

**Egyetemi doktori (PhD) értekezés tézisei**

**Vízirovarok (Coleoptera, Heteroptera) évszakos és napszakos  
diszperziójának sajátosságai**

**Ph.D. theses**

**Characteristics of diel and seasonal dispersal of aquatic insects  
(Coleoptera, Heteroptera)**

**Boda Pál**

Témavezetők:

dr. Csabai Zoltán tanszékvezető egyetemi docens

dr. habil. Nagy Sándor Alex tanszékvezető egyetemi docens



**DEBRECENI EGYETEM  
Juhász-Nagy Pál Doktori Iskola**

**Debrecen, 2010.**

**1. Bevezetés** Az édesvizek folyamatosan változnak és ezzel együtt a vízirovarok számára biztosított életterek által nyújtott feltételek (fizikai, kémiai, biológiai jellemzők) is változnak, ezért a repülés képessége és a migrációs hajlam a vízirovarok számára a túlélést jelentheti, mind individuálisan, mind a populáció szempontjából. Az állandó vízterek fajai számára a diszperziós hajlam előnytelen a túlélés szempontjából, mivel kis valószínűséggel találnak egy ugyanolyan megfelelő élőhelyet, azonban az ideiglenes habitatok fajainak ez a képesség feltétlenül szükséges a túléléshez. A vízirovarok jelentős része a tojás lerakására alkalmas kisvizet keres tojásrakáskor, melyek hamarabb átmelegsznek, jobban átvilágítottak, kevesebb a ragadozó és ezért sokkal nagyobb esélye van az utódok túlélésének. Ősszel a fajok egy része áttelelésre alkalmas mélyebb vizet keres, amelyek télen nem fagynak be fenéig. A diszperzió intenzitásának éves változásai és az a képesség, amivel különbséget tudnak tenni az egyes vízterek között lehetővé teszik azt, hogy a vízirovarok mindig az arra legmegfelelőbb vízterekben tartózkodjanak a szaporodási és az áttelelési időszakokban.

**2. Irodalmi áttekintés és célkitűzés** A vízirovarok diszperziós jelenségéről a napszakos ritmust kivéve számos adattal rendelkezünk. A publikációk következtetéseit összefoglalva azt mondhatjuk, hogy a vízirovarok diszperzióját általában nem túl magas hőmérsékletű, szélmentes időben figyelhető meg, amikor a polarotaktikus vízetektálás segítségével a legnagyobb valószínűséggel ismerik fel a keresett vízteret. A diszperzió legelső fázisát a levegőbe emelkedést leginkább az elhagyott élőhelyben bekövetkező negatív hatások (pl.: kiszáradás, táplálékhiány); populációdinamikai jelenségek (pl.: denzitás növekedés); élettani és anatómiai tényezők (pl.: röpképesség); továbbá fenológiai vagy szaporodásbiológiai tényezők befolyásolják. A levegőben tartózkodást elsősorban a szél, a hőmérséklet és a fény mennyiség befolyásolhatja. Az új élőhely megtalálását, tehát a víztér detektálhatóságát elsősorban a fizikai tényezők határozzák meg, ebben kiemelt szerep jut a nap elevációs szöge változásának. A korábbi kutatók eredményei arra engednek következtetni (az előbb felsoroltak figyelembevételével), hogy a diszperziós aktivitásnak éves és napi ritmusa is van, melyek faji szinten és földrajzilag is eltérő lehet. A tudományos jellegű munkák többsége vagy fénycsapdás metodikával, laboratóriumi kísérletekkel vagy jelölés visszafogásos módszerrel gyűjtött adatokon alapszik. Ezen módszerek egyike sem alkalmas arra, hogy a természetben megfigyelhető jelenséget és annak dinamikáját pontosan leírják. Vizsgálatsorozatunk során ezért egy új mintavételi módszer segítségével arra kerestük a választ, hogy a rovarok diszperziójában megfigyelhető-e valamiféle tendencia akár évszakos, akár napszakos vonatkozásban. Választ kerestünk arra, hogy milyen tényezők befolyásolják

leginkább a diszperziót. Eredményeink alapján végül egy faj diszperziós jellemzőit vizsgáltuk meg részletesen.

**3. Anyag és módszer** Mintavételi helyünket a Hortobágyi Nemzeti Park területén található, közigazgatásilag Tiszafüredhez tartozó Hagymás-lapos mocsár mellett jelöltük ki. A mintavételeinket 2005. évben 13. és a 43. hét között, heti gyakorisággal, 30 mintavételi alkalommal végeztük. Minden mintavételi napon 24 óra időtartamban (reggel 8 órától másnap reggel 8 óráig), óránkénti bontásban gyűjtve az érkező vízirovarokat. A vízirovarok látórendszere képes a fénypolarizációt érzékelni. A diszperzió szempontjából azért fontos ez a jelenség, mert a polarotaktikus vízirovarok számára polarizáció-látásuk szolgáltat információt a tájékozódáshoz, árulkodik a víz jelenlétéről, ezáltal teszi lehetővé új élőhelyük felkutatását. A fényesen csillogó felületek (pl.: autók motorháztetője, fekete mezőgazdasági fóliák, függőleges üvegfelületek) – amelyekről a visszaverődő fény polarizációfoka és iránya megegyezik a víztükről érkezővel – megtéveszthetik a fénypolarizáció-érzékeny látórendszerrel rendelkező állatokat, mivel horizontálisan poláros vízfelszínnek tűnnek számukra. A vízfelszínnek ilyen mesterséges felületekkel történő modellezésével csapdába ejthetők a vízirovarok, ezért vizsgálataink során ezt kihasználó módszert alkalmazva gyűjtöttük be az egyedeket. A módszer tesztelését 2004. év folyamán végeztük el a fóliák színe, mérete és víztértől való távolsága vonatkozásában. A disszertáció tartalmazza az általunk használt új polarotaxison alapuló mintavételi eljárás kidolgozásának és tesztelésének eredményeit is, mert a metodika maga is tudományos érdeklődésre tarthat számot. 2000. évben végeztük az első vizsgálatsorozatot, amely egy még nem tesztelt módszerrel elvégzett tájékozódó jellegű kutatás volt, melynek eredményei arra ösztönöztek minket, hogy 2005. évben egy már tesztelt és részletesen kidolgozott módszer alapján egy teljes éven keresztül nyomon kövessük a diszperziót. A fentiek értelmében a disszertációban a 2005. évben végzett diszperziós vizsgálatokat tartjuk kiindulási alapnak, mert ekkor egy egész vegetációs periódust nyomon tudunk követni, egy már tesztelt mintavételi eljárással. A 2000. évi adatsor a levont következtetések alátámasztására, esetleg ellenpéldaként szolgál, az ezévi adatokat kizárólag a napszakos mintázatok váltásának illusztrálásánál és egy faj diszperziós dinamikájának részletes értékelésénél használtuk fel. A vízirovarok begyűjtését 3 darab a víztér szélétől 30 méter távolságban elhelyezett, 9×3 méter területű, fekete színű fóliák alkalmazásával végeztük. Vizsgálataink során folyamatosan regisztráltuk a diszperzióra hatóképesnek minősíthető környezeti paramétereket, elsősorban a meteorológiai háttérváltozókat (szélsebesség, szélirány, hőmérséklet, relatív páratartalom, fénymennyiség).

Az elővizsgálatok eredményeinek értékelésére a különböző repülési intenzitású órák különbségei miatt kovariancia-analízist végeztünk (kovariáns az időtényező), melyet utólagos Tukey HSD tesztekkel egészítettünk ki a pontos páronkénti különbségek felderítésére. A klaszteranalíziseket a fajonkénti egyedszám adatok esetében Bray-Curtis index, míg a fajkészlet adatoknál Sørensen index alapján, teljes lánc módszerrel készítettük. A háttérváltozók lehetséges hatását a diszperzióra Spearman-rangkorreláció alkalmazásával (nem normál eloszlású adatok) mutattuk ki. Az egyes főlíák fogási adatainak összevetéséhez egyutas varianciaanalízist alkalmaztunk, az adatokat a normál eloszlás biztosítása érdekében logaritmikus transzformációnak vetettük alá. A *Sigara lateralis* ivarainak évszakos mintázatainak összehasonlítására szintén logaritmikus transzformáció után elvégzett páros t-teszteket, míg a napszakos diszperziós mintázat összehasonlítására Wilcoxon páros előjelteszteket használtunk. Az egyes évszakokban a napszakos diszperziós mintázatok közti különbségek kimutatására elsődleges válaszgörbe (principal response curves, PRC) analízist alkalmaztunk.

#### 4. Eredmények

**4.1. A mintavételi módszer bevezetése, tesztelése:** A diszperzió egész napon át tartó nyomon követésére egy új módszert dolgoztunk ki, melynek elvi alapja az a biofizikai tény, hogy a vízirovarok látórendszere képes a fénypolarizációt érzékelni. A módszer tesztelése során 5 különböző színű fólia fogási hatékonyságát is megvizsgáltuk. Eredményeink alapján a fekete és a piros színű fólia kimagaslóan nagy egyedszámot és fajszámot „produkált”, míg a sárga, átlátszó és fehér főlíák messze alulmaradtak az előző kettő eredményeitől. A fekete és a piros fólia között szignifikáns különbséget nem tudtunk kimutatni, míg a másik három fólia eredményei szignifikánsan különböztek ezektől. A sárga, átlátszó és fehér főlíák szinte csak akkor „fogtak” rovarokat, amikor felszínük az esti lehülés következtében bepárásodott. A fogási hatékonyságot különböző méretű főlíákkal is teszteltük. A 9×3 méteres fólia mind abszolút egyedszámban, mind fajszámban kimagasló eredményeket mutatott. A 15×5 méteres főlíához képest is majdnem duplája volt az egyedszám. A 9×3 méteres főlíáról 9 olyan faj került elő, amely a többi méretről nem, és emellett az összes olyan fajt „fogta” amelyet a többi fólia is, a legtöbb esetben a többinél nagyobb egyedszámban. A víztértől különböző távolságra elhelyezett főlíákon a távolság növekedésével az összes egyedszám folyamatos csökkenését tapasztaltuk. A fajszám némiképp emelkedett 60 méteres távolságig, attól távolabb azonban fokozatosan csökkent a fogási hatékonyság. Az egyes fajok a távolságra különbözőképpen reagáltak. Egyes fajok (*Helochares obscurus*, *Hygrotus inaequalis*)

egyedszáma folyamatosan, drasztikusan csökkent, más fajok egyedszáma a távolsággal folyamatosan nőtt (pl.: *Hydrobius fuscipes*), míg ismét más taxonok egyedszáma nagyjából egy szinten maradt (pl.: *Helophorus* spp.). Az elővizsgálatok tapasztalataiból kiindulva tehát a legmegfelelőbb módszer a kutatások folytatásához a már korábban is alkalmazott 9×3 méteres alapterületű, a víztértől 30 méter távolságban elhelyezett, fekete színű mezőgazdasági fólia alkalmazása. Az ökológiai kutatásokhoz képest is kimagaslóan nagy adattömeg a diszperziós jelenségének számos megközelítési módját kínálta és kínálja fel a mai napig. A megközelítés módjának megfelelően az egyes fejezetek az adathalmazok különböző szeletével foglalkoznak számos, a diszperzió szempontjából fontos részletet feltárva.

**4.2. Évszakos diszperzió:** A diszperzió éves ritmusára vonatkozó eredményeink alapján tavaszi aktivitási csúcsot nem tudtunk kimutatni, de ebben jelentős szerepe van annak, hogy a 16., 18., 20., 23., és a 34. héten diszperzióra alkalmatlan volt az időjárás (eső, viharos erejű szél). A tavaszi hét mintavételi nap alkalmával az időjárás 3 napon is megakadályozta a diszperziót. A többi tavaszi napon viszont jelentős egyedszámban repültek a rovarok, ami sejtet egy tavaszi kiugró diszperziós aktivitást. A vízirovarok tömeges diszperziója egyértelműen a nyári hónapokban volt megfigyelhető. Júniustól augusztusig repült az egyedek 60 %-a és a fajszám is ebben az időszakban volt a legmagasabb. Ősszel csak egy négy héten át tartó kisebb aktivitású diszperziós időszak volt megfigyelhető, amikor kisebb volt a repülő egyedek és fajok száma is. A fajszám tekintetében a diszperzió egyenletesebb képet mutatott. A Helophoridae, Hydrophilidae, Dytiscidae és a Corixidae család fajai voltak azok, melyek a legnagyobb egyedszámban képviseltették magukat a fogott taxonok között. Ezekben a családokban van a legtöbb olyan faj, melyeket a nemzetközi szakirodalom is jó röpképességű, erős diszperziós hajlammal rendelkező fajként tart számon. Az egyes fajok repülési aktivitását megfigyelve egyértelművé vált, hogy az évszakonként eltérő lehet. Voltak olyan fajok, melyek két vagy akár három évszakban is jelentős aktivitást mutattak, de a legtöbb faj esetében volt egy kitüntetett évszak, amelyben a legnagyobb százalékban kerültek elő a fóliákról. A fajok tömeges diszperziója többségében csak az egyik évszakban volt megfigyelhető, mely alapján tavaszi, nyári, és őszi évszakos diszperziós mintázatokat tudtunk elkülöníteni. Az évszakos diszperziós mintázatokon belül eltérés volt tapasztalható egyes fajok dinamikájában. Ezért a mintázatokon belül almintázatokat hoztunk létre, aszerint hogy a fajok melyik évszakban produkáltak további lokális diszperziós csúcsot. A fentiek alapján 3 mintázatot, és azokon belül 3-3 almintázatot különítettük el: A tavaszi mintázatban tavaszi, nyári és őszi almintázatot; a nyári mintázatban nyári, őszi és nyár-tavaszi-ősz almintázatot,

míg az őszi mintázatban tavaszi, nyári, őszi almintázatot lehetett elkülöníteni. A fajok mindegyike besorolható valamelyik diszperziós mintázatba és almintázatba a diszperziós dinamikájukban megfigyelhető tendenciák alapján.

**4.3. Napszakos diszperzió:** A vízirovarok napszakos diszperziós dinamikáját vizsgálva azt tapasztaltuk, hogy nincs a napnak olyan időszaka, amikor a rovarok ne emelkedtek volna a levegőbe. A dinamikákban 24 óra alatt három, a diszperziós szempontjából kiemelkedő időszak volt megfigyelhető. Az első diszperziós hullám a reggeli órákban zajlott le, melyet kisebb egyedszámbeli csökkenés után délben követett a második. Az esti órákban (19-22 óra között) volt tapasztalható a vízirovarok tömeges diszperziója, a harmadik hullámban. Napközben a diszperziós hullámok felfutása és lecsengése is egyenletes volt. Azonban az esti tömeges diszperzió után az egyedek száma drasztikusan csökkent le és a reggeli diszperziós hullámig alacsonyan is maradt. A legkevesebb egyed a hajnali órákban repült a fóliákra 3 és 4 óra között. Az ebben az időszakban fogott legalacsonyabb egyedszámot a legkevesebb faj produkálta. A legnagyobb egyedszámú időszakban (21-22 óra között) fogtuk be a legtöbb fajt is. Napközben azonban nem volt sok eltérés a fogott fajok számában. A 2005. évi vizsgálat sorozat eredményei alapján azt tapasztaltuk, hogy az egyes évszakok között a napszakos diszperziós dinamikákban statisztikailag igazolható eltérés van. Ezért az évszakok szerinti bontásban külön értékeltük a napszakos diszperziós mintázatokat, melyeken belül a napi diszperziós csúcsok alapján további almintázati besorolást alkalmaztunk. Így az alábbi mintázati-almintázati besorolást kaptuk: Tavasszal „napközben” és „délben-este”; nyáron „reggel-délben-este”, „reggel-este”, „délben-este”, és „este”; ősszel „délben-este” valamint „este” repülnek a vízirovarok, fajonként eltérő stratégiát választva. Számos fajnál a napszakos dinamikában évszakonként jelentős lehet az eltérés. A *Helophorus* spp., vagy az *Enochrus quadripunctatus*, *Cymbiodyta marginella*, *Enochrus bicolor* fajok esetében olyan nagymértékű volt az eltolódás, hogy minden évszakban más diszperziós almintázatba sorolhatók. Természetesen voltak olyan fajok is, melyeknek évszakonként nem tért el a diszperziós mintázata, vagy csak csekély mértékben különbözött. Elmondható tehát, hogy a napszakos mintázatok és általában a diszperziós jellemzők „évszakonkénti” értékelése kiemelten fontos az egyes fajok jellemzőinek megismerésében. A fajok jelentős része esetében megfigyelhető, hogy a különböző időszakok által nyújtott különböző feltételekhez a napszakos diszperziós mintázat váltásával alkalmazkodnak, míg más fajok teljes évben nagyjából azonos napszakos mintázat szerint repülnek.

**4.4. A meteorológiai paraméterek hatása a diszperziós aktivitás alakulására:** A diszperziót nagymértékben befolyásolják az abiotikus környezeti tényezők, elsősorban a meteorológiai paraméterek. Az összes egyedszám vonatkozásában a hőmérséklet esetében szignifikáns korrelációt nem találtunk ugyan, de nem fogtunk egyetlen egyed sem a fóliákon 9 °C hőmérséklet alatt, azaz az ennél alacsonyabb hőmérséklet blokkoló hatású, így ez minimum faktorként működik. Elviekben felmerül a lehetőség, hogy a kiszáradás veszélye miatt a nagyon magas hőmérséklet csökkenti a repülési intenzitást, de a mért legmagasabb hőmérsékletig (35 °C) ez a hatás még nem volt észlelhető sem a terepi megfigyelések, sem az adatok statisztikai értékelése során. Az eső – bármilyen kismértékű is – vagy nagyobb zápor, zivatar még a legintenzívebb repülést is azonnal megszakítja, így ez teljesen blokkoló hatású, esetleg ez is magyarázhatja, hogy a páratartalommal nem találtunk szignifikáns összefüggést. A szél diszperziót befolyásoló hatását elemezve azt tapasztaltuk, hogy 12 km/óra vagy azt meghaladó szélsébség esetén a repülés teljesen megszűnik, így ez maximum faktorként működik. A „gyenge szél” (<6 km/óra) a rovarok repülésére nem fejt ki erős befolyásoló hatást, míg az erősebb szél (6-12 km/óra) szignifikáns negatív korrelációban áll az egyedszám alakulásával. További elemzéseink eredményei arra utalnak, hogy a többi meteorológiai paraméter esetében is hasonló hatások érvényesülnek, vagyis csak egy bizonyos határérték feletti és / vagy alatti értékek esetén nyilvánul meg a vándorlást csökkentő és / vagy erősítő hatásuk. Ez esetben tehát pusztán az szükséges egy repülő rovar számára, hogy az adott meteorológiai paraméter egy optimális (repülést lehetővé tevő) intervallumba eső értéket vegyen fel. Ezen belül nincs számottevő hatása a repülési aktivitásra (ez természetesen fajonként változó érték lehet). Azonban a diszperziós mintázatok kialakulásáért nem ezek a tényezők az elsődlegesen felelősek, pusztán az adott időpontban az aktuális értékeik alapján módosíthatják az egyéb tényezők által kialakított napszakos mintázatokat. Ezt könnyen beláthatjuk akkor, ha csak a nagy egyedszámú napok adatsorait vesszük figyelembe, amikor a paraméterek értékei az optimális tartományban mozogtak, akkor a diszperzió napszakos mintázatai és almintázatai menetrendszerűen ismétlődnek a változatos körülmények között is.

**4.5. Két eltérő környezeti feltételeket nyújtó mintavételi év összehasonlítása:** A 2000. évben elvégzett vizsgálsorozat eredményeit összevetve a 2005. évi eredményeivel azt tapasztaltuk, hogy az egyes fajok a két eltérő környezeti jellemzőkkel bíró évben eltérő százalékban képviseltették magukat a repülő rovarok között. Vannak olyan fajok, melyeknek 2000. évben magasabb volt a részaránya, más fajok magasabb százalékos arányban kerültek elő 2005. évben, míg néhány faj részaránya számottevően nem változott. Az évszakos

mintázatok és almintázatok összevetése nem lenne releváns a 2000. évben tapasztalt kiszáradás miatt. Az összevetést csak azonos időszakok esetében lenne érdemes elvégezni fajonként, amit a disszertáció terjedelmi korlátai miatt csak egyetlen faj esetében végeztünk el (lásd lentebb). A napszakos mintázatokban bekövetkező változás nyomán követése azonban a két év azonos időszakának összevetésével lehetséges. A fogott fajok jelentős részénél szembetűnő, hogy a két év azonos időszakában különbözött a napi diszperzió aktivitása, míg néhány fajok esetében a mintázatok nagyjából azonosak voltak.

**4.6. Egy faj diszperziójának részletes értékelése:** A vízirovarok diszperziós dinamikájából adódó eredmények után az eddigi tudományos ismereteinket összegezve egyetlen faj, a *Sigara lateralis* diszperziós dinamikáját minden részletre kiterjedően megvizsgáltuk, összehasonlítva a két mintavételi év eredményeit is. 2000. évben a mocsár kiszáradása miatt nem tudtunk évszakos mintázati besorolást készíteni, mert hiányzott volna félig a nyári és teljesen az őszi fogási eredményesor. Azonban az évszakos diszperziós dinamikából kiolvasható, hogy az egyedek 93 %-a a nyári hónapokban, a mocsár kiszáradása előtt kelt szárnyra. 2005. évben az évszakos besorolás után kiderült, hogy a faj egyedei túlnyomó részt (98,6 %) a nyári hónapokban repült. Eredményeink azt mutatják, hogy a *S. lateralis* mindkét évben a nyári évszakos diszperziós mintázatba, és nyári almintázatba sorolható, és a tömeges diszperzió június és augusztus között volt megfigyelhető. A tavaszi és az őszi hónapokban az összes fogott egyed kevesebb, mint 2 %-át gyűjtöttük be a főlíákról. A *S. lateralis* a legnagyobb egyedszámban az esti órákban repült, azaz a faj abba a mintázattípusba tartozik, amelynél egy késő esti diszperziós csúcs figyelhető meg. A diszperziót minden pillanatban több tényező befolyásolhatja, ezért az egyes napokon tapasztalható diszperziós aktivitás természetesen jelentősen eltérhet a fő mintázattól (v.ö. a környezeti paraméterekkel). Azonban míg 2000. évben az esti diszperzió kivül minden órában csak minimális egyedszámban repültek a faj egyedei, addig 2005. évben az egész év fogási eredményei alapján a hajnali órákban egy nagyobb egyedszámú kiugró diszperziós aktivitás volt megfigyelhető. Ez azt jelenti, hogy a faj esetében a két év eredményei alapján almintázat váltás történt. Míg 2000. évben nyári mintázat-esti almintázatba sorolható a *S. lateralis*, addig 2005. évben nyári mintázat és „reggel-este” almintázat szerint repültek az egyedek. Ez az almintázatváltás akkor is megfigyelhető volt, amikor a két év azonos időszakait vetrtük össze (21-27. hét). Ezt a reggeli lokális csúcsot nem okozhatták a környezeti paraméterekben bekövetkező napi különbségek, mert minden mintavételi napon, a 21. és 27. hét között megfigyelhető volt. Azonban, ha a 2005. év nyarának a második felének (28-33. hét) napszakos diszperziós

dinamikáját önmagában vizsgáltuk (2000. évben a mocsár a 27. hét után kiszáradt), akkor nyilvánvalóvá vált, hogy ebben az időszakban a faj egyedei újra csak az esti almintázat szerint keltek szárnyra és elmaradt a reggeli repülési aktivitás. Ezért ezt a jelenséget a napszakos diszperziós mintázatban bekövetkező változásként kell értékelnünk, ami nem állandósult egész évben.

**4.6.1. A meteorológiai paraméterek hatása a diszperziós aktivitás alakulására:** Az általunk vizsgált, diszperziós aktivitásra hatóképesnek tekinthető meteorológiai tényezők közül a szélesebbesség vonatkozásában találtunk szignifikáns negatív korrelációt az összes egyedszám alakulásával. A szélesebbesség egy kritikus sebességérték felett (>11,3 km/óra) a szél blokkoló hatású, 2 km/óra alatt nem volt hatással a repülő rovarok egyedszámára, a kettő között viszont erős negatív befolyásoló tényező. Az egyedszámok alakulása a fénymennyiség és a hőmérséklet vonatkozásában szintén negatív korrelációt mutatott. A relatív páratartalom és a légnyomás vonatkozásában nem volt tapasztalható szignifikáns összefüggést.

**4.6.2. Az ivarok diszperziós képessége:** A nőstények egyedszáma mindkét év mintavételi napjain statisztikailag igazolható mennyiségben meghaladta a hímekét. Ez alól csak néhány kis egyedszámú nap volt kivétel. 2005. évben a nőstények magasabb egyedszámát szintén tudtuk statisztikailag igazolni. Az évszakos diszperzió nál tapasztalt arány az óránkénti egyedszám arányokban is kifejeződött. Az egyes mintavételi napokon is megfigyelhető volt tehát a nőstények dominanciája mindkét évben. A két ivar évszakos és napszakos diszperziós mintázatában eltérés nem volt megfigyelhető.

**4.6.3. A szaporodási ciklus hatása a diszperziós aktivitás alakulására:** A nőstények esetében – az aktuális szaporodási állapot szerepének tisztázása érdekében – az ivarszerv vizsgálata során 5 kategóriát állítottunk fel: (I.) fejletlen petefészek; (II.) fejlett petefészek, de nincsenek megdagadt ovarioles-ek; (III.) vannak megdagadt ovarioles-ek, de nincsenek tojások; (IV.) a megdagadt ovarioles-ek mellett vannak tojások; (V.) a potroh tele van tojással. A mintavételi években az egyes kategóriák eltérő százalékos arányban képviseltették magukat, azonban jellemzően mindkét évben az V. kategóriába sorolt egyedek száma volt a legmagasabb, ami azt jelenti, hogy a legtöbb egyed potroha tele volt tojással, amikor a fóliáról begyűjtöttük, míg a fejletlen petefészekkel rendelkező egyedek száma a levegőben minimális volt. Az V. kategória egyedei a kezdetektől szinte az egész mintavételi periódus alatt a

legnagyobb százalékban fordultak elő egészen a diszperzió vége előtti utolsó hetekig. A diszperzióra még alkalmas utolsó hetekben (2000. év: kiszáradás, 2005. év: nyár vége) megemelkedett a fejletlen petefészkekkel rendelkező egyedek száma és az utolsó két mintavételi napon azok az egyedek is elhagyták a vízteret, amelyek még nem voltak elég érettek a tojásrakásra. A különböző fejlettségi állapotú petefészkekkel rendelkező egyedek napszakos diszperziós mintázatában eltérés nem volt tapasztalható.

**5. Összefoglalás** A vízirovarok (Coleoptera, Heteroptera) diszperziójának vizsgálata során kapott eredményeinket az alábbiakban foglalhatjuk össze:

- Új, polarotaxison alapuló módszert teszteltünk és vezettünk be a vízirovarok diszperziójának vizsgálatára, amellyel a jövőben is lehetőség nyílik hatékony, megfelelő eredményeket szolgáltató mintavételekre a nap 24 órájában.
- Napszakos és évszakos diszperziós mintázatokat és almintázatokat, különítettünk el, melyeket követve az egyes fajok a levegőbe emelkednek az új élőhely keresése során.
- Kiderítettük, hogy az egyes évszakos és napszakos diszperziós mintázatok és almintázatok között az évek során, esetleg egy éven belül is váltás lehetséges.
- Meghatároztuk azokat a környezeti tényezőket (elsősorban meteorológiai paramétereket), amelyek leginkább befolyásolják a vízirovarok jelenlétét a levegőben.
- Eddigi tudományos ismereteinket összegezve leírtuk egy faj (*Sigara lateralis*) diszperziós dinamikáját és annak változásait minden részletre kiterjedően.
- Kimutattuk, hogy a szaporodási ciklus szoros kapcsolatban áll a diszperzióval.
- Megfelelő alapot szolgáltatunk a kisvizek kolonizációjának későbbi eredményes kutatásához, elsősorban az asztatikus vízforgalmú kisvizek benépesülési folyamatának pontosabb megismeréséhez.

**1. Introduction** Freshwater habitats of aquatic insects are continuously changing due to the variations of the environmental (physical, chemical and biological) factors. Thus, the ability to fly and migrate may be important prerequisites of the survival of individuals and populations. For species of permanent habitats, inclination for dispersal is disadvantageous in terms of survival, since they are unlikely to find equally suitable places, however it is essential for the survival of species living in temporary habitats. To lay their eggs, aquatic beetles and bugs seek for suitable, i.e. shallow, quickly warming up and small-sized water bodies, in which the numbers of predators are less; consequently there is a higher chance for survival. In order to overwinter, in autumn some of the species migrate to waters deep enough not to become totally frozen. Variations in dispersal rate and the ability of species to distinguish aquatic habitats from non-aquatic ones during flying enable these insects to find suitable pools for breeding and overwintering.

**2. Scientific background and aims** Except for the diel routine there are numerous published data about dispersal of aquatic insects. To summarize these, dispersal mostly occurs during periods being usually free of wind, optimal air temperature and maximal polarotactic detectability. The first stage of dispersal, flying is facilitated by the negative characteristics of the left habitats (e. g. drying up, insufficiency of food), changes in population dynamics (e.g. high density), physiological and anatomical parameters (e.g. flight ability), phenology and reproductive features. Flying is influenced mainly by wind speed, air temperature and light intensity. Finding of a new habitat, therefore polarotactic water detection is chiefly affected by physical parameters, mainly by the changes in the elevation of the sun. Previous publications suggest seasonal and diel variations of dispersal which can show geographical and species differences. The majority of the data originated from light-trapping or mark and recapture methods or from laboratory experiments. However, none of these methods are able to describe exactly dispersal dynamics in nature. As a result of this, our aims were to investigate the possible seasonality and diel variations in dispersal of aquatic insects and to find those parameters which mostly influence dispersal activity. Moreover the dispersal characteristics of one species were studied in full details.

**3. Materials and methods** Our study area was in north-eastern Hungary, in the territory of Hortobágy National Park, at the shore of Hagymás-basin marsh. Samples were taken 30 times weekly from week 13<sup>th</sup> to week 43<sup>rd</sup> in 2005. Aquatic insects were collected hourly for 24 hours (from 08:00 a.m. to next day 08:00 a.m.). Aquatic insects are capable to detect polarised

light. This ability is important in terms of dispersal, since they recognize water, hence they can find new habitat by means of the horizontal linear polarization of light reflected from the water surface. Shiny surfaces (e.g. car bonnets, black plastic sheets used in agriculture, vertical glass surfaces) – from which the direction and the degree of the polarized light is similar to that of the light reflected from water surfaces – may confuse polarotactic water insects, since they detect them as horizontal polarizing water surfaces. Aquatic insects can be trapped by using these artificial surfaces, hence these were used during the samplings. Methods were tested in 2004 in terms of the colour, size and distance from the water of the plastic sheets. Development and data of testing these new method utilizing polarotaxis are also detailed in this doctoral dissertation, since these are also new scientific results. In 2000 a preliminary study of dispersal was performed using a method previously not tested. Based on the data from this study, in 2004 this method was developed particularly and tested in many respect, then dispersal was examined during a whole year in 2005 using this newly developed method. As a result of this, the dissertation is based on the study which was performed in 2005 during a whole vegetation period. Data from 2000 only served as data to confirm or contradict the results, and were used to illustrate diel patterns and to analyze particularly the dispersal dynamics of a species. Aquatic insects were trapped on 3 black plastic plastic sheets, all of them were 9 m x 3 m in size. During the samplings the environmental variables, mainly meteorological parameters possibly affecting the dispersal were continuously registered (e.g. wind speed, air temperature, relative air humidity, light intensity). Because flying activities showed differences hourly analysis of covariance was used to evaluate data of the preliminary investigation (time is the covariant) which was completed with Tukey HSD test to reveal the exact differences between pairs. Cluster analyses were performed by complete linkage clustering using Bray-Curtis index for number of individuals and using Sørensen index for number of species. Possible effect of variables was determined by Spearman's rank correlation. One-way analysis of variance was used to compare the collection data of the plastic sheets after logarithmic transformations. Male-female seasonal pattern of *Sigara lateralis* was analysed using paired sample t-test, while diel dispersal patterns were compared with two-sample paired Wilcoxon rank test after logarithmic transformation. Principal response curves analysis were performed to find differences between diel dispersal patterns in each season.

## 4. Results

**4.1 Development and testing of sampling method** A new method was developed to follow up dispersal of aquatic insects which is due to the biophysical characteristic of these insects to be capable to detect polarized light. Polarotactic aquatic insects can be trapped by using artificial surfaces similar to water surfaces. Effectiveness of the plastic sheets in five different colours was tested. Our results revealed that the black and red plastic sheets collected high number of individuals and species compared to the yellow and white plastics which provided only small number of individuals and species. There were no statistically significant differences between the black and red plastic sheets. On the other hand, the attractiveness of the yellow, transparent and white plastic sheets significantly differed from that of the red and the black ones. Yellow, transparent and white plastic sheets only collected insects in the evening when due to the cooling down vapour appeared on their surface. Effectiveness was also tested with different size of the plastic sheets. The highest number of individuals and also species was trapped by 9×3 m plastic sheet, nearly double in number compared with the 15×5m plastic sheet. 9 species were collected only by 9×3 m plastic sheet, at the same time all of the species were trapped by this which was collected by the others usually in higher number of individuals. Increasing distance from the water margin of the laid plastic sheets resulted in decreasing number of collected individuals. The number of species slightly increased up to 60 m distance from the water margin, but collection effectiveness decreased furthermore. Number of individuals continuously, markedly decreased (*Helochares obscurus*, *Hygrotus inaequalis*), increased (*Hydrobius fuscipes*) or did not change with the increasing of the distance. In conclusion, the most effective method seemed to be trapping with black, 9×3 m plastic sheet laid at 30 m distance from the water margin. Compared to other ecological investigations the prominently high number of data enables several different analyses of dispersal. The following parts shed light on different aspects and details of dispersal analysing different parts of the data.

**4.2. Seasonal pattern of dispersal** Analysing the data in terms of annual variation of dispersal, peak of dispersal activity was not observed during spring, but it is due to the fact that the weather conditions (rain, stormy wind) inhibited dispersal on week 16th, 18th, 20th, 23rd and 34th. During spring there was no dispersal on 3 days because of the bad weather, meanwhile high number of individuals flight on the other days suggesting a peak of dispersal. The strongest dispersal occurred during summer, 60 % of the flying individuals and the highest number of species were observed from June to August. In autumn, dispersal was

found to be lower in activity, in number of species and individuals and occurred only for 4 weeks. Dispersal seemed to be more consistent regarding the number of species. Species from Helophoridae, Hydrophilidae, Dytiscidae and Corixidae families were in the highest number among the collected taxa. These are known to have good flying ability and strong propensity to dispersal. Observation of flying activity of different species revealed seasonality of dispersal. Some species had marked activity in two or three seasons, but most of the species was collected in the highest number only in one season. Mass dispersal of species was observed mainly in one of the seasons, hence spring, summer and autumn dispersal patterns can be differentiated. Within the seasonal dispersal patterns differences were found in dynamics of different species. As a result of this, sub-patterns were determined according to the local dispersal peaks within the seasons. 3 patterns and 3 sub-patterns were established. Within the spring dispersal pattern spring, summer and autumn sub-patterns, within the summer pattern spring, summer and summer-spring-autumn sub-patterns, while within the autumn dispersal pattern spring, summer and autumn sub-patterns were determined. Each species can be classified into a pattern and a sub-pattern based on the tendency in its dispersal dynamics.

**4.3. Diel pattern of dispersal** Studying diel dispersal dynamics of aquatic insects it was revealed that insects fly during the whole day. 3 prominent periods were found in dispersal dynamics within 24 hours. The first dispersal wave occurred in the morning, after which the number of individuals decreases and the second peak appeared at noon. In the evening (from 7 to 10 p.m.) mass dispersal of aquatic insects can be seen which the third wave is. Acceleration and decay of the dispersal waves are consistent during the day. After the evening mass dispersal the number of individuals strongly decreased and maintain on low level until the morning dispersal wave. The least number of species flought onto the plastic sheets at dawn (from 3 to 4 a.m.). Both the number of individuals and the species were also the least. The period (from 9 to 10 p. m.) with the highest number of individuals produced the highest number of species also. However, there is no marked difference between the periods within a day regarding the number of species. Statistically significant differences were found between the diel dispersals dynamics of the seasons in 2005. Consequently, diel dispersal patterns were analyzed within each seasons, and sub-pattern classification was used considering the diel dispersal peaks. The following classification was established: in spring day-time, noon-evening, in summer morning-noon-evening, morning-evening, noon-evening and evening, in autumn noon-evening and evening sub-patterns. Many species had different diel dispersal

sub-patterns during different seasons. *Helophorus* spp., *Enochrus quadripunctatus*, *Cymbiodyta marginella*, *Enochrus bicolor* had totally different diel dispersal sub-pattern in every season. At the same time, some species had similar or slightly different sub-pattern in the seasons. In conclusion, analyses of diel dispersal patterns of the seasons separately were important in order to describe the dispersal of a species. Our results revealed that most of the species adapt to the different conditions of the different seasons by the change of the diel dispersal patterns, while migration of some species have nearly the same dispersal pattern during the whole year.

**4.4. Effect of meteorological conditions on dispersal activities** Abiotic environmental variables, especially meteorological variables have strong effect on dispersal. However significant correlation between the air temperature and dispersal was not revealed, there was no individuals on the plastic sheets below 9 °C. Dispersal is totally blocked below 9 °C, hence this was a minimum factor. Theoretically, because of the danger of drying out, the extremely high air temperature may decrease the intensity of migration, but it was not observed in the field even at the highest air temperature (35°C), and it was not proved by statistic analysis. Any type of rain or rainstorm immediately stops flying even the intensive ones, consequently it has blocking effect. It may explain that we did not find correlation of the air humidity and dispersal. Analysis of the effect of wind on dispersal found that migration is blocked above 12 km / hour, since it is a maximum factor. Below 12 km / hour wind speed there was no correlation between the wind speed and the number of species and individuals. At the same time, separating the data into data below 6 km / hour and data between 6 and 12 km / hour revealed that weak wind does not influence dispersal markedly, but strong wind has significant negative correlation with the number of individuals. To sum up, wind speed above a critical 12 km / hour has blocking effect, below 6 km / hour it does not influence the number of flying individuals, but between these two values strong negative correlation can be observed. Other meteorological parameters show the same, since they have effect on dispersal above or below a given value above or below that they can decrease or strengthen dispersal. As a result of this, meteorological parameters are only required to be in an optimal interval (different for different species) for flying within which they have no effect on the dispersal activity. Nevertheless, dispersal patterns are not essentially determined by these variables, they only modify the diel dispersal patterns according to the actual values of them. Data of days with high individual numbers proved this statement, since diel dispersal patterns and

sub-patterns repeated regularly even under variable conditions, if the values of the meteorological parameters were in the optimal intervals.

#### **4.5. Comparison of data from two years with different environmental conditions**

Comparing the data from 2000 with the data from 2005 revealed that different environmental conditions resulted in different ratio of the species among the migrating aquatic insects. Some species was represented in higher proportion in 2000, others in 2005, while some of the species did not show differences between the two years. Comparison of seasonal dispersal patterns and sub-patterns would not be relevant because of the dry up in 2000. It would be beneficial only when seasonal dispersal patterns would have been analysed in the same seasons of the different years, but because of the limit of the doctoral dissertation it was carried out only in case of one species. At the same time, changes in the diel dispersal patterns can be performed by comparison the same periods of the two years. Most of the species had different diel dispersal activities in the same periods of the years, while some species had the same patterns.

**4.6. Analysis of dispersal of one species** Summarizing the scientific knowledge about the dispersal of aquatic insects, the dispersal dynamic of one species, *Sigara lateralis*, was studied in full detail, comparing the data from the two studied years. Seasonal dispersal pattern was not determined in 2000 because the pools dried up, and there were no collection data from the half of the summer and from autumn. Nevertheless, based on the seasonal dispersal dynamic it was found that 93 % of the individuals dispersed in early summer, before the dry up. After the analysis of the seasonal data of 2005 it was obvious that most of the individuals (98,6 %) fly during summer. Our results revealed that *S. lateralis* could be classified into summer seasonal dispersal pattern and summer sub-pattern in both studied years, and mass dispersal occurred from June to August. Less than 2 % of the individuals was collected during spring and autumn. Owing to our sampling method, based on polarotactic water detection, the diel dispersal pattern of *Sigara lateralis* could be described properly. *Sigara lateralis* migrated in the highest number during the evening hours. The dispersal of this species can be classified into that pattern in which late evening migration peak can be observed. Dispersal always can be influenced by many factors, hence daily dispersal activity can be markedly different from the main dispersal pattern (q. v. environmental variables). While in 2000, very low number of flying individuals was observed in every hour except for the evening hours, in 2005 a dispersal peak was observed at dawn concerning the data of the

whole year. It suggests a change in the sub-pattern of dispersal. In 2000 *S. lateralis* had summer pattern with evening sub-pattern, but in 2005 migration had summer pattern and evening-morning sub-pattern. The same phenomenon was observed comparing the same periods of the studied years (from week 21<sup>st</sup> to 27<sup>th</sup>). Not the differences in the environmental parameters caused these morning peaks of dispersal, since it was observed on each day during this period. At the same time, analysing the daily dispersal dynamic of the latter part of the summer in 2005 (week 28<sup>th</sup>-33<sup>rd</sup>) alone, dispersal occurred according to the evening dispersal sub-pattern and there was no flying activity in the morning. Consequently, it was only a change in the diel dispersal pattern which was not permanent during the whole year.

**4.6.1. Effect of meteorological parameters on dispersal activity** Among the measured meteorological variables the wind speed showed significant negative correlation with the number of flying individuals. Wind speed blocks migration above a critical value (>11.3 km/hour), it has no effect on the number of flying individuals below 2 km / hour, but between these two values it was found to correlate significantly negatively with the number of migrating *S. lateralis* individuals. The number of migrating individuals also showed significant negative correlation with the light intensity and the air temperature. There was no correlation between air humidity, air pressure and dispersal activity.

**4.6.2. Dispersal activity of sexes** Females significantly outnumbered males on the sampling days of the both studied years, except for some days with low number of collected individuals. In 2005 the higher proportion of females were proved statistically. The proportion of the sexes observed in the seasonal dispersal was the same also hourly. Dominance of the females was observed on every day in both studied years. There were no differences between the sexes in terms of seasonal and diel dispersal patterns.

**7.4.6.3. Effect of reproductive cycle on dispersal activity** Females were dissected to observe their ovarian status, which were classified into the following five categories: immature ovary (I); mature ovary without swollen ovarioles (II); swollen ovarioles without eggs (III); swollen ovarioles and eggs (IV); abdomen full of eggs (V). Numbers of eggs were counted in case of category V. This classification enabled us to reveal the possible correlation between sexual cycle and dispersal ability. Although different proportions of the categories were found, most of the females belonged to the category V. in the two studied years. It means that most of the females were full of eggs, and there were only a few individuals

among the flying ones which had immature ovary. In conclusion, females belonging to category V. were in the highest proportion during the whole sampling period until the last weeks of dispersal. During the last weeks suitable for dispersal (in 2000 dry up, in 2005 the end of the summer) the number of females with immature ovary increased, and on the last two studied days those females left the waters which were not matured to lay eggs. There were no differences in the diel and season dispersal patterns of the females belonging to different categories.

## 5. Summary

To summarize our results about dispersal of aquatic insects (Coleoptera, Heteroptera):

- A new method which utilizes the ability of polarotactic water detection of aquatic insect was developed and tested in order to study the dispersal of aquatic insects. This method is suitable to collect adequate data effectively at any time.
- Diel and seasonal dispersal patterns and sub-patterns were determined which describe the migration of the species seeking new habitats.
- It was revealed that changes in the seasonal and diel dispersal patterns and sub-patterns are possible between years, even within a year.
- It was determined which environmental factors (mainly meteorological conditions) have the main effect on the migration of aquatic insects.
- Summarizing the scientific results the dispersal dynamics and its changes were described in case of one species, *Sigara lateralis*.
- It was determined that the reproductive cycle is in strong relationship with dispersal.
- This study serves as proper basis of further efficient investigations to study the colonization of small water bodies, especially the astatic ones.

## 6. A jelölt tudományos tevékenysége

### Az értekezés témakörében megjelent referált közlemények jegyzéke

1. **BODA, P.** – CSABAI, Z. 2009: Seasonal and diel dispersal activity characteristics of *Sigara lateralis* (Leach, 1817) (Heteroptera: Corixidae) with special emphasis of the possible environmental factors and breeding state. – *Aquatic insects* 31(4): 301–314., IF=0,311
2. **BODA, P.** – CSABAI, Z. 2009: Diel and seasonal dispersal activity patterns of aquatic Coleoptera and Heteroptera. – *Verhandlungen der Internationalen Vereinigung für Limnologie* 30(8): 1271–1274.
3. **BODA, P.** – CSABAI, Z. 2006: A *Sigara lateralis* vándorlási sajátosságai (2000, 2005). – *Acta biologica debrecina, Supplementum oecologica hungarica* 14: 39–46.
4. **BODA P.** – CSABAI Z. – GIDÓ ZS. – MÓRA A. – DÉVAI GY. 2003: Vízibogarak és vízipoloskák vándorlási ritmusának vizsgálata (Coleoptera, Heteroptera) II. A *Helophorus brevipalpis* (Bedel, 1881) és a *Sigara lateralis* (Leach, 1817) vándorlásának szezonális dinamikája. – *Hidrológiai közlöny* 83: 20–21.
5. CSABAI, Z. – **BODA, P.** – BERNÁTH, B. – KRISKA, GY. – HORVÁTH, G. 2006: A “polarization sun-dial” dictates the optimal time of day for dispersal by flying aquatic insects. – *Freshwater Biology* 51(7): 1341–1350., IF= 2,502
6. CSABAI Z. – **BODA P.** 2005: Vízibogarak és vízipoloskák vándorlási ritmusának vizsgálata IV. – szín, méret, távolság - különböző tulajdonságú fóliák alkalmazhatósága. – *Hidrológiai közlöny* 85: 26–28.
7. CSABAI, Z. – **BODA, P.** 2005: Effects of the wind speed on the migration migration activity of aquatic insects (Coleoptera, Heteroptera). – *Acta biologica debrecina, supplementum oecologica hungarica* 13: 37-42.
8. CSABAI Z. – GIDÓ ZS. – **BODA P.** – MÓRA A. 2004: Vízibogarak és vízipoloskák vándorlási ritmusának vizsgálata (Coleoptera, Heteroptera) III. Az egyes fajok migrációjának időbeli alakulása. – *Hidrológiai közlöny* 84: 28–30.
9. CSABAI Z. – GIDÓ ZS. – MÓRA A. – **BODA P.** – DÉVAI GY. – KIRÁLY A. – SZILÁGYI K. – VARJU T. 2003: Vízibogarak és vízipoloskák vándorlási ritmusának vizsgálata (Coleoptera, Heteroptera) I. Az egyedszám és a fajgazdagság változásai. – *Hidrológiai közlöny* 83: 29–32.
10. KECSŐ K. – **BODA P.** 2008: Van-e különbség az egyes poloskafajok ivarainak diszperziós aktivitása között? – *Acta biologica debrecina, Supplementum oecologica hungarica* 18: 83–90.
11. KRISKA, GY. – CSABAI, Z. – **BODA, P.** – MALIK, P. – HORVÁTH, G. 2006: Why do red and dark-coloured cars lure aquatic insects? The attraction of water insects to car paintwork explained by reflection-polarisation signals. – *Proceedings of the Royal Society London B.* 273: 1667–1671., IF= 3,612.

### Az értekezés témakörében megjelent ismeretterjesztő cikkek jegyzéke

1. KRISKA GY. – MALIK P. - HORVÁTH G - **BODA P.** – CSABAI Z. 2006: Sarkított világ - A „legzöldebb” autó fehér és piszkos – *Élet és Tudomány* 61(26): 812–814.
2. CSABAI Z. – **BODA P.** – BERNÁTH B., - GÁL J. – KRISKA GY. – HORVÁTH G. 2005: Sarkított világ - Vízreszállás reggel, délben, este – *Élet és Tudomány* 60(49): 1550–1551.
3. HORVÁTH G. – CSABAI Z. – **BODA P.** – BERNÁTH B. – KRISKA GY. – GÁL J. 2005: Sarkított világ - A vízirovarok „polarizációs napórája” – *Élet és Tudomány* 60(16): 496–499.

### Egyéb megjelent közlemények jegyzéke

#### Könyvfejezetek:

1. **BODA, P.** 2008: Aquatic and semiaquatic Heteroptera (Nepomorpha, Gerromorpha) of Tisza Region. – In: Gallé, L. (ed.) Vegetation and Fauna of Tisza River Basin I. – *Tiscia Monograph Series 7.*, Tisza Research Group of the HAS and University of Szeged, Szeged, pp. 23–44.

#### Folyóirat-közlemények:

1. **BODA P.** 2006: Vízi- és vízfelszíni-poloska faunisztikai kutatások a Bükk déli előterében lévő kisvízfolyásokban. – *Acta biologica debrecina, Supplementum oecologica hungarica* 14: 31–37.
2. **BODA P.** – CSABAI Z. – MÓRA A. – DÉVAI GY. 2004: Vízi- és vízfelszíni-poloskák mennyiségi előfordulása egy alföldi mocsár két különböző struktúrájú sásállományában (Heteroptera: Nepomorpha, Gerromorpha). – *Hidrológiai közlöny* 84: 23–25.
3. CSABAI, Z. – **BODA, P.** – MÓRA, A. – TÓTHMÉRÉSZ, B. 2005: Comparative analysis of aquatic beetle and bug assemblages of sedge stands of an alcalic lowland marsh in Hungary. – *Verhandlungen der Internationalen Vereinigung für Limnologie* 29: 1011–1014.
4. CSABAI, Z. – MÓRA, A. – **BODA, P.** – CSER, B. – MÁLNÁS, K. 2005: Contribution to the aquatic insect fauna of north part of Bakony mountains (Ephemeroptera, Coleoptera, Heteroptera, Trichoptera). – *Folia Musei historico-naturalis Bakonyiensis* 22: 69–100.
5. CSABAI, Z. – **BODA, P.** – MÓRA, A. 2004: Contribution to the aquatic beetle, aquatic and semiaquatic bug fauna of Szuha stream and its environment, NE Hungary (Coleoptera: Hydradephaga, Hydrophiloidea; Heteroptera: Nepomorpha, Gerromorpha) - *Folia historico-naturalia Musei Matraensis* 28: 157–164.
6. CSABAI, Z. – MÓRA, A. – **BODA, P.** – MÁLNÁS, K. 2004: Contribution to the mayfly, aquatic beetle, aquatic and semiaquatic bug and caddisfly fauna of watercourses of Bihari-plain, E Hungary (Ephemeroptera larvae; Coleoptera: Hydradephaga, Hydrophiloidea; Heteroptera: Nepomorpha, Gerromorpha; Trichoptera larvae). – *Folia historico-naturalia Musei Matraensis* 28: 141–148.

7. CSABAI, Z. – **BODA, P.** – MÓRA, A. 2003: Contribution to the aquatic beetle, aquatic and semiaquatic bug fauna of Hernád and its environments, NE Hungary (Coleoptera: Hydradephaga, Palpicornia; Heteroptera: Nepomorpha, Gerromorpha). – *Folia historico-naturalia Musei Matraensis* 27: 91–100.
8. CSABAI Z. – **BODA P.** – MÓRA A. 2003: A Makkos-vízrendszer alapállapot-értékelése a makroszkópikus vízi gerinctelen együttes alapján. In: Somogyvári, O. (szerk.): *Élet a Duna-ártéren* - természetvédelemről sokszemközt című tudományos tanácskozás összefoglaló kötete. – DDNP Igazgatóság, BITE, Pécs, pp. 245–250.
9. CSABAI, Z. – **BODA, P.** – MÓRA, A. – MÜLLER Z. 2003: Aquatic beetles, aquatic and semiaquatic bugs, dragonfly and caddisfly larvae from 32 backwaters in Upper-Tisza-region, NE Hungary (Coleoptera: Hydradephaga, Palpicornia; Heteroptera: Nepomorpha, Gerromorpha; Trichoptera). – *Folia historico-naturalia Musei Matraensis* 27: 217–235.
10. KÁLMÁN A. – PÁLL-GERGELY B. – CSER B. – **BODA P.** – CSABAI Z. 2006: Makroszkópikus vízi gerinctelenek faunisztikai vizsgálata a Déli-Bakony és a Balaton-felvidék víztereiben. – *Hidrológiai közlöny* 86: 161–164.
11. MÓRA A. – **BODA P.** – CSABAI Z. – CSER B. – DEÁK CS. – HORNYÁK A. – JAKAB T. – KÁLMÁN Z. – KECSŐ K. – KOVÁCS T. Z. – PAPP L. – POLYÁK L. – SOÓS N. 2008: A Zala és befolyói makroszkópikus gerinctelen faunája. – *Acta biologica debrecina, Supplementum oecologica hungarica* 18: 123–180.
12. MÓRA A. – BARNUCZ E. – **BODA P.** – CSABAI Z. – CSER B. – DEÁK CS. – PAPP L. 2007: A Balaton környéki kisvízfolyások makroszkópikus gerinctelen faunája. – *Acta biologica debrecina, Supplementum oecologica hungarica* 16: 105–167.
13. MÓRA, A. – **BODA, P.** – CSABAI, Z. – DEÁK, CS. – MÁLNÁS, K. – CSÉPES, E. 2005: Contribution to the mayfly, aquatic and semiaquatic bug, aquatic beetle, caddisfly and chironomid fauna of the River Tisza and its main inflows (Ephemeroptera, Heteroptera: Nepomorpha and Gerromorpha, Coleoptera: Hydradephaga and Hydrophiloidea, Trichoptera, Diptera: Chironomidae). – *Folia Historico-Naturalia Musei Matraensis* 29: 151–164.
14. MÓRA, A. – CSABAI, Z. – **BODA, P.** 2004: Larval data to the caddisfly fauna of the Szuha stream and its environments, NE Hungary (Trichoptera) - *Folia historico-naturalia Musei Matraensis* 28: 165–170.
15. SOÓS, N. – **BODA, P.** – CSABAI, Z. 2009: First confirmed occurrences of *Notonecta maculata* and *N. meridionalis* (Heteroptera: Notonectidae) in Hungary with notes, maps, and a key to the *Notonecta* species of Hungary - *Folia entomologica hungarica* 70: 67–78.

#### Az értekezés témakörében elhangzott előadások jegyzéke

1. **BODA P.** – KECSŐ K. – KOVÁCS E. – PAPP L. – CSABAI Z.: Vízipoloskák vándorlási dinamikájának összehasonlítása két vizsgált év alapján. – 7. Magyar Ökológus Kongresszus, 2006.szeptember 04-06., Budapest, Hungary
2. **BODA P.** – CSABAI Z.: A *Sigara lateralis* vándorlási sajátosságai (2000-2005). – III. Makroszkópikus vízi gerinctelenek kutatási konferencia (III. MaViGe), 2006.április 13-14., Göd, Hungary

3. CSABAI Z. – GIDÓ ZS. – MÓRA A. – **BODA P.** – DÉVAI GY.: Vízibogarak és vízipoloskák napszakos és évszakos vándorlási stratégiái egy alföldi mocsárban (Coleoptera, Heteroptera). – 6. Magyar Ökológus Kongresszus, 2003. augusztus 27-29., Gödöllő, Hungary
4. CSABAI Z. – MÓRA A. – **BODA P.**: A szélesebbesség változásának hatása a vízirovarok vándorlási aktivitására (Coleoptera, Heteroptera) – I. Makroszkópikus vízi gerinctelenek kutatási konferencia (I. MaViGe), 2004. április 15-16., Debrecen, Hungary
5. CSABAI Z. – **BODA P.** – PAPP L. – KOVÁCS E. – KECSŐ K.: Vízirovarok diszperziójának napszakos és évszakos mintázata két év eredményeinek tükrében. – IV. Makroszkópikus vízi gerinctelenek kutatási konferencia, (IV. MaViGe), 2007. április 12-13., Tihany, Hungary
6. HORVÁTH G. – CSABAI Z. – **BODA P.** – BERNÁTH B. – GÁL J. – KRISKA GY.: Miért reggel, dél körül és alkonyatkor vándorolnak a vízi rovarok? – II. Makroszkópikus vízi gerinctelenek kutatási konferencia (II. MaViGe), 2005. április 14-15., Pécs, Hungary

#### Egyéb elhangzott előadások jegyzéke

1. **BODA, P.** – DEÁK CS.: Szerves szennyezés hatása egy természetes kisvízfolyás makroszkópikus gerinctelen közösségére (esettanulmány). – VI. Makroszkópikus vízi gerinctelenek kutatási konferencia, (VI. MaViGe), 2009. április 16-18., Villány, Hungary
2. **BODA P.**: Vízi- és vízfelszíni-poloska faunisztikai kutatások a Bükk déli előterében lévő kisvízfolyásokban. – III. Makroszkópikus vízi gerinctelenek kutatási konferencia (III. MaViGe), 2006. április 13-14., Göd, Hungary
3. **BODA P.**: Vízi és vízfelszíni poloska (Heteroptera: Nepomorpha, Gerromorpha) faunisztikai kutatások hazai vizekben. – II. Makroszkópikus vízi gerinctelenek kutatási konferencia (II. MaViGe), 2005. április 14-15., Pécs, Hungary
4. **BODA P.** – CSABAI Z. – MÓRA A.: A fenékjáró poloska (*Aphelocheirus aestivalis* Fabricius, 1794) térbeli előfordulási sajátosságai egy számára szokatlan élőhelyen. – 2. Szünzoológiai Szimpózium, 2004. március 8-9., Budapest, Hungary
5. MOLNÁR Á. – APJOK J. – **BODA P.**: A legeltetés vízibogár-közösségekre gyakorolt hatásának vizsgálata a Nagy-Vókonya Pusztai élőhely-rehabilitációs területen – V. Makroszkópikus vízi gerinctelenek kutatási konferencia, (V. MaViGe), 2008. április 10-12., Nyíregyháza, Hungary
6. SOÓS N. – **BODA, P.** – CSABAI Z.: Hazai *Notonecta* (Heteroptera: Notonectidae) fajok előfordulási adatainak revíziója – VI. Makroszkópikus vízi gerinctelenek kutatási konferencia, (VI. MaViGe), 2009. április 16-18., Villány, Hungary

#### Az értekezés témakörében elhangzott poszterelőadások jegyzéke

1. **BODA P.** – CSABAI Z. 2007: Seasonal and diel flight activity patterns of aquatic Coleoptera and Heteroptera. – SIL Congress, 2007. augusztus 11-18., Montreal, Canada

2. **BODA P.** – CSABAI Z. – GIDÓ ZS. – MÓRA A. – DÉVAI GY. 2002: Vízibogarak és vízipoloskák vándorlási ritmusának vizsgálata (Coleoptera, Heteroptera) II. A *Helophorus brevipalpis* (BEDEL, 1881) és a *Sigara lateralis* (LEACH, 1817) vándorlásának szezonális dinamikája. – XLIV. Hidrobiológus Napok, „Ritkán vizsgált és különleges vizek”, 2002. október 02-04., Tihany, Hungary
3. CSABAI Z. – **BODA P.** – KÁLMÁN Z. – SZIVÁK I.: Vízirovarok diszperziójának sajátosságai: érdekességek a napszakos és évszakos mintázatok fajsztintú elemzése kapcsán. – VII. Makroszkópikus vízi gerinctelenek kutatási konferencia, (VII. MaViGe), 2010. április 15-17., Sümeg, Hungary
4. CSABAI Z. – **BODA P.** 2004: Vízibogarak és vízipoloskák vándorlási ritmusának vizsgálata IV. – szín, méret, távolság – különböző tulajdonságú főliák alkalmazhatósága. – XLVI. Hidrobiológus napok, „Szélsőséges körülmények hatása vizeink élővilágára, Magyarországi kisvízfolyások ökológiai viszonyai”, 2004. október 06-08., Tihany, Hungary
5. CSABAI Z. – GIDÓ ZS. – **BODA P.** – MÓRA A. 2003: Vízibogarak és vízipoloskák vándorlási ritmusának vizsgálata (Coleoptera, Heteroptera) III. Az egyes fajok migrációjának időbeli alakulása. – XLV. Hidrobiológus napok, „Vizeink hosszú idejű változásai”, 2003. október 01-03., Tihany, Hungary
6. CSABAI Z. – GIDÓ ZS. – MÓRA A. – **BODA P.** – DÉVAI GY. – KIRÁLY A. – SZILÁGYI K. – VARJU T. 2002: Vízibogarak és vízipoloskák vándorlási ritmusának vizsgálata (Coleoptera, Heteroptera) I. Az egyedszám és a fajgazdagság változásai. – XLIV. Hidrobiológus Napok, "Ritkán vizsgált és különleges vizek", 2002. október 02-04., Tihany, Hungary
7. KECSŐ K. – **BODA P.**: Van-e különbség az egyes poloskafajok ivarainak diszperziós aktivitása között? – V. Makroszkópikus vízi gerinctelenek kutatási konferencia, (V. MaViGe), 2008. április 10-12., Nyíregyháza, Hungary

### Egyéb elhangzott poszterelőadások jegyzéke

1. **BODA P.** – DEÁK CS.: Makroszkópikus vízi gerinctelen faunisztikai vizsgálatok a Nagykunsági-főcsatorna szivárgó rendszerében. – VII. Makroszkópikus vízi gerinctelenek kutatási konferencia, (VII. MaViGe), 2010. április 15-17., Sümeg, Hungary
2. **BODA P.** – PAPP L. – APJOK J. – CSABAI Z. – MÓRA A.: A Balaton környéki kisvízfolyások makroszkópikus gerinctelen faunája 2. Magasabbrendű rákok, poloskák, bogarak. – IV. Makroszkópikus vízi gerinctelenek kutatási konferencia, (IV. MaViGe), 2007. április 12-13., Tihany, Hungary
3. **BODA P.**: A vízi- és vízfelszíni-poloskafauna változásának hosszú távú vizsgálata a Bihari-sík vízfolyásaiban. – XLVII. Hidrobiológus napok, „Vizeink élővilágát érintő környezeti változások”, 2005. október 5-7. Tihany, Hungary
4. **BODA P.** – CSABAI Z. – MÓRA A.: Különböző víztértípusok vízi- és vízfelszíni poloskaegyütteseinek összehasonlítása faunisztikai mintavételek alapján (Heteroptera: Nepomorpha, Gerromorpha). – I. Makroszkópikus vízi gerinctelenek kutatási konferencia, (I. MaViGe), 2004. április 15-16., Debrecen, Hungary

5. APJOK J. – **BODA P.** – MOLNÁR Á.: A Nagy-Vókonya Pusztai élőhely-rehabilitációs területen végzett faunisztikai vizsgálatok. – V. Makroszkópikus vízi gerinctelenek kutatási konferencia, (V. MaViGe), 2008. április 10-12., Nyíregyháza, Hungary
6. MÓRA A. – CSÉPES E. – **BODA P.** – DEÁK CS. – MÁLNÁS K. – MÁTYUS B.: Makroszkópikus gerinctelen állat-együttesek felmérése 2004-ben a Tisza hosszszelvényében. – XLVI. Hidrobiológus napok, „Szélsőséges körülmények hatása vizeink élővilágára, Magyarországi kisvízfolyások ökológiai viszonyai”, 2004. október 06-08., Tihany, Hungary
7. KÁLMÁN A. – PÁLL-GERGELY B. – CSER B. – **BODA P.** – CSABAI Z.: Makroszkópikus vízi gerinctelenek faunisztikai vizsgálata a Déli-Bakony és a Balaton-felvidék víztereiben. — XLVII. Hidrobiológus napok, „Vizeink élővilágát érintő környezeti változások”, 2005. október 5-7. Tihany, Hungary
8. KÉZÉR K. – MÜLLER Z. – MÁTYUS B. – MÓRA A. – **BODA P.**: A Boroszló-kerti-Holt-Tisza állapotjellemezése a szitakötő-fauna (Odonata) összetétele alapján – XLVI. Hidrobiológus napok, „Szélsőséges körülmények hatása vizeink élővilágára, Magyarországi kisvízfolyások ökológiai viszonyai”, 2004. október 06-08., Tihany, Hungary
9. SOÓS N. – KÁLMÁN Z. – KOVÁCS T. Z. – **BODA P.** – HORNYÁK A. – KECSŐ K.: A Zala vízrendszerének makroszkópikus gerinctelen faunája 3. Bogarak, poloskák. – V. Makroszkópikus vízi gerinctelenek kutatási konferencia, (V. MaViGe), 2008. április 10-12., Nyíregyháza, Hungary