, S., Ian, E., Berg, B.G., 2020. A Novel Major Output Target for Pheromone-Sensitive Projection Neurons in Male Moths. *Front Cell Neurosci* 14, 147. <https://doi.org/10.3389/fncel.2020.00147>
- Debernard, S., Aguilar, P., Maria, A., Fuentes, A., Couzi, P., Bozzolan, F., Gassias, E., Force, E., 2025. Endocrine responses in the pheromone induction of male sexual maturation in an insect. *Insect Biochemistry and Molecular Biology* 183, 104365. <https://doi.org/10.1016/j.ibmb.2025.104365>
- Force, E., Debernard, S., 2025. Endocrine regulation of reproductive behaviors in insects: a comprehensive review. *Current Opinion in Insect Science* 69, 101360. <https://doi.org/10.1016/j.cois.2025.101360>
- Force, E., Suray, C., Monsempes, C., Fuentes, A., Maria, A., Debernard, S., 2025. Modulation of sex pheromone detection by nutritional and hormonal signals in a male insect. *J Exp Biol* 228, JEB249807. <https://doi.org/10.1242/jeb.249807>
- Gruber, L., Cantera, R., Pleijzier, M.W., Niebergall, M., Steinert, M., Pertsch, T., Hansson, B.S., Rybak, J., 2025. The unique synaptic circuitry of specialized olfactory glomeruli in *Drosophila melanogaster*. *eLife* 12, RP88824. <https://doi.org/10.7554/eLife.88824>
- Palacios-Muñoz, A., Clemens, J., 2025. *Drosophila* males integrate song and pheromones using context-specific strategies. <https://doi.org/10.1101/2025.07.25.666755>
- Wang, C., Cao, S., Shi, C., Guo, M., Sun, D., Liu, Z., Xiu, P., Wang, Y., Wang, G., Liu, Y., 2024. The novel function of an orphan pheromone receptor reveals the sensory specializations of two potential distinct types of sex pheromones in noctuid moth. *Cell Mol Life Sci* 81, 259. <https://doi.org/10.1007/s00018-024-05303-2>

Budapest, 2025. november 28.



Kárpáti Zsolt