



XXXII. OTDK Biológia Szekció

Két hazai kételtűfaj ebihalainak denzitásával összefüggő biotikus és abiotikus tényezők vizsgálata a Pilis-Visegrádi hegységben.

Készítette:

Tóth Zsófia^{1,2}

1: Debreceni Egyetem, TTK, Biológus Msc II. évfolyam

Belső konzulensek:

Prof. Dr. Barta Zoltán^{2,3}

Herczeg Dávid^{2,3}

2: MTA, Lendület Viselkedésökológiai Kutatócsoport

3: Debreceni Egyetem, Evolúciós Állattani és Humánbiológiai Tanszék

Külső konzulensek:

Dr. Hettyey Attila⁴

Dr. Bókony Veronika⁴

4: MTA ATK, NÖVI, Lendület Evolúciós Ökológiai Kutatócsoport

Tartalomjegyzék

1. Absztrakt.....	3
2. Bevezetés.....	3
3. Anyag és módszerek.....	5
3.1. Vizsgálati terület és fajok.....	5
3.2. Abiotikus tényezők.....	6
3.3. Biotikus tényezők.....	6
4. Eredmények.....	9
4. Diskusszió.....	15
4.1. A pH és az ebihal- denzitás összefüggése.....	15
4.2. Piócák és az ebihalak denzitása közötti összefüggések.....	16
4.3. Csíkbogár imágók és az ebihalak denzitása közötti összefüggés.....	16
4.4. A táplálékkínálat és az ebihalak denzitása közötti összefüggés.....	16
4.5. Szitakötő lárvák denzitása, tó méret és a vízi növényzet borításának összefüggései az ebihalak denzitásával.....	17
6. Köszönetnyilvánítás.....	17
7. Irodalomjegyzék.....	18
8. Tételes szerzői hozzájárulás.....	21

1. Absztrakt

Dolgozatomban azt vizsgálom, hogy a környezet egyes biotikus és abiotikus elemei milyen összefüggést mutatnak az ebihalak egyedsűrűségével. A vizsgálatokat a Pilis-Visegrádi hegységrendszer efemer kisvízeiben végeztük el 2014 tavaszán. A két vizsgált faj a vizsgált kisvizek nagy részében előforduló barna varangy (*Bufo bufo*) és az erdei béka (*Rana dalmatina*) volt, de értékeltük a két faj együttes denzitásával összefüggő tényezőket is. Mértük a víztestek fizikai-kémiai paramétereit, az ebihalak táplálékául szolgáló bevonat mennyiségét, valamint az ebihalak ragadozóinak és versenytársainak számító állatcsoportok egyedsűrűségét. Eredményeink szerint a két faj közül csak a barna varangy ebihalak denzitása korrelált a felmért tényezők némelyikével, a kisebb egyedsűrűségben talált erdei békáé nem. A barna varangy ebihalak denzitása azokban a tavakban volt nagyobb, ahol magasabb volt a pH, több a csíkbogár imágó, és kevesebb a pióca. Továbbá, az össz ebihal denzitás azokban a vizekben volt magasabb, ahol a táplálékot adó bevonat biomasszája nagyobb volt. Ezek az eredmények arra utalnak, hogy az ebihalak denzitását több környezeti tényező befolyásolja, ugyanakkor ezek a hatások különbözhetnek az egyes fajok között. További vizsgálatok szükségesek a befolyásoló tényezők közötti komplex kapcsolatrendszer feltárásához.

2. Bevezetés

A kétéltűek az állatvilág egyik legveszélyeztetettebb állatcsoportjaként vannak számon tartva, mivel a közel 6000 ismert faj közül minden harmadikat a kihalás fenyegeti (Stuart et al., 2004). A világszinten csökkenő egyed és populáció szám, és emiatt a veszélyeztetett fajok számának növekedése több komplex problémára vezethető vissza, ilyen a helyi klíma megváltozása, a savas esők, az élőhelyek feldarabolódása és eltűnése, betegségek és idegenhonos fajok terjedése, az UV-B sugárzás növekedése, valamint a környezetszennyezés melyek fel is erősíthetik egymás hatásait (Houlahan et al. 2000; Hayes et al., 2010). A populációk sikeres fenn maradása nem csak a felnőtt egyedek sikerességén múlik, hanem az utód nemzedékek túlélésén, és szaporodóképessé válásán is.

Sok tanulmány foglalkozik azzal, hogy milyen biotikus és abiotikus tényezők befolyásolják az ebihalak fejlődését, és túlélésének mértékét. Az egyik ilyen befolyásoló tényező a tavak hidroperiódusa (Semlitsch et al., 1996), ha a szaporodóhelyként használt víztér túl hamar kiszárad, akkor az ebihalaknak nincs elég ideje arra, hogy a metamorfózis végbemenjen, így az új generáció teljesen elveszhet. A kétéltűek ektoterm állatok, ezért a fejlődésük folyamán függnek a külső

környezet hőmérsékletétől is. Volpe (1957) kimutatta, hogy *Bufo valliceps* esetén az embrionális fejlődés optimuma 20 és 33 °C közé esik, de 36 °C-on a gasztruláció már nem indul meg. *Hyla regilla*-val végzett vizsgálatok kimutatták, hogy az ebihalak átlagos testmérete pozitív összefüggést mutat a hőmérséklettel (Anderson et al. 2001), *Discoglossus galganoi* esetén a három vizsgálati hőmérséklet (12°C, 17°C, 22°C) közül a legmagasabb mutatta a legerősebb pozitív hatást az átlagos testméretre (Alvarez et al. 2002). Noland and Ultsch (1981) bevezették a kritikus hőmérsékleti maximum fogalmát, mely az a hőmérséklet, ahol a mozgás rendezetlenné válik, és az ebihalak elpusztulnak. Ez a kritikus hőmérsékleti maximum a lárvális fejlődés korai stádiumaiban magasabb, és az általunk vizsgált két faj rokonai, a *Rana pipiens* és a *Bufo terrestris* ebihalai közül az utóbbinál volt magasabb ez az érték. A hőmérséklet mellett hatással lehet az ebihalakra az oldott oxigén tartalom is (Noland and Ultsch, 1981), Savage (1952) szerint a varangyok kedvelik a jó oxigénellátottságú területeket. *Rana catesbeianaval* végzett kutatások eredményei viszont azt mutatják, hogy az alacsonyabb oldott oxigénszint jobb túlélést eredményez ragadozó (*Ambystoma tigrinum*) jelenlétében (McIntyre and McCollum, 2000). További vizsgálatok alapján a *Lithobates sylvaticus* ebihalainak denzitása pozitív kapcsolatot mutattak az oldott oxigén tartalommal (Stevens et al., 2006). Fontos megemlíteni, hogy a hőmérséklet befolyásolja az oldott oxigén tartalmat: a vízhőmérséklet megnövekedésével erősen lecsökkenhet a vízben oldott oxigén mennyisége (Nie et al., 1991). Meghatározó tényező a vízi növényzet, hiszen nagymértékben hathat az ebihalak túlélési rátájára: táplálékot nyújt, búvóhelyet biztosít a potenciális ragadozók elől (Bellakhal et al., 2014). Brown és munkatársai (2009) ugyanakkor *Lithobates sylvaticus* és *Pseudacris maculata* esetén meglepő módon negatív összefüggést találtak a vízi növényzet borítása és az ebihalak denzitása között. A kételtűekre jelentős hatással bír a pH is, mint abiotikus faktor, mert a túl savas vagy túl lúgos környezet csökkenti a túlélés valószínűségét, *Rana temporaria*val végzett vizsgálatok például kimutatták, hogy a túl savas környezet növeli az embriók mortalitási arányát, ezáltal hatással van a későbbi denzitás értékekre (Cummins, 1989). *Rana cascadae* esetén az alacsony pH értékek, vagyis az egyre savasabb környezet szintén csökkentette az ebihalak denzitását (Hatch and Blaustein, 2000). A víz további fizikiai-kémiai tulajdonságai is befolyásolhatják az egyedsűrűség értékeket, például *Lythobates sylvaticusszal* és *Pseudacris maculatával* végzett felmérések azt mutatták, hogy a konduktivitás és a TDS (összes oldott anyag) negatív összefüggésben áll a denzitással, míg a vízmélység a *Lythobates sylvaticus* és az *Anaxyrus boreas* esetében mutatott negatív összefüggést (Brown et al., 2009). Alvarez és munkatársai (2002) kimutatták, hogy a táplálékkínálat hatással van a fejlődésre: a *Discoglossus galganoi* esetén a magasabb protein tartalmú tápanyag magasabb átlagos tömeget eredményezett, de ennek a hatásnak a nagysága függött a hőmérséklettől és az ebihalak fejlettségi állapotától. Az ebihalak általában bevonatot fogyasztanak (Péchy és Harszthy,

1997), de áttérhetnek szűrőgetésre, mint a *Xenopus laevis* és a *Rana pipiens* lárvái (Seale, 1982), és előfordulhat, hogy vízi makrogerincteleneket fogyasztanak, mint a *Hyla saxicola*, *Scinax machadoi* és a *Bufo rubescens* esetén (Dutra and Callisto, 2005). Az ebihalaknak számos ragadozója lehet. *Hyla gratiosa* ebihalainak a denzitása a velük elvégzett vizsgálat folyamán negatív összefüggést mutatott az *Ambystoma talpoideum*, és semleges kapcsolatot *Anax junius*, jelenlétében (Caldwell et al., 1980). Ugyanakkor más tanulmányok pozitív kapcsolatot mutattak a békák denzitása és a ragadozók jelenléte között, mint például Hettyey és munkatársai (2003) a gerinctelen ragadozók (*Dytiscus marginalis*, *Aeshna* sp., *Libellula* sp., *Notonecta galuca*) és a *Hyla arborea*, *Rana dalmatina* és a *Bufo bufo* esetén pozitív összefüggést találtak. Az ebihalak denzitását nem csak a predátorok, hanem a különböző versenytársak is képesek befolyásolni, ezek lehetnek intraspecifikus (Morin, 1986) és konspecifikus (Mokany and Shine, 2002) kompetítorok is.

Az eddigi vizsgálatokból kitűnik, hogy a különböző fajok különböző módon reagálhatnak az egyes környezeti tényezőkre. Ezért fontos az ebihalak egyedsűrűségének alakulásával, és az azt befolyásoló tényezőkkel foglalkozni, hiszen ezek megismerése révén fontos információkat szolgáltatathatunk a veszélyeztetett fajok védelméhez. Vizsgálatunk az ebihalak denzitására potenciálisan ható abiotikus és biotikus tényezők felderítését, és az ugyanezen vizsgálati területen mások által korábban kapott kételtűfaunisztikai eredmények (pl.: Hettyey és mtsai., 2003; Vági et al., 2013) kiegészítését és validálását tűzte ki célul. Kutatásunk így új adatokat nyújthat a hazánkban is megtalálható, általunk vizsgált két faj jobb megismeréséhez, és speciális konzervációs stratégiák kialakításához.

3. Anyag és módszerek

3.1. Vizsgálati terület és fajok

A terepi munkálatokat 2014 tavaszán a Pilis-Visegrádi hegység 17 efemer kisvizében végeztük. A Pilis hegység Budapest és Esztergom között, míg a Visegrádi hegység a Dunakanyarban terül el. A két hegységet egymástól a Dera- és a Szentléleki patak völgye választja el egymástól. A Pilis rög-, míg a Visegrádi hegység vulkanikus hegység. Élővilágukban sokban hasonlítanak, mindkét hegységre jellemző a gyertyános- és a cseres- tölgyes, valamint a bükkös. A lehulló esővíz többnyire mesterségesen kialakított mélyedésekben hoz létre időszakos kisvizeket. Ezek közül aszerint választottuk ki a tavakat, hogy a korábbi évek tapasztalata alapján (Vági et al., 2013) várható volt-e bennük a vizsgált két faj ebihalainak előfordulása. A tavakat március végén és április közepén bejárva felmértük az ebihalak fejlettségi stádiumát, és ez alapján a felméréseket úgy időzítettük, hogy minden tó esetében hasonló fejlettségű ebihalakat mintázhassunk (körülbelül 28-

as Gosner állapot; Gosner, 1960). A felmérés folyamán két a hegységben gyakori békafaj, a barna varangy, és az erdei béka ebihalaival foglalkoztunk. Mindkét faj az IUCN vörös listáján a „Nem fenyegetett” kategóriába tartozik, de amíg a barna varangy (*Bufo bufo*) populációi stabilak, addig az erdei béka (*Rana dalmatina*) populációk csökkenő tendenciát mutatnak (IUCN red list, 2014). A barna varangy Magyarország szinte teljes területén előfordul, de elsősorban erdőtársulásokhoz kötődik, egyedül a túl száraz, vagy a sokszor víz alá kerülő területeket kerüli. Szaporodásra tavakat, nagyobb pocsolyákat, holtágakat használ, petéi a zsinórban két sorban helyezkednek el, melyet növények, ágak köré helyez. Az embrionális fejlődés 2-3 hét alatt megy végbe, majd a lárvális fejlődés 1,5 – 2,5 hónapot vesz igénybe, a területen uralkodó élőhelyi jellemzőktől és mikroklímától függően (Péchy és Harszthy, 1997). Az erdei béka Magyarországon a bükk- és tölgy erdőkben közönséges, a barna békák közül a leggyakoribb. Szaporodásra tiszta vizű tavakat használ, a petéket egyesével, egy csomóba rakják a párok. A petecsomókból 2-2,5 hónap alatt fejlődnek ki a kisbékák (Péchy és Harszthy, 1997)

3.2. Abiotikus tényezők

Abiotikus tényezők alatt azokat a faktorokat értjük, melyek az élettelen környezet meghatározó tulajdonságai. Tavanként 3-5 vízmintából (a tó méretétől függően) hőmérséklet, pH, oldott oxigén tartalom, konduktivitás és TDS (a víz szárazanyag tartalma) értékeket mértünk Consort C 6020 T típusú műszerrel. Megállapítottuk továbbá az átlagos vízmélységet (tavanként 3-14 mérésből), és felmértük a tavak szélességét és hosszúságát, melyekből kiszámoltuk a tó területének hozzávetőleges nagyságát, figyelembe véve az egyes tavak alakját (ellipszis, háromszög, négyszög). Becsültük a vízfelületnek azt a %-os arányát, amely fölött parti növényzet árnyékol.

A mintavételezések dátumát úgy számszerűsítettük, hogy az első felmérés dátuma kapta az egyes értéket, majd az azt követő dátumok, az első mintavételezés óta eltelt napok számát kapták értékül. Az első minta vételi nap 2014 április 22, az utolsó 2014 május 27 volt.

3.3. Biotikus tényezők

Biotikus tényezők alatt azokat a faktorokat értjük, melyek az élő környezet szerves részét képezik. Becsültük a vízfelületnek azt a %-os arányát, amelyben vízi növények jelen vannak. A felmérés során azokra az állatcsoportokra fókuszáltunk, amelyek a két békafaj ebihalainak ragadozói vagy versenytársai lehetnek. A fajok tömegességének felmérését kvadrát módszerrel

illetve hálózással végeztük el. A tavak méretétől függően összesen 4- 19 db mintát vettünk tavanként, közel azonos számú kvadrát és háló mintát véve (kivéve lét olyan tavat, amelyet csak hálózattal lehetett mintázni). Kör alakú kvadrátokat használtunk, melyek egyenként 70 centiméter átmérőjűek voltak, így alapterületük 0.38 m^2 volt. A hálózattal közel 1 méteres húzás volt szükséges a vízfenéken ahhoz, hogy a két módszerrel nagyjából azonos területet fedjünk le. A kvadrátozást és a hálózást a víztérben jelenlevő mikrohabitatok arányának figyelembe vételével végeztük el. Az egyedszámokból az alábbi képlettel számoltunk denzitást az egyes fajokra illetve taxonokra:

$$D = n_{\text{átlag}} / a$$

ahol: D= denzitás

$n_{\text{átlag}}$ = a kvadrát és háló mintákban mért átlagos egyedszám az adott tóban

a = a kvadrát alapterülete

A denzitási értékekből több származtatott változót számoltunk:

1: Predációs nyomás: az összes potenciális ebihal-predátornak tekintett taxon denzitás értékeinek összege. Potenciális ebihal- predátornak a következő taxonokat tekintettük: karcsú acsák (*Aeshnidae*: *Aeshna* sp., *Anax* sp.) legalább egy éves lárvái, acsák (*Libellulidae*) legalább egy éves lárvái, ivarérett pettyes gőték (*Lissotriton vulgaris*), hanyattúszó poloskák (*Notonecta glauca*), szegélyes csíkbogár lárvák és imágók (*Dytiscus marginalis*), szegélyes vidrapók (Dolomedes fimbriatus), és piócák (*Hirudinea*).

2: Súlyozott predációs nyomás: az összes potenciális ragadozónak tekintett taxon denzitásának a súlyozott átlaga. Az *Aeshna* és *Anax* lárvák, a csíkbogár lárvák és imágók hármas szorzót, a hanyattúszó poloska és a pettyes götte kettes szorzót kapott, míg a vidrapók (a talált egyedek kis mérete miatt) és a piócák egyes szorzóval szerepeltek ebben a változóban. A súlyozás alapjául Van Buskirk és Arioli (2005) vizsgálata és saját tapasztalataink (Hettyey et al. 2011) szolgáltak.

3: Predátorok diverzitása: a potenciális ragadozók Shannon- diverzitás indexe.

4: Kompetíció: a kompetítor taxonok denzitásának az összege. Potenciális ebihal kompetítornak a következő taxonokat tekintettük: vízi ászkák (*Asellus* sp.), tegzesek (*Trichoptera*), kérészek (*Ephemeroptera*), bolharák (*Gammaridae*), zöld levelibéka (*Hyla arborea*), erdei béka (*Rana dalmatina*) és barna varangy (*Bufo bufo*) ebihalak. Amikor a barna varangy denzitásával összefüggő tényezőket vizsgáltuk, akkor a kompetíció erejét leíró változóból a barna varangyok denzitását ki vettük, ugyanígy az erdei béka denzitásának elemzésekor a kompetíciós változóból az erdei békát hagytuk ki.

5: Súlyozott kompetíció: a kompetítor taxonok denzitásának súlyozott átlaga. Az erdei béka és a varangy ebihalak hármas szorzót kaptak, az alapján, hogy ezek a fajok hasonló

életmódot folytatnak, továbbá a vizsgálati időszakban hasonló fejlődési stádiumban voltak. A leveli béka ebihalak kettes szorzóval szerepelnek attól függetlenül, hogy az előző két fajhoz hasonló táplálkozási szokásokkal rendelkeznek, mivel az ebihalak fejlődési stádiumukban és méretükben is jóval elmaradtak a másik két fajhoz képest. A vízi ászka, a tegzesek, a kérészek, és a bolha rákok egyes szorzóval szerepelnek, mivel ezeknek a taxonoknak a táplálkozási szokásai hasonlítanak legkevésbé a vizsgált két békafajéhoz. Ennél a változónál is vagy a barna varangy, vagy az erdei béka denzitását hagytuk ki, attól függően, hogy melyik faj vizsgálatához használtuk a változót.

6: Kompetítorok diverzitása: a versenytársak Shannon- diverzitás indexe.

Mivel az ebihalak elsősorban bevonat képző algákkal és az ezeken megtelepedő baktérium- és gombaflórával táplálkoznak, ezért a bevonat szerves szárazanyag- tartalmának mérését találtuk célravezetőnek a táplálékkínálat felmérésére. A terepi munkálatok folyamán, március 19-22. között tavanként kihelyeztünk a tó méretétől függő darabszámú (kisebb tavakban 15, közepes méretűekben 20, nagyobb tavakban 25) 10 cm² területű kerámia csempét, a tó méretétől függően 3-5 sorban. Mindegyik sorban 3 csempe volt, egy a partközelségben, egy amilyen mélyre betudtunk menni (maximum 1,5 méter mélyen) és egy a kettő között félúton. A csempék átlagosan egy hónapot voltak kint a tavakban, majd a begyűjtéskor külön üvegcsékbe lekapartuk és desztillált vízzel lemostuk a rajtuk növekedő bevonatot, majd a mintákat mérésig fagyaszttva tároltuk. A bevonat-biomassza mérése labor körülmények között történt. Az első lépésben 105 °C-on 20 óra alatt szárítószekrényben lepároltam az összes vizet a mintákról, majd egyenként felöntöttem őket 3-3 ml desztillált vízzel, és ultrahangos rázógéppel feláztattam a letapadt sejteket. A méréshez használt tégléket megszámoztam és lemértem, majd beléjük öntöttem a már feláztatott mintákat, és újra beszárítottam őket. A szárítást követően újra lemértem a téglék tömegét, melyek ekkor a súlyállandóságig szárított bevonatot tartalmazták. A következő lépés a minták izzítása volt 550 °C-on, ebben a szakaszban a szerves anyag elég a mintából és csak a hamu marad vissza. Az izzító kemence négy órás felfűtési időre volt beállítva, majd a kívánt hőmérséklet elérése után két órán keresztül égettem a bevonatot, és a kihűlés után mértem a mintáink tömegét. A szárított anyag és az izzított anyag tömege közötti különbség a szerves szárazanyagtartalom, ami az egyes csempéken lerakódott tényleges ebihaltáplálék mennyiséget fejezi ki. Az egy-egy tóra vonatkozó értékeket úgy kaptam meg, hogy az adott víztérhez tartozó összes csempe adatát átlagoltam, és a továbbiakban ezt használtuk a korrelációs vizsgálatoknál.

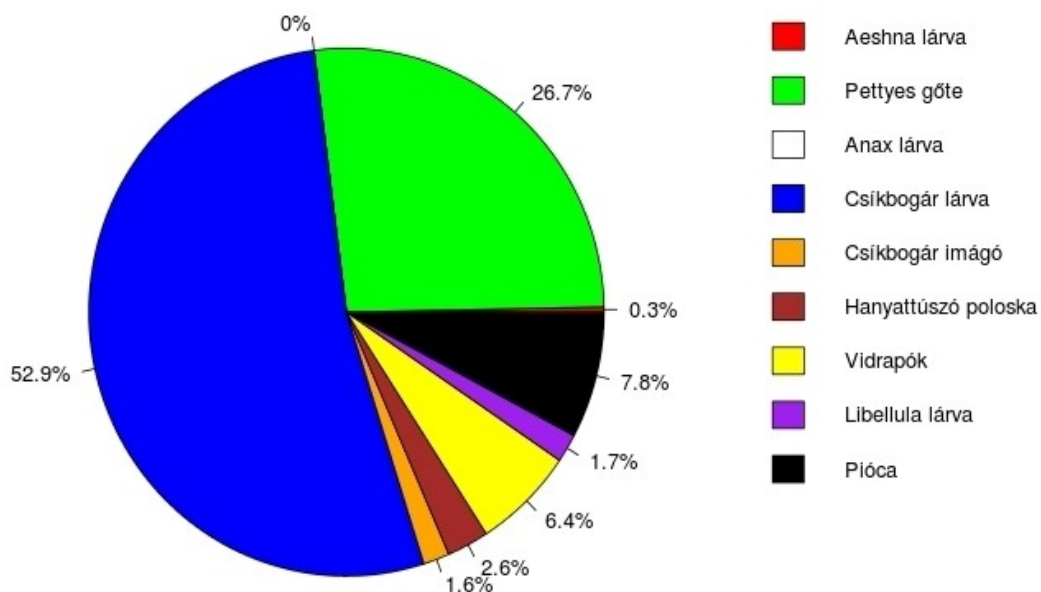
3.4. Statisztikai elemzés

Az adatok elemzéséhez az R statisztikai környezetet használtuk. A Shannon- féle

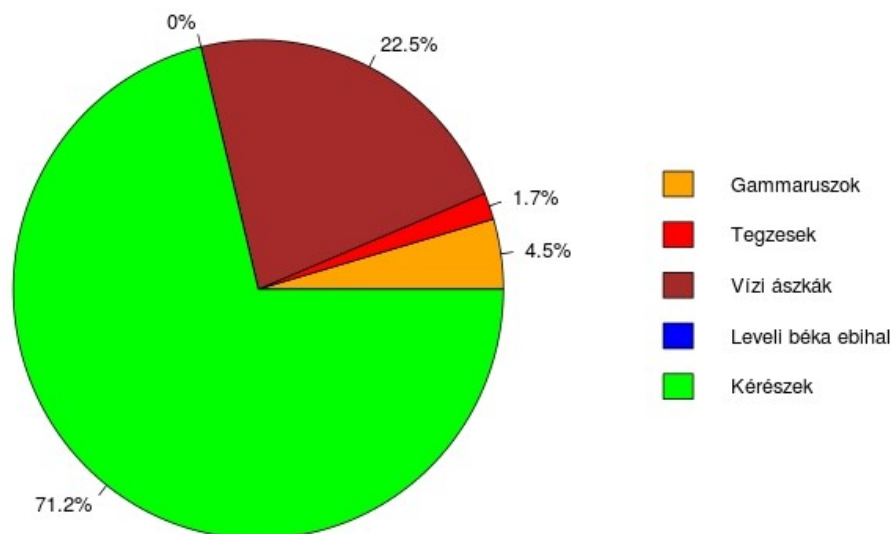
biodiverzitás indexeike az R vegan csomagjával számoltuk. Páronkénti korrelációs tesztek futtattunk a terepen begyűjtött és a laborban mért adatainkon. Az elemzéseket háromféleképpen végeztük el: a barna varangy, az erdei béka, valamint a két vizsgált faj összesített ebihal denzitásának korrelációit teszteltük a többi vizsgált változóval. Ezekhez Spearman-féle rangkorrelációt használtunk, mivel ez a teszt robusztus és nem feltétele a változók normál eloszlása. A szignifikánsnak ($p < 0,05$) talált összefüggéseket lineáris regressziós egyenes illesztésével ábrázoltuk a változók logaritmizálása után (ezt a változók ferde eloszlása indokolta, kivétel volt a pH). A dolgozatban bemutatott elemzéseket előzetes adatfeltárásnak tekintjük későbbi, többváltozós paraméteres tesztekhez; a szignifikancia- szinteket nem korrigáltuk a korrelációk számával.

4. Eredmények

A vizsgált két békafaj közül az általunk felmért kisvizekben a barna varangy utódai voltak jelen nagyobb tömegben, összesen 94.6%-t tették ki az összes ebihal egyedszámnak, míg az erdei béka ebihalak 5.4%-ban, a zöld levelibéka ebihalak 0.1%-ban voltak jelen. Továbbá a potenciális ragadozó taxonok közül a csíkbogár lárvá 52.9%-a, míg a pettyes göte 26.7%-a volt az összes predátor denzitásának (1. ábra). Az általunk az életmódbeli különbségek miatt gyenge kompetítornak minősített taxonok (2. ábra) aránya elenyésző volt az ebihalak arányához képest, mivel összesen csak 0.9%-át tették ki az összesített kompetitor denzitásnak. Az erdei béka ebihalak denzitása egyik biotikus és abiotikus tényezővel sem mutatott szignifikáns vagy marginálisan szignifikáns összefüggést. Az általunk felmért taxonok denzitásait az 1. táblázat foglalja össze.



1. ábra: Az általunk potenciális ebihal ragadozónak vett taxonok denzitásainak eloszlása a 17 felmért kisvíz esetén.



2. ábra: Az általunk gyenge kompetítornak minősített versenytársak denzitásainak az eloszlása a 17 kisvíz esetén.

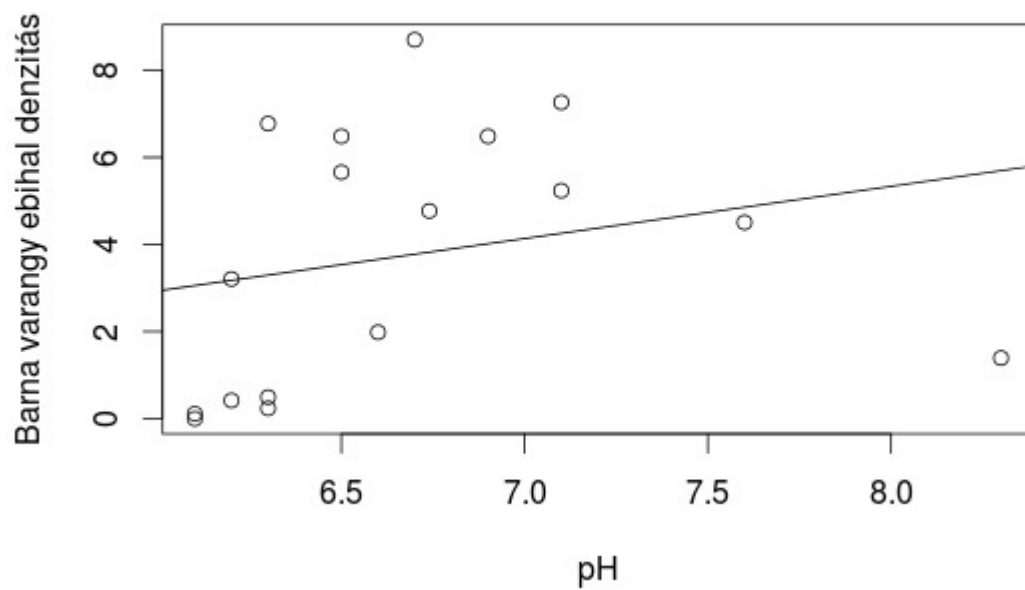
A korrelációk során talált szignifikáns és marginálisan nem-szignifikáns összefüggések a 2. táblázatban láthatóak. A barna varangy ebihalak- egyedsűrűsége pozitívan korrelált a pH-val (3.ábra), és a csíkbogár imágók denzitásával (4. ábra), míg a piócák denzitásával negatív összefüggést mutatott (5.ábra).

A barna varangy és az erdei béka ebihalak összesített denzitása a pH-val már nem állt összefüggésben, ugyanakkor a bevonatbiomasszával pozitívan korrelált (6.ábra). Az összesített ebihal- egyedsűrűség is szignifikáns negatív korrelációt mutatott a pióca denzitással (7.ábra) és a csíkbogár imágók denzitásával (8.ábra).

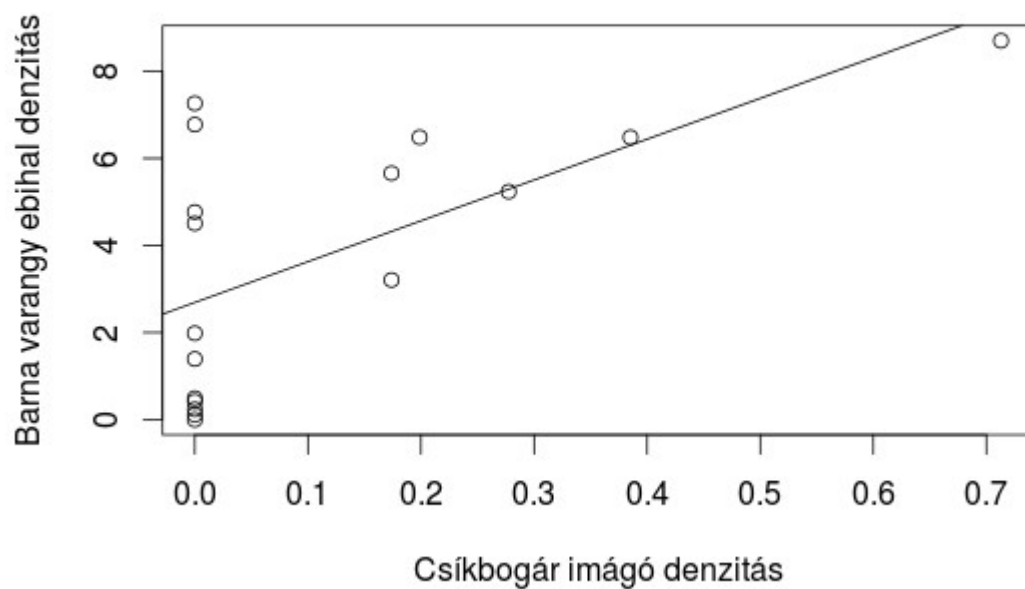
Néhány marginálisan nem-szignifikáns korrelációt is találtunk. Az *Aeshna* lárvák denzitása a barna varangy és a két gyakori ebihal denzitásainak összegével is gyenge pozitív kapcsolatban állt. A barna varangy ebihalak denzitása a bevonatbiomasszájával pozitívan, míg a tó területével negatívan korrelált. A két vizsgált faj ebihalainak összesített denzitása a vízi növényzet borítással mutatott gyenge pozitív kapcsolatot (2. táblázat).

1. táblázat: Az általunk felmért taxonok denzitás értékei a 17 kisvíz esetén.

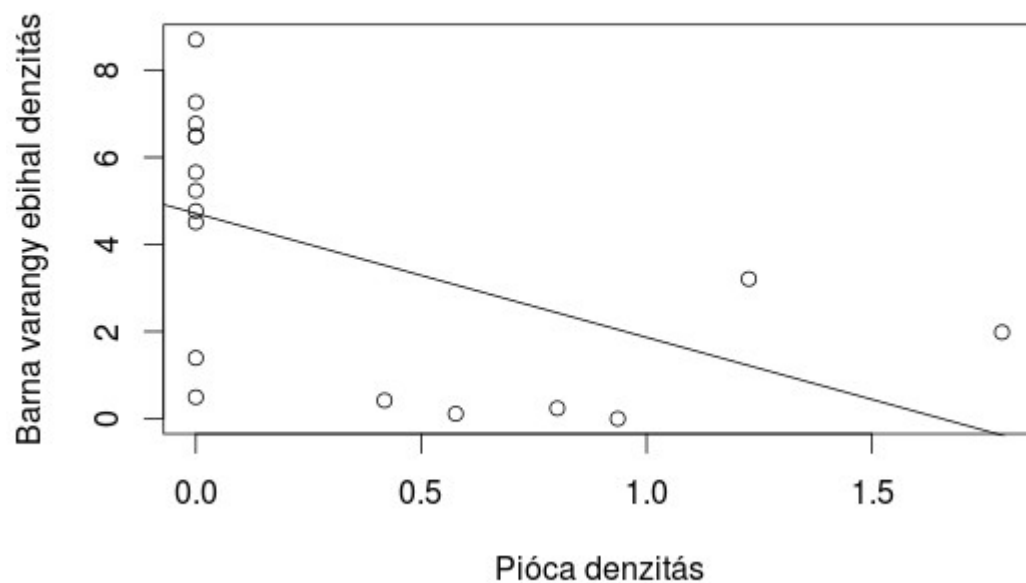
A tó neve	Biomassza (mg)	Bara ebihal denzitás	varangy/erdei béka ebihal denzitás	Összesített ebihal denzitás	Aeshna láva denzitás	Pettyes gőle-Hanyattuszó poloska denzitás	Libellula láva denzitás	Csikbogar imago denzitás	Csikbogar láva denzitás	Vízapók denzitás	Póca denzitás	Vízi ászka denzitás	Tegzes denzitás	Kérész denzitás	lávaboharak denzitás	Leveli ebihal denzitás	béka denzitás
Sóstói tó	3,50	6011,00	16,37	6027,37	0	20,26	0,26	1,04	0,52	0	0	0	0	0,52	0	0	0
Németszéna	1,10	187,11	99,08	286,19	0	0,32	0	0,32	24,69	0	0	0	0	0	0	0	0
János-tó	2,16	23,76	3,53	27,29	0	1,67	0	0,19	0	0	2,41	10,02	0	0	11,88	0	0
Alsóhosszúréti	9,48	653,94	19,61	673,55	0	5,2	0,71	0	21,03	0	0	0	0	0	0,24	0	0
Ilona-tó	2,33	0,52	31,19	31,71	0	0,52	0,52	0	4,16	0	0,52	6,24	1,04	0	0	1,56	0
Sóstói zsombékos	5,14	654,02	6,06	660,08	0	4,55	0,87	0	1,73	0	0	0	0	0	0	0	0
Zánkai rét	2,56	1428	34,87	1462,87	0,21	1,07	0	1,08	0,21	0	0	0	0	0	0,43	0	0
Mélymocsár	0,93	0,64	29,89	30,53	0	0,43	0,22	1,3	2,17	0,65	0	0	0	0	20,14	0	0
Bükkipuszta	1,24	0	19,23	19,23	0	0	0	0	4,15	8,31	1,55	0	0	0	0	0	0
Vértess-Eszak	2,83	286,05	160,19	446,24	0	1,3	0	0	3,71	0	0	0	0	0	0	0	0
Papréti-középső	0,81	6,28	14,08	20,36	0	0	0	0	1,95	0	4,98	0	0	0	0	0	0
Szárazfarkas-belső	1,77	89,66	110,88	200,54	0	1,09	0	0	1,73	0	0	0	0	0	32,48	0	0
Csikos-tó	4,49	0,27	4,65	4,92	0	2,05	0,14	0	0,55	0	1,23	5,61	0,14	0	3,28	0	0
Lapos	0	3,03	3,03	6,06	0	0	0	0	5,63	0	0	0	0	0	0,87	1,3	0
Felsőhosszúréti-ellőlő	2,75	875,78	12,99	888,77	0,26	0	0,26	0	3,9	0,26	0	0	0	0	0	0	12,73
Felsőhosszúréti-középső	2,30	0,12	28,85	28,97	0	1,04	0,26	0	2,08	0	0,78	0	0	0	0	1,56	0
Felsőhosszúréti-pócsolya	0,00	117	0	117	0	0	0,65	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0



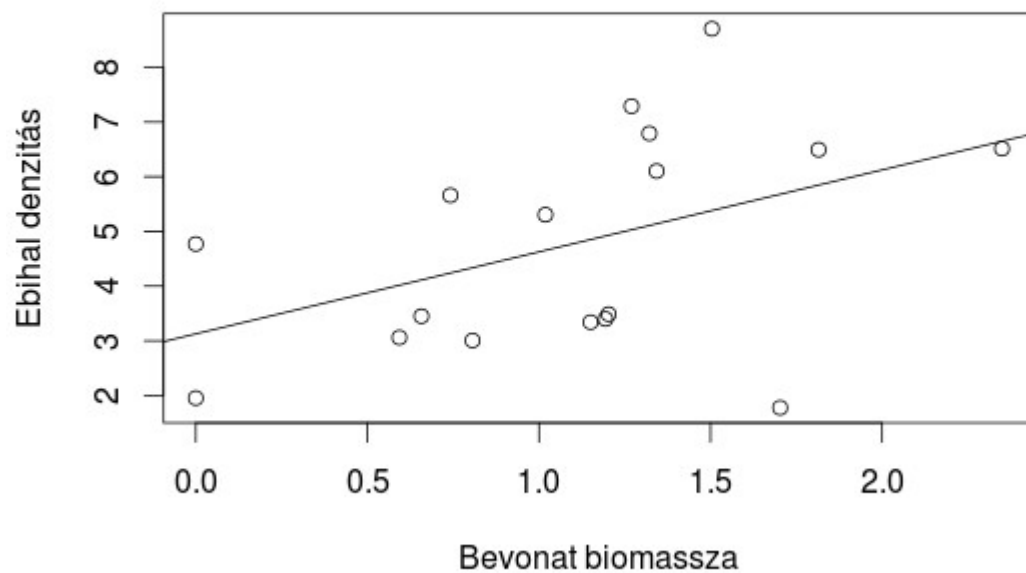
3. ábra: A barna varangy denzitás (egyed/m² tízes alapú logaritmusa) és a pH közötti összefüggés.



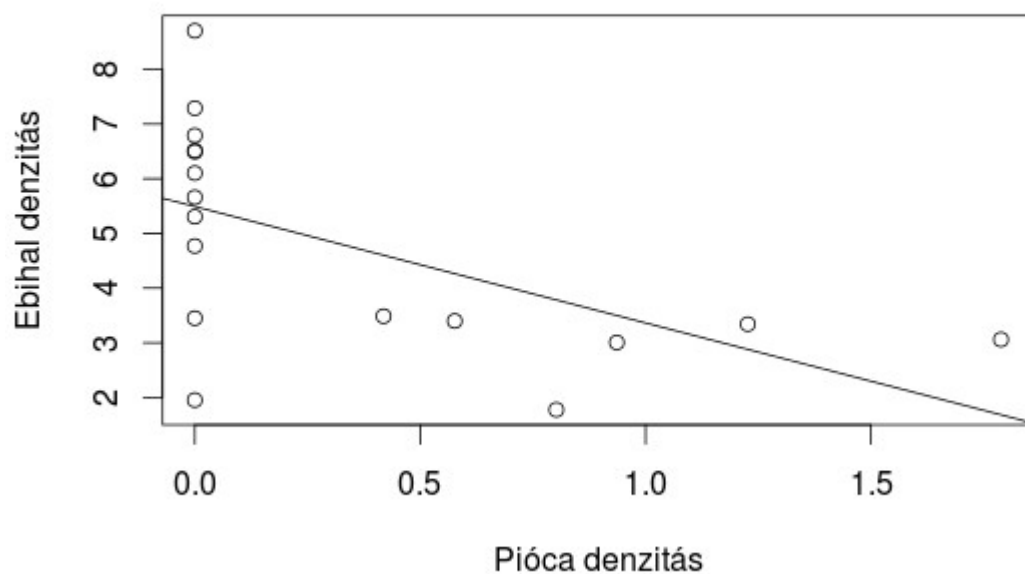
4. ábra: A barna varangy ebihal denzitás (egyed/m² tízes alapú logaritmusa) és a csíkbogár imágó denzitás (egyed/m² tízes alapú logaritmusa) közötti összefüggés.



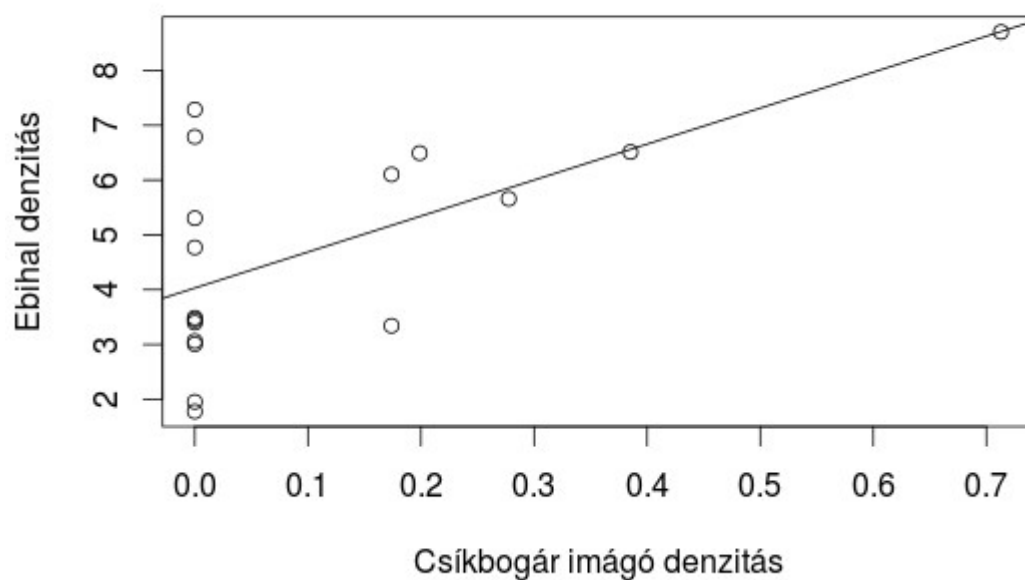
5. ábra: A barna varangy ebihal denzitás (egyed/m² tízes alapú logaritmusa) és a pióca denzitás (egyed/m² tízes alapú logaritmusa) közötti összefüggés.



6. ábra: A barna varangy és az erdei béka ebihalainak összesített denzitásainak (egyed/m² tízes alapú logaritmusa) és a bevonat biomassza (mg/10cm² tízes alapú logaritmusa) közötti összefüggés.



7. ábra: A barna varangy és az erdei béka összesített ebihal denzitása (egyed/m² tízes alapú logaritmusa) és a pióca denzítés (egyed/m² tízes alapú logaritmusa) közötti összefüggés.



8. ábra: A barna varangy és az erdei béka összesített ebihal denzitása (egyed/m² tízes alapú logaritmusa) és a csíkbogár imágó denzitása (egyed/m² tízes alapú logaritmusa) közötti kapcsolat.

2. táblázat: A Spearman rangkorrelációk szignifikáns és marginálisan szignifikáns eredményeit az általunk felmért 17 kisvíz esetén.

	Spearman értékek	pH	Csíkbagár imágó	Piócák	Biomassza	Terület	Aeshna lárva	Vízi növény lefedettség
Barna varangy	p-érték	0.0315	0.0166	0.0375	0.0875	0.0948	0.0504	
	rho	0.5221	0.5711	-0.6624	0.4267	-0.4181	0.0481	
Összesített ebihal	p-érték		0.0320	0.0022	0.0369		0.0504	0.0732
	rho		0.5209	-0.6882	0.5088		0.4813	0.4452

4. Diskusszió

Az eredményeink egybecsengenek azzal, hogy az ebihalak denzitását több környezeti faktor is befolyásolhatja, ugyanakkor ezek a hatások különbözhetnek az egyes fajok között. A három vizsgálati csoport közül csak a barna varangyok denzitása, illetve a két faj együttes ebihal-egyedsűrűsége esetén figyeltünk meg szignifikáns korrelációkat egyes biotikus és abiotikus környezeti jellemzőkkel. Ez utalhat arra, hogy a két faj közül az erdei béka ebihalai esetleg kevésbé érzékenyek a környezet változatosságára a Pilis-Visegrádi hegységben. Ugyanakkor az általunk vizsgált víztestekben az erdei béka jóval kisebb egyedszámban fordult elő, mint a barna varangy, ezért eredményeinkből elsősorban az utóbbi fajra vonatkozólag tudunk következtetéseket levonni.

4.1. A pH és az ebihal- denzítés összefüggése

A pH-val szignifikáns összefüggés arra utal, hogy a savasabb kémhatás negatív hatással van a barna varangy ebihalakra. Eredményeink alapján a barna varangy ebihalak 6,5-7 pH érték közötti intervallumot kedvelik, 6,5-ös pH alatt a denzítés két tó kivételével meglehetősen alacsony volt. Ez az eredmény összhangban van a korábbi, más fajokon végzett vizsgálatokkal, amelyek kimutatták, hogy a savasabb kémhatás negatívan hat az ebihalak denzitására (Cummins, 1989, Hatch and Blaustein, 2000). A környezetszennyezés által gyakoribbá váló savas esők az alacsony pH-ra való érzékenység miatt veszélyt jelentenek számos kételtűfaj állományaira (Houlahan et al. 2000, Hayes et al. 2010).

4.2. Piócák és az ebihalak denzitása közötti összefüggések

Korábbi vizsgálatok kimutatták, hogy a *Macrobdella decora* piócafaj jelenléte a víztérben a *Rana clamitans* ebihalainak növekedését lassítja és túlélési esélyét csökkenti (Schalk et al. 2002). A mi vizsgálatunkban a barna varangy ebihalak denzitása és az összesített ebihal denzitás a piócák denzitásának növekedésével csökkent. Ez a korreláció valószínűleg az ebihalak táplálkozási szokásaival van összefüggésben, mivel ebben a fejlődési szakaszban elsősorban bevonat alkotó alga közösségeket fogyasztanak, így sok időt töltenek az aljzaton. Ez megfelelő vadász terület a piócák számára, különösen az ebihalak korai fejlődési stádiumaiban, valamint átalakulás környékén, amikor újra jelentősen lecsökken a kétélűlárvák fürgesége, lehetnek képesek a piócák az ebihalakat nagyobb számban elfogyasztani. Több korábbi tanulmány kimutatta, hogy a piócák elfogyasztják a petéket (Cory and Manion, 1953; Travis and Trexler, 1986) Ugyanakkor meglepő, hogy a ragadozó taxonok közül éppen a piócák denzitásával korrelált legerősebben az ebihal- egyedsűrűség, mivel a piócák viszonylag gyenge ebihal- predátornak számítanak (Van Buskirk és Arioli 2005; Hettyey et al. 2011)

4.3. Csíkbogár imágók és az ebihalak denzitása közötti összefüggés

A csíkbogár imágók denzitása a barna varangy ebihalak denzitásával és az összesített ebihal denzitással is pozitívan korrelált. Ez az összefüggés meglepőnek tűnhet, mivel a csíkbogár mind lárva, mind imágó formájában jelentős ragadozója az ebihalaknak (Van Buskirk and Arioli 2005). A jelen vizsgálat eredményeiben meglepő, hogy a minden tóban jelen lévő csíkbogár lárva nincs összefüggésben az ebihal denzitással, de a sokkal kevesebb helyen megtalált csíkbogár imágó igen. A vizsgálat eredménye azt mutatja, hogy a ragadozók és zsákmányállataik kapcsolatának megértése egyszerű korrelatív vizsgálatokkal nehéz, mivel a két csoport kölcsönösen hat egymásra, továbbá hasonló vagy épp eltérő módon reagálhatnak a környezeti feltételekre (pl. vízminőségre, a vízszint ingadozásaira).

4.4. A táplálékkínálat és az ebihalak denzitása közötti összefüggés

A táplálékkínálat az összesített ebihal denzitással szignifikáns míg a barna varangy denzitással marginálisan szignifikáns pozitív korrelációt mutatott. Ugyanakkor az erdei béka ebihalak esetében nem volt kimutatható ez az összefüggés, amelynek az lehet az oka, hogy a versengő ebihalak részben módosíthatják a táplálkozási viselkedésüket, például erős kompetíció esetén a bevonat legeléséről áttérhetnek a lebegő táplálék szűrőgetésére, és a különböző fajok erre

különböző mértékben lehetnek képesek (Seal, 1982).

4.5. Szitakötő lárvák denzitása, tó méret és a vízi növényzet borításának összefüggései az ebihalak denzitásával

Az *Aeshna* lárvák denzitása az összes ebihal- és a barna varangy ebihal denzitással is marginálisan szignifikáns pozitív korrelációt mutatott. Mivel az *Aeshna* lárvák több éven keresztül fejlődnek és ez alatt végig függenek a víz jelenlététől, olyan helyeken tudnak csak átalakulni és stabil, nagyobb populációt kialakítani, ahol a kisvizek csak ritkán és legfeljebb rövid időre száradnak ki. Azok az élőhelyek, amik gyakran kiszáradnak, a kétélűek lárváinak sem hagynak elég időt az átalakulásra, így számukra sem alkalmasak. Ezek értelmében feltételezzük, hogy a víztér minősége, különösen vízmegtartó képessége, mindkét állatcsoport denzitását hasonló módon befolyásolja.

A vízi növényzet borítása tendenciaszerű pozitív kapcsolatban volt az összesített ebihal denzitással, tehát azokon a helyeken, ahol a vízi növényzet borítása nagyobb volt, ott az ebihal denzitás is magasabb volt. Ennek valószínűleg az az oka, hogy a vízi növényzet búvóhelyet nyújt a potenciális predátorok ellen. Korábbi vizsgálatok negatív összefüggést találtak a barna varangyok denzitása és a vízi növényzet komplexitása között (Hettyey és mtsai., 2003). A különbség oka valószínűleg abban rejlik, hogy a jelenlegi vizsgálatok alatt csak a vízi növényzet borítását mértük, de a komplexitását nem. Vági et al. (2013) az erdei békák és a relatív tó változók (vízfelszín, vízmélység, növényzeti borítás, árnyékoltság, tengerszint feletti magasság) között pozitív marginálisan nem-szignifikáns összefüggést talált, a saját adataink elemzése során azonban nem találtunk semmilyen összefüggést az erdei béka ebihalak denzitása és a többi változó között. Ennek oka valószínűleg a saját vizsgálatok alatt talált alacsony erdei béka ebihal egyedszám.

Korábbi tanulmányok a vízfelülettel mind az erdei békák, mind a barna varangyok esetén pozitív összefüggést találtak (Hettyey és mtsai., 2003). Jelen vizsgálatunkban viszont a vízfelület nagysága tendenciaszerű negatív összefüggést mutatott a barna varangy ebihalak denzitásával. A későbbi elemzések folyamán többváltozós modellek felállítására van szükség a komplex ökológiai kapcsolatok feltárásához.

6. Köszönetnyilvánítás

Szeretnék köszönetet mondani Dr. Hettyey Attilának és Dr. Bókony Veronikának, hogy tapasztalataikkal, szakértelmükkel és kétéves munkájukkal támogattak a terepi munkálatoktól a jelen dolgozat elkészültéig. Szeretném megköszönni Dr. Barta Zoltánnak, hogy lehetőséget adott a tanszékén való munkálatokhoz. Szeretnék köszönetet mondani Herczeg Dávidnak, hogy tanácsaival

segítségemre volt a dolgozat elkészítésében. Továbbá szeretném megköszönni Dr. Simon Edinának a biomassa mérésekben nyújtott segítséget, és hogy elérhetővé tette számomra az ehhez szükséges eszközöket. És nem utolsósorban szeretném megköszönni az MTA ATK NÖVI Lendület Evolúciós Ökológiai Kutatócsoport minden tagjának a terepi munkálatokban vállalt aktív részvételt és segítséget.

7. Irodalomjegyzék

- Alvarez, D., Nicieza, A. G., 2002. Effects of temperature and food quality on anuran larval growth and metamorphosis. *Funct. Ecol.* 16, 640-648.
- Anderson, M. T., Kiesecker, J. M., Ghivers, D. P., Blaustein, A. R., 2001. The direct and indirect effects of temperature on a predator-prey relationship. *Can. J. Zool.* 79, 1834-1841.
- Bellkhal, M., Neveu, A., Aleya, L., 2014. Artificial wetlands as a solution to the decline in the frog population: Estimation of their suitability through the study of population dynamics of Sahara Frogs in hill lakes. *Ecol. Eng.* 63, 114-121.
- Browne, C. L., Paszkowski, C. A., Lee Foote, A., Moenting, A., Moenting, S., 2009. The Relationship of Amphibian Abundance to Habitat Features Across Spatial Scales in the Boreal Plains. *Ecoscience.* 16, 209-223.
- Caldwell, J. P., Thorp, J. H., Jervey, T. O., 1980. Predator-prey relationship among larval dragonflies, salamanders, and frogs. *Oecologia.* 46, 285-289.
- Cory, B. L., Manion, J. J., 1953. Predation on Eggs of the Woodfrog, *Rana sylvatica*, by Leeches. *Copeia* 1953, 66.
- Cummins, C. P., 1989. Interaction between the effects of pH and density of growth and development in *Rana temporaria* L. tadpoles *Funct. Ecol.* 3, 45-52.
- Dutra, S. L., Callisto, M., 2005. Macroinvertebrates as tadpole food: importance and body size relationship. *Rev. Bras. Zool.* 22, 923-927.
- Gosner, K. L. 1960. A simplified table for staging anuran embryos and larvae with notes on identification. *Herpetologica* 16, 183-190.
- Hayes T.B., Falso P., Gallipeau S., Stice M. 2010. The cause of global amphibian declines: a developmental endocrinologist's perspective. *J. Exp Biol.* 213: 921-933.
- Hatch, A. C., Blaustein, A. R., 2000. Combined Effects of UV-B, Nitrate, and Low pH Reduce the Survival and Activity Level of Larval Cascades Frogs (*Rana cascadae*). *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 39, 494-499
- Hettyey, A., Török, J., Kovács, T., 2003. Hét kétéltűfaj szaporodásbiológiája és

élőhelyhasználata a Visegrádi- hegység területén. Áll. Közl. 88, 41-45.

- Hettyey, A., Vincze, K., Zsarnóczai, S., Hoi, H., Laurila, A., 2011. Costs and benefits of defenses induced by predators differing in dangerousness. J. Evol. Biol. 24, 1007-1019.
- Houlahan, J. E., Findlay, C. S., Schmidt, B. R., Meyer, A. H., Kuzmin, S. L., 2000. Quantitative evidence for global amphibian population declines. Nature 404, 752.
- IUCN- The World Conservation Union. 2014 IUCN Red List of Threatened Species, <http://www.redlist.org> (2014).
- McIntyre, P. B., McCollum, S. A., 2000. Responses of bullfrog tadpoles to hypoxia and predators. Oecologia 125, 301-308.
- Mokany, A., Shine, R., 2002. Competition between tadpoles and mosquitoes: the effects of larval density and tadpole size. Aust. J. Zool. 40, 549-563.
- Morin, P. J., 1986. Interactions between intraspecific competition and predation in an amphibian predator-prey system. Ecology. 67, 713-720.
- Nie, M. J., Crim, D., Ultsch, G. R., 1999. Dissolved oxygen, temperature and habitat selection by bullfrog (*Rana castabeiana*) tadpoles. Copeia 1999, 153-162.
- Noland, R., Ultsch, G. R., 1981. The roles of temperature and dissolved oxygen in microhabitat selection by the tadpoles of a frog (*Rana pipiens*) and a toad (*Bufo terrestris*). Copeia 1981, 645-652.
- Péchy, T., Haraszthy, L., 1997. Magyarország kételtűi és hüllői. – Magyar Madártani és Természetvédelmi Egyesület, Budapest.
- R Core Team. 2013. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org/>.
- Savage, R. M., 1952. Ecological, physiological and anatomical observations on some species of anuran tadpoles. Proc. Zool. Soc. London 122, 467-514.
- Schalk, G., Forbes, M. R., Weatherhead, P. I., Montgomery, W. L., 2002. Developmental Plasticity and Growth Rates of Green Frog (*Rana clamitans*) Embryos and Tadpoles in Relation to a Leech (*Macrobdella decora*) Predator. Copeia 2002, 445-449.
- Seale, D. B., 1982. Obligate and facultative suspension feeding in anuran larvae: feeding regulation in *Xenopus* and *Rana*. Biol. Bull. 162, 214-231.
- Semlitsch, R. D., Scott, D. E., Pechmann, J. H. K., Gibbons, J. W., 1996. Structure and dynamics of an amphibian community. In: Cody, M. L., Smallwood, J. A. (Eds.), Long-term Studies of Vertebrate Communities. Academic Press, San Diego, pp. 217-248.
- Stevens, C. E., Paszkowski, C. A., Scrimgeour, G. J., 2006. Older is better: Beaver ponds on

- boreal streams as breeding habitat for the wood frog. *J. Wildl. Manage.* 70, 1360-1371.
- Stuart, S. N., Chanson, J. S., Cox, N. A., Young, B. E., Rodrigues, A. S. I., Fischman, D.L., Wallem, R. W., 2004. Status and trends of amphibians declines and extinctions worldwide. *Science* 306, 783-786
 - Travis, J., Trexler, J. C., 1986. Interactions among Factors Affecting Growth, Development and Survival in Experimental Populations of *Bufo terrestris* (Anura:Bufonidae). *Oecologia* 69, 110-116.
 - Van Buskirk, J., Arioli, M., 2005. Habitat specialization and adaptive phenotypic divergence of anuran populations. *J. Evol. Biol.* 18, 596 – 608
 - Vági, B., Kovács, T., Bancila, R., Hartel, T., Anthony, B. P., 2013. A landscape-level study on the breeding site characteristics of ten amphibian species in Central Europe. *Amphibia-Reptilia* 34, 63-73.
 - Volpe, E. P., 1957. Embryonic temperature tolerance and rate of development of *Bufo valliceps*. *Physiol. Zool.* 30, 164-175.

Lezárva: 2016. január 6.

3. számú melléklet
Tételes szerzői hozzájárulás

Alulírott, Tóth Zsófia az alábbi dolgozatban leírt munkafolyamatokat végeztem:

- Terepi mintavételezések:
 - Egyedszám becslése kvadrát módszerrel és speciális hálózással
 - Bevonat biomassza gyűjtés
 - Vízminta gyűjtés a vízkémiai/vízfizikai paraméterek méréséhez
- Bevonat-biomassza szárazanyag mérése
- Adatértékelés R statisztikai környezetben

Debrecen, 2014. január 6.



Aláírás