



Szent István Egyetem

**KLÍMAVÁLTOZÁSI HATÁSOK A TALAJ-  
MEZOFAUNA KÖZÖSSÉGEKRE – ÚJ MÓDSZERTANI  
MEGKÖZELÍTÉSEK**

Flórián Norbert

Gödöllő

2018

**A doktori iskola  
megnevezése:**

Tájépítészeti és Tájökológiai Doktori iskola

**tudományága:**

agrárműszaki

**vezetője:**

Dr. Bozó László  
egyetemi tanár, az MTA doktora  
Szent István Egyetem, Kertészettudományi Kar,  
Talajtan és Vízgazdálkodás Tanszék

**Témavezető:**

Dr. Dombos Miklós  
tudományos főmunkatárs  
MTA ATK Talajtani és Agrokémiai Intézet

**Témavezető:**

Dr. Ittzés András  
egyetemi docens  
Szent István Egyetem, Kertészettudományi Kar,  
Biometria és Agrárinformatika Tanszék

A jelölt a Szent István Egyetem Doktori Szabályzatában előírt valamennyi feltételnek eleget tett, az értekezés műhelyvitájában elhangzott észrevételeket és javaslatokat az értekezés átdolgozásakor figyelembe vette, azért az értekezés nyilvános vitára bocsátható.

.....  
Az iskolavezető jóváhagyása

.....  
A témavezető jóváhagyása

## **1. A munka előzményei, kitűzött célok**

A klímaváltozás kutatása az ökológia talán egyik legaktuálisabb területe. A jövőben bekövetkező folyamatokról, a klímaváltozás potenciális hatásairól keveset tudunk. Különösen igaz ez a talajokban végbemenő biotikus és abiotikus változásokra, illetve azok kölcsönhatására. A talaj táplálékhálózatában a mezofauna (többségében atkák és ugróvillások) központi helyet foglal el. Bevonása a klímaváltozás talajok élővilágára kifejtett hatásának vizsgálatába több szempontból is indokolt. Egyrészt a talaj táplálékhálózatában betöltött központi szerepe miatt hatással van a talajlakó és felszíni életközösségekre, másrészt a talajlakó mezofauna a lebontás szabályozásával a CO<sub>2</sub> kibocsátást is befolyásolja.

Hogy jobban átlássuk a talajlakó mezofauna és a kapcsolódó talajfolyamatok klímaváltozásra adott reakcióit, folyamatos megfigyelésre van szükség. Azonban a hagyományos mintavételi módszerek jelentős bolygatással járnak, hosszabb távú klímamanipulációs vizsgálatban történő alkalmazásra ezért nem alkalmasak. A kutatócsoportunk által fejlesztett EDAPHOLOG talajszondák segítségével ezt a problémát szeretnénk megoldani.

Hazánk klímaváltozás szempontjából potenciálisan leginkább sérülékeny része a Homokhátság. A regionális klímaváltozás modellek Közép-Európára melegebb és szárazabb nyarakat, valamint enyhébb, de csapadékosabb teleket jósolnak (Pieczka et al. 2015). Mindez komoly aszályokat okozhat a Homokhátságban (Ladányi et al. 2015). Ezen a félsivatagos tájon, a talajlakó mezofauna adaptálódott a folyamatosan bekövetkező aszályos időszakokhoz. A mezofaunával folytatott klímaváltozás-kutatásban számos publikáció látott napvilágot a növekvő szárazság hatásait illetően. Arról azonban, hogy egy extrém, vagy megváltozott intenzitású, egymást követő szárazságesemény hogyan hat a

talaj mezofaunájára, és hogy populációik egy szárazságstressz után milyen gyorsan képesek helyreállni, kevés a tudásunk. Mivel az EDAPHOLOG hosszú távú folyamatos megfigyelésre is alkalmas, két éven át vizsgálni tudtuk a talaj mezofauna közösségében végbemenő folyamatokat.

Kérdésem az volt, hogy egy kiskunsági félsivatagos élőhelyen az ugróvillások és atkák diverzitása és egyedszámai hogyan változnak meg különböző hosszúságú szárazságkezelések (1, 2, 5 hónap) hatására. Továbbá, hogy az extrém (5 hónap) szárazság befolyásolja-e a rákövetkező évben fellépő rövidebb szárazságra (1, 2 hónap) adott választ?

Feladatomban tűztem ki, hogy az új mintavételi módszerként megjelenő, agyaggranulátumos médiumközegű csapdák (EDAPHOLOG) fogási arányait összehasonlítsam más, hagyományos mintavételi módszerekkel.

## **2. Anyag és módszer**

### **2.1. EDAPHOLOG szondák szerkezeti felépítése**

Az EDAPHOLOG szondákat kutatócsoportunk a felszínen mozgó (epiedafikus) és a talaj felső 15 cm-ében mozgó, talajlakó (hemi- és euedafikus) mikro-ízeltlábúak gyűjtésére és automatikus detektálására alakította ki (Dombos et al. 2017). A szondában egy optikai érzékelő számolja a csapdába beeső szervezeteket. A fogott egyedek a szonda alján található mintagyűjtő csőbe kerülnek, így lehetővé válik későbbi meghatározásuk.

### **2.2. Az EDAPHOLOG csapdatest hatékonyságának és reprezentativitásának vizsgálata**

Az EDAPHOLOG csapdatest fogási hatékonyságának és reprezentativitásának vizsgálatára két különböző szerkezetű talajtípusban (barna erdőtalaj és homok) végeztünk összehasonlító vizsgálatokat. Az agyaggranulátumos médiumközegű EDAPHOLOG csapdát két hagyományos eljárással hasonlítottuk össze: pohárcsapdával, és Berlese talajfuttatással.

#### ***2.2.1. Fogási hatékonyság barna erdőtalajon***

A fogási hatékonyság és reprezentativitás felmérésére a kísérletet egy lucernaföldön hajtottuk végre, barna erdőtalajon Bajna községben; mintaterületként 50x50 m-es szemmel homogénnek látszó lucernafoltot jelöltünk ki. 20-20 EDAPHOLOG és pohárcsapdát 5 sorban, egymástól 12,5 m távolságra ástuk le. Minden sorba 4 darab pohárcsapdát (10 cm átmérőjű tölcsérrel ellátott, alkohollal feltöltött pohár) és 4 darab agyaggranulátumos médiumközegű EDAPHOLOG csapdát helyeztünk el, váltakozó sorrendben. 18 nap elteltével ürítettük a csapdákat, valamint 20 db talajmintát (átmérő: 8 cm, mélység: 8 cm) is vettünk a sorok közül, amit a laborban Berlese futtatóval kifuttattunk.

### ***2.2.2. Fogási hatékonyság homoktalajon***

A homoktalajon végzett vizsgálat Fülöpháza mellett, egy nyílt homokpusztagyepen zajlott, az EXDRAIN klímakísérlet számára elkerített kísérleti területen kívül, a kerítés mellett. Itt 10 mintavételi ponton ástunk le csapdapárokat (egy EDAPHOLOG és egy pohárcsapda). Az egyes csapdapárokat 5 méterre, míg a párokon belül a két csapdát 1 méterre ástuk le egymástól. A csapdázás végén a csapdapárok mellől 2-2 talajmintát is vettünk (átmérő: 8 cm, mélység: 8 cm), amit a laborban Berlese futtatóval kifuttattunk.

### ***2.2.3. Az agyaggranulátumos médiumközeg mikor-élőhely jellegének vizsgálata***

Mivel az EDAPHOLOG szondákban agyaggranulátumot használtunk, szükséges volt kideríteni, hogy a kezelésre adott választ, azaz a fogott egyedszámot befolyásolja-e az eszközben használt agyaggranulátum. Ezt ugyanis élőhelyként használhatják az állatok. Megvizsgáltuk, vajon száraz és nedves időben változik-e az állatok előfordulási gyakorisága az agyaggranulátumos zsákokban az azonos térfogatú homoktalajhoz képest. A kísérletet nyílt homokpusztagyepen végeztük, az előző (2.2.2.) bekezdésben ismertetett kísérleti elrendezést használva. A vizsgálat során a talajmintákkal azonos térfogatú ( $402,12 \text{ cm}^3$ ) agyaggranulátumos zsákokat ástunk le az előző bekezdésben ismertetett 10 mintavételi helyen (2 zsák/mintavételi pont), 1 m távolságra a többi mintázási egységtől. A kísérletet egy csapadékos és egy nedves periódusban végeztük. Mindkét időszak végén felszedtük az agyaggranulátumos zsákokat, valamint talajmintát vettünk, amit laborban kifuttattunk. Napi összcsapadék (mm) és átlagos talajnedvesség (kg/kg) adatokat a kísérleti terület közvetlen közelében felállított meteorológiai állomásról (OMSZ) kaptunk.

## **2.3. A szárazság-kezelések vizsgálata az EXDRAIN kísérletben**

### ***2.3.1. Kísérleti terület és elrendezés***

Kísérletünket a Kiskunsági Nemzeti Park területén, Fülöpháza mellett egy nyílt homokpusztagyepen folytattuk, az EXDRAIN hosszú távú klímamanipulációs kísérlet keretein belül. A kezelések során 12 x 6 m-es blokkot alkalmaztak, amelyeken belül 3x3 m-es parcellákat jelöltek ki. Az első évben (2014) minden blokkon belül extrém szárazság-kezelést hajtottak végre (két szinttel: extrém szárazság (X) és kontroll (C)). A következő évben (2015) enyhébb csapadékkezeléseket végeztek az előzetesen extrém szárazsággal kezelt és a kontrollként hagyott területeken is (4 szinten: erős szárazság (S), enyhe szárazság (M), kontroll (C) és víz hozzáadás (permetezés, W). Ezúton a két faktort (vagyis extrém szárazság az első évben és enyhe csapadékváltozás a második évben) egy teljes faktoriális elrendezésben kombinálták, ami 8 kezeléskombinációt eredményezett (CC, CS, CM, CW, XC, XS, XM, XW). Így a 6 blokkban összesen 48 kísérleti parcellában dolgoztunk.

Az extrém szárazságkezelés során a csapadékot 2014. április 24. és szeptember 18. között kizárták (5 hónap). Az erős szárazságkezelés során 2 hónapos (2015. június 23- augusztus 25.), míg gyenge szárazság esetén egy hónapos (2015. július 20-augusztus 25.) letakarást alkalmaztak. Vízhozzáadást 4 alkalommal végeztek: május 25., június 22., július 21., augusztus 25. Ennek során összesen 98,5 mm extra csapadékot kaptak az egyes parcellák, 4 egyenlő részre elosztva. Ezzel a mennyiséggel egy nyári zivatar alatt lehulló csapadékot szimuláltak.

### ***2.3.2. Környezeti változók mérése***

A talajnedvességet minden egyes parcellán belül folytonos szenzorálással mértük, 0-30 cm-es mélységben. A talajhőmérsékleti adatokat

10 cm-es mélységből nyertük. A mérőeszközök 10 percenként szolgáltatott adatot, amelyből napi átlagokat számoltunk.

A 2014 évi extrém szárazságkezelés hatásosnak bizonyult, ugyanis a talajnedvesség számottevően csökkent a kezelés során és után. Az éves csapadékmennyiség 64,1%-át (523,5 mm) zártuk ki. Ennek ellenére az extrém szárazságkezelésnek pont ellentétes hatását tapasztaltuk 2015-ben. A vegetációs periódusban a talajnedvesség a korábban (2014-ben) extrém szárazsággal kezelt parcellákban (XC) volt magasabb a kontroll parcellákhoz képest (CC). A második faktor hatását tekintve 2015-ben az erős szárazságkezelésben (CS) a talajnedvesség értékek a 2014-ben történt extrém szárazságkezelés során mért értékekre csökkentek le. 2015-ben az erős szárazság kezelésben (S) az éves csapadék 23,3 %-át (121,8 mm), míg az enyhe szárazságkezelés során (M) az éves csapadék 18,2%-át (95,4 mm) zártuk ki. A talajnedvesség-értékeket nézve ugyanazt a szintet értük el a talajnedvességben, mint az S kezelés során, csak rövidebb ideig (1 hónap). Az öntözéses kísérlet (W) során az extra csapadék (összesen 98,5 mm) nem változtatta meg a talajnedvességet hosszabb távon, csakis közvetlenül az öntözés után.

### ***2.3.3. Szubsztrát indukált respiráció***

A talaj mikrobiális biomasszájának jellemzésére a talaj mikrobiális közösségének metabolikus aktivitását az Anderson és Domsch (1978) módszere alapján végzett szubsztrát indukált respirációval (SIR) vizsgáltuk. A talajmintákat májustól novemberig havonta vettük, a kísérletek időbeosztásának megfelelően. A nagy zavarást elkerülendő, 12 cm hosszú és 0,5 centiméter átmérőjű műanyag csövekkel almintákat vettünk, amelyeket parcellánként összekevertük. Így körülbelül 30 g talaj reprezentálta az egész parcellát.



### **2.3.4. Mikro-ízeltlábúak mintázása**

Kísérletünkben a mezofaunát EDAPHOLOG szondákkal mintáztuk. Ezzel egyrészt csapdáztuk a mikro-ízeltlábúakat és a fogott mintát elemeztük tovább, illetve a fogás során az eszköz érzékelt a beeső állatokat, amivel becsülhettük az egyedszámot. Az első évben (2014) a csapdákat július elején ástuk le és szondákkal november végéig folyamatosan gyűjtöttünk. A gyűjtött mintát november végén szedtük be. 2015-ben havi mintavételezés történt, a kísérleti műveletek időzítését követve.

Az fogott ugróvillás és páncélosatka egyedeket faj szinten határoztuk meg. Az elemzésekhez az ugróvillásokat 3 csoportba soroltuk: talajfelszíni (epiedafikus), epiedafikus-vegetáción élő (továbbiakban vegetáción élő), és talajban élő (hemiedafikus-euedafikus). Az atkákat (páncélosatkákat kivéve) főbb csoport szinten határoztuk meg (Mesostigmata, Prostigmata, Astigmata).

Az érzékelési adatokat mintaellenőrzéskor, havonta töltöttük le.

## **2.4. Statisztikai módszerek**

### **2.4.1. Mintavételi eljárások adatainak elemzése**

A lucernaföldről 20 EDAPHOLOG és 20 talajcsapda, valamint 18 futtatott minta állatanyaga állt rendelkezésre a további vizsgálatokhoz. Homoktalajok esetében 10 EDAPHOLOG és 10 talajcsapda, valamint 20 futtatott minta anyagából dolgoztam tovább. A fogott állatokat 5 kategóriába soroltam: talajfelszíni mezofauna, talajfelszíni nem mezofauna, talajlakó mezofauna, talajlakó nem mezofauna és más gerinctelenek. A három módszer során kapott mintáknál az egyes kategóriák egyedszámának vizsgálatára a többváltozós varianciaanalízis (MANOVA) modelljét használtam, külön a lucernaföldről és külön a homoktalajról nyert mintákra. Az adatokat  $\ln(x+1)$  transzformáltam. Ebben a válaszváltozók a fent említett állatcsoportok egyedszám értékei, a magyarázó változók pedig a csapdatípusok (EDAPHOLOG, talajcsapda, talajfuttatás) voltak.

#### ***2.4.2. Agyaggranulátumos zsákok- és talajminta-futtatás adatainak vizsgálata***

A mikro-élőhely hatás tesztelésére a két nedvességi periódus és két mintavételi módszer során nyert mintákból az egyes állatcsoportok egyedszámainak vizsgálatára kétfaktoros MANOVA modellt alkalmaztam. Ebben a válaszváltozók az állatcsoportok egyedszám értékei, a magyarázó változók pedig a módszerek (agyaggranulátumos és homoktalaj futtatás) és a két időszak (nedves, száraz) voltak. Az adatokra  $\ln(x+1)$  transzformációt alkalmaztam.

#### ***2.4.3. A szárazságkezelésekből származó adatok transzformációja és elemzése***

2014-ben jobbra eltolódott eloszlást találtam az adatokban, ezért  $\ln(x+1)$  transzformációt végeztem az extrém szárazsággal kezelt és a kontroll parcellák összehasonlítását szolgáló, Student-féle t-próbák előtt, majd Bonferroni korrekciót végeztem.

A 2015-ből nyert adatokat szintén transzformálni kellett, amelyre két módszert alkalmaztam: 1. normalizálás (relatív aktivitási denzitás, RAD) és 2. ordinális skálázás (aktivitási denzitás különbség, ADD).

Hogy a különböző nagyságrendű adatokat összehasonlíthatóvá tegyem, a normalizált (relatív) aktivitási denzitásokat (RAD) alkalmaztam.

Aktivitási denzitás különbség (irány és nagyság, ADD): A talajlakó mezofaunába tartozó fajok, ha jelen vannak, kedvező körülmények között általában képesek kimagasló egyedszámra felszaporodni rövid időn belül. Hogy kifejezzem két érték közötti különbség irányát és nagyságát, először az aktivitási denzitás adatokat ordinális skálára konvertáltam, és aktivitási denzitási rangkategóriákat határoztam meg.

Az ordinális adatokból aktivitási denzitás különbségeket határoztam meg (irányukat és nagyságukat), miután minden blokkban összehasonlítottam a CW, CM, CS (2014-ben kontrollként szereplő, 2015-ben kezelt)

faktorkombinációkat a CC (azaz mindkét évben kontroll) faktorkombinációval, valamint az XW, XM, XS (mindkét évben kezelt) az XC (2014-ben kezelt, 2015-ben kontroll) faktorkombinációkat. Ha a kontroll érték magasabb a kezelthez képest, akkor a különbség értékét negatívnak vettem. Ezután kiszámoltam az ADD 2015-ös kezelések kezdete előtti és utáni negatív értékeinek arányait. Hogy feltárjam, vajon az aktivitási denzitások a kontroll-kezelt viszonylatban eltérnek-e egymástól, a negatív értékek arányának összehasonlítására Z-próbákat végeztem. A negatív és nemnegatív ADD-értékek kezelés előtti és utáni gyakoriságai alapján Fischer-féle egzakt próbákkal is vizsgáltam a kezelt és kontroll parcellák közötti eltéréseket.

A 2015-ben nyert RAD és SIR adatok különbségeinek feltárására MANOVA-t alkalmaztam, két faktorral: F1 (extrém szárazság kezelt 2014-ben, vagy sem: X, C) és F2 (C, W, M, S 2015-ben). Hogy feltárjam az F1 és F2 hatását, a MANOVA-t követően minden hónapra ANOVA-t végeztem, Bonferroni korrekcióval.

Az ugróvillás és páncélosatka csoportok diverzitásának és egyenletességének mérésére Shannon-Wiener diverzitás indexeket és Buzas-Gibson-indexet számoltam. Bonferroni korrekcióval kiegészített Student-féle t-próbákat végeztem, hogy megvizsgáljam, vajon az extrém szárazság befolyásolta-e a Shannon-Wiener diverzitást, az egyenletességet és a fajgazdagságot 2014-ben. A 2015-ös adatsor ugróvillás és páncélosatka Shannon-Wiener diverzitás, egyenletesség és fajgazdagság értékei esetén kétfaktoros MANOVA-t alkalmaztam, blokk elrendezéses modellel.

#### ***2.4.4. Szenzorálási adatok***

Az EDAPHOLOG talajszondákkal végzett kísérlet során összesen 48 db szonda (parcellánként egy-egy) érzékelési adatait töltöttem le havonta. Mivel sok esetben működési hiba lépett fel, 136 adatsort ki kellett zárni a vizsgálatokból. A maradék 248 adatsor esetében leszűrtem a környezeti és

elektronikai zajt. Az így keletkezett havi érzékelések összegét vettem össze a megfelelő mintában számolt állatok számával. Az érzékelések és a fogott egyedszámok közötti korreláció alacsonynak bizonyult ( $r^2 = 0,586$ ). Az adatok azt mutatják, hogy a szondák érzékelésszáma magasabb, mint a tényleges fogás. Ezért az adatokat tovább szűkítettem, csak azokat az érzékelési adatokat vettem figyelembe, amelyeknél az eltérés 10 %-nál kisebb volt. Így összesen 50 db adatsort kaptam.

### 3. Eredmények

#### 3.1. A három mintavételi módszer terepi összehasonlítása

Lucernaföldön a mintavételi módszerek fogásszámai szignifikánsan különböztek. A pohárcsapdák sokkal több egyedet fogtak, mint a másik két módszer (MANOVA, Wilk's  $\lambda = 0,061$ ,  $F_{10,102} = 31,16$ ,  $p < 0,001$ ). Homoktalajon szintén szignifikánsan különbözött egymástól a három módszer. Ott is azt tapasztaltam, hogy a pohárcsapdák több egyedet fogtak, mint a másik két módszer (MANOVA, Wilk's  $\lambda = 0,083$ ,  $F_{10,46} = 11,37$ ,  $p < 0,001$ ).

Az EDAPHOLOG csapdákhoz viszonyítva a pohárcsapdák mindkét élőhelyen körülbelül háromszor annyi ízeltlábút fogtak. Azonban ezek a minták a mikro-ízeltlábúakon kívül más állatcsoportokat (főleg más rovarokat) is tartalmaztak. A pohárcsapdák a felszínen és növényeken élő ugróvillások és homoktalaj esetében a páncélosatkák mintázásában voltak a leghatásosabbak. A három módszer közül a talajfuttatással kinyert állatok egyedszáma bizonyult a legalacsonyabbnak. Azonban ez a módszer – ellentétben a pohárcsapdával és az EDAPHOLOGGAL – a mintavételi időpontban mutatja a denzitást, és nem a csapdázási időszakokból származó aktivitási denzitást. A talajlakó mikro-ízeltlábúak relatív abundanciája a talajfuttatás esetén volt a legnagyobb.

#### 3.2. Az élőhely-használati teszt eredményei

A kétfaktoros MANOVA szerint a nedvességi állapot ( $f_1$ ) és a mintavételi módszer ( $f_2$ ) hatása is szignifikáns a fogásszámokra, és szignifikáns a két faktor kölcsönhatása is (MANOVA,  $f_1$ : Wilk's  $\lambda = 0,420$ ,  $F_{11,65} = 8,16$ ,  $p < 0,001$ ;  $f_2$ : Wilk's  $\lambda = 0,556$ ,  $F_{11,65} = 4,71$ ,  $p < 0,001$ ;  $f_1*f_2$ : Wilk's  $\lambda = 0,571$ ,  $F_{11,65} = 4,44$ ,  $p < 0,001$ ). A follow-up ANOVA modellek azonban állatcsoportonként különböző eredményt adtak. A talajfelszíni ugróvillások esetében, bár az agyaggranulátumos zsákokból

szignifikánsan több egyedet futtatunk, a nedvesség az egyedszámot nem befolyásolta. A páncélosatkáknál, bár száraz időben nagyobb egyedszámban voltak jelen, a fogási hatékonyság a két módszer között nem különbözött szignifikánsan. Ezzel szemben a jóval kisebb egyedszámban fellépő csoportoknál, mint a Mesostigmata atkáknál szignifikánsan, míg a talajlakó makrogerinctelen és a vegetáción élő ugróvillás csoportok esetében az agyaggranulátumos zsákokból nem-szignifikánsan magasabb egyedszámú állatot futtatunk száraz időben. A felszíni, illetve az egyéb makrofaunába tartozó gerinctelenek ellentétes módon használták az agyaggranulátumos zsákot száraz és nedves időben.

### **3.3. A szárazságkezelések eredményei**

#### ***3.3.1. Talajlakó mezofauna leírása***

A teljes vizsgálati területen 22 ugróvillás fajt találtunk. A két év alatt 74400 ugróvillás egyedet fogtunk, amelynek a 89,5 %-a talajfelszíni, míg 8,6 %-a talajlakó, 1,9 % vegetáción élő csoportba tartozott. Az atkák teljes egyedszáma 12250 egyed volt a két év alatt. Az atkák közül a Mesostigmata (52%) és Prostigmata (23 %) csoportok domináltak, de a páncélosatkák is jelentős számban (11%) jelentek meg. Utóbbi csoporton belül 22 fajt különítettünk el.

#### ***3.3.2. A mezofauna dinamikája***

A 2015-ben a kontroll parcellákban talált, különböző mikro-ízeltlábú csoportok aktivitási denzitás csúcsai szerint a kontroll parcellákban a talajfelszíni ugróvillás populációk április közepétől szeptember végéig voltak abundánsak, ami egybeesik az S és részben az M kezelés idejével. A többi csoportnál a populáció növekedés csak részben fedett át a kezelések időszakával. Úgy tűnik, hogy az előző évi extrém szárazságkezelés (X) éven belüli időszaka átfed mindegyik csoport aktív periódusával.

### ***3.3.3. A kezelések hatása az aktivitási denzitás és diverzitás értékekre***

Az extrém szárazságkezelés (X) a kezelés évében (2014) az epiedafikus ugróvillás populációk aktivitási denzitását körülbelül felére (47,7%), a talajlakó és a vegetáción élő fajokét pedig 11,4%-ára, illetve 1,6 %-ára csökkentette. Azonban a nagy szórások miatt csak a vegetáción élő ugróvillás csoportnál kaptam szignifikáns eltérést. Ezzel szemben az extrém szárazságkezelésre válaszul az összes atka csoport aktivitási denzitása szignifikánsan nőtt.

A 2015-ös év relatív aktivitási denzitás (RAD) adatai között a MANOVA alkalmazásával nem találtam szignifikáns különbséget. Ezt követően az aktivitási denzitás különbségekkel (ADD) számoltam tovább. 2015-ben a Z-tesztek szerint a negatív ADD arányok a talajfelszíni ugróvillások esetében szignifikáns növekedést mutattak a kezelést követően, az erős szárazság-kontroll (CS-CC összehasonlítás,  $p < 0,001$ ) vonatkozásban. Ezt az eredményt Fisher-féle egzakt teszttel is megerősítettem ( $p < 0,001$ ). Habár nem szignifikánsan, de a negatív arány értékek a talajfelszíni ugróvillások esetén szintén alacsonyabbak voltak a kezelés előtt, mint azután, mind az enyhe, mind pedig az erős szárazságkezelés hatására. Tehát az aktivitási denzitás csökkent a szárazság kezeléseket követően. Más mezofauna csoportoknál nem sikerült különbséget kimutatni ezzel a módszerrel sem.

A 2015. évi SIR adatokon végzett MANOVA szignifikáns különbséget ( $p < 0,01$ ) mutatott az első éves kezelés szintjei között (F1: X és C 2014-ben). A follow-up ANOVA modellek, májusra, júniusra, júliusra és augusztusra szignifikáns különbséget mutattak ( $p < 0,05$ ), azonban a későbbi hónapokban már nem mutattak szignifikáns különbséget ( $p > 0,05$ ). A 2015-ös kezelések között (C, W, M, S), nem találtam szignifikáns különbséget, függetlenül attól, hogy történt-e stresszhatás 2014-ben (X), vagy sem (C).

### ***3.3.4. A szárazság- és öntözés kezelések diverzitásra és egyenletességre kifejtett hatásai***

Az első évben az extrém szárazságkezelés során az ugróvillás diverzitás szignifikánsan ( $p < 0,001$ ) csökkent a kezelt területeken, miközben az egyenletesség és fajszám nem változott szignifikánsan. A páncélosatkák esetében nem találtam szignifikáns változást egyik esetben sem ( $p > 0,05$ ). A második évet tekintve, a kétutas MANOVA nem talált szignifikáns különbséget az ugróvillás és páncélosatka csoportok diverzitását, egyenletességét és fajszámát tekintve, sem az előzetesen X és C kezelt (F1), sem pedig a C, W, M, S kezelt (F2) területek között.

### **3.4. Automatikus érzékelési eredmények**

Az enyhe szárazságkezelte parcelláknál (XM és CM) az érzékelt egyedszám a szárazságkezelés első két hete után (augusztus eleje) kezdett csökkenni, majd az észlelések száma végig alacsony maradt. Hasonló tendencia mutatkozott az erős szárazság kezelésnél (XS), ahol július második hetében történt a napi érzékelt egyedszám csökkenés. A szárazságkezelések alatt történt aktivitáscsökkenés (érezelt egyedszám) jól indikálja a rovarpopulációk negatív válaszát.

### **3.5. Új tudományos eredmények**

**1. Extrém szárazság közvetlen- és utóhatása:** Kimutattam, hogy kiskunsági homokpusztagyepen az extrém (5 hónapig tartó) szárazság negatív hatással volt az ugróvillások aktivitási denzitására és diverzitására. Mindhárom vertikális csoport (vegetáción élő, talajfelszínen mozgó, talajban élő) aktivitási denzitása csökkent, a különbség azonban csak a vegetáción élő ugróvillások esetében szignifikáns. Ezzel szemben az összes vizsgált atka csoport (Astigmata, Mesostigmata, Oribatida és Prostigmata) aktivitási denzitása szignifikánsan nőtt a szárazságkezelés hatására. Az extrém szárazság hatása a következő vegetációs periódusban a talajlakó mezofaunát



tekintve már nem érzékelhető. A mikrobiális biomassza becslésére használt szubsztrát indukált respirációban azonban szignifikáns pozitív hatás figyelhető meg.

**2. Gyengébb szárazságkezelések hatása:** Kimutattam, hogy kiskunsági homokpusztagyepen a gyenge, 1 hónapos szárazság nem okozott szignifikáns változást a mezofauna aktivitási denzitásában. A természetesen ritkábban előforduló, erősebb, 2 hónapos szárazság azonban a talajfelszínen élő ugróvillások aktivitási denzitását negatívan befolyásolta, a többi csoportnál nem okozott szignifikáns változást.

**3. Öntözés hatása:** Megállapítottam, hogy kiskunsági homokpusztagyepen a 4 alkalommal, havonta ismételt nagy mennyiségű öntözés során összesen kijuttatott 98,5 mm extra csapadék szignifikánsan nem befolyásolja a talajlakó mezofaunába tartozó csoportok aktivitási denzitását.

**4. Felerősítő hatás:** Kiskunsági homokpusztagyeppek esetén, a mezofaunát tekintve egy extrém szárazságnak és a rákövetkező évben kapott csapadékmanipulációknak (1 hónapos gyenge szárazság, 2 hónapos erős szárazság és öntözés) nem találtam felerősítő hatását.

**5. A kezelések időzítésének és időtartamának szerepe:** Bizonyítottam, hogy kiskunsági homokpusztagyeppeken az öntözés és szárazságkezeléseknél a talajlakó mezofauna aktivitási denzitását tekintve a hatás erőssége (vagyis a talajnedvesség szintjének csökkenése, vagy növekedése) helyett a kezelés időtartamának és az időzítésének van nagyobb szerepe.

**6. EDAPHOLOG:** Olyan helyeken, ahol a zavarás minimalizálására van szükség, mint például hosszútávú klímakísérletben, az EDAPHOLOG csapdaszerkezete olyan hosszú távú, gyakori mintavételezésre ad lehetőséget, amely csak kis zavarással jár. Azonban a csapdatest fejlesztését is folytatni kell, mert a nagy mennyiségű agyaggranulátum befolyásolhatja a

foghatóságot, és torzul a populációméret becslése. Ezért az új szondák fejlesztésénél minimalizálni kell az agyaggranulátum mennyiségét, vagy teljesen el kell hagyni és a szemcsék kiszűrésére más módszert kell alkalmazni.

## **4. Következtetések és javaslatok**

### **4.1. Csapdázási módszerek összehasonlítása**

#### ***4.1.1. A három gyűjtési módszer összehasonlítása***

A fogási hatékonyságot tekintve a pohárcsapdák sokkal több egyedet gyűjtöttek, mint az EDAPHOLOG szondák. A pohárcsapdák több felszínen élő fajt fogtak, valamint nagyobb méretű makro-ízeltlábúak is a csapdába kerültek, és a fogott fajok száma is a pohárcsapdák esetében volt a legmagasabb. Azonban olyan euedafikus mikro-ízeltlábúakat tudtunk mintázni az EDAPHOLOG szondákkal, amelyeket a pohárcsapdákkal általában nem lehetséges. Az EDAPHOLOG a lucernaföldön a pohárcsapdához képest nagyobb hatásfokkal fogta az Apterygota csoportokat, mint például: Diplura, Pauropoda, Protura és Symphyla. Ahogy vártuk, a talajlakó mikro-ízeltlábúak relatív abundanciája mindkét élőhely esetében a talajfuttatás esetén volt a legmagasabb. Fogási arányait nézve megállapítható, hogy az EDAPHOLOG csapda egyfajta köztes állapotot nyújt a felszíni fajok csapdázását szolgáló pohárcsapdák és a talajlakó fajokra alkalmas talajfuttatás módszere között.

#### ***4.1.2. Az agyaggranulátumos közeg és a homoktalaj használata eltérő környezeti körülmények között.***

Az EDAPHOLOG szondák használata során a talaj és a csapda közötti médiumközegként agyaggranulátumokat használunk. Ennek a fő célja, hogy megakadályozza a talajrészecskék behullását a csapdába. Az általunk vizsgált álltacsoporthoz képest. Noha a csapdában a legnagyobb mennyiségben előforduló talajfelszíni ugróvillások esetén nem találtunk hatást, ezeket a megfigyeléseket tekintetbe kell venni az EDAPHOLOG csapda fogott adataink értékelésénél. Különösen azoknál a csoportoknál, ahol az EDAPHOLOG csapdaszerkezet önmagához képest is változó egyedszámokat

fogott eltérő időjárás esetén: vegetáción élő ugróvilla, Mesostigmata atka, valamint a makrogerinctelenek. Ezen felül az EDAPHOLOG szondák használatánál törekednünk kell arra, hogy az agyaggranulátumos közeg mérete a lehető legkisebb legyen, azért hogy ne szolgáljanak élőhelyül, menedékkül az egyes állatcsoportok számára.

#### ***4.1.3. EDAPHOLOG érzékelése homoktalajon***

Az automatikus ízellábú detektálás segítségével megújítható az a módszer, ahogy információt gyűjtünk ezeknek a gerincteleneknek a populáció méretéről, aktivitásáról. Az EDAPHOLOG esetében, noha korábbi terepi vizsgálatok alapján, ha összehasonlítottuk a fogott és detektált állatok egyedszámát, a rendszer magas pontosságát mutattuk ki, a kiskunsági homoktalajon nem ezt tapasztaltuk. A környezeti körülmények miatt számos esetben többletjelet kaptunk. Csak egy olyan szenzorral lehet kiküszöbölni ezt a hibát, ami meg tudja különböztetni a rovarokat a beeső egyéb szemcséktől. Erre megoldás lehet a digitális fényképezés, amivel egyrészt nagyobb pontossággal meg lehet mondani, hogy milyen csoportba tartozik az egyes állat, másrészt pedig egyértelműen meg lehet különböztetni az élő és élettelen beeséseket. Ezt a szonda továbbfejlesztését is megcélzó új projektben kívánjuk megvalósítani. Továbbá, a továbbfejlesztésnél nem csak azt vettük tekintetbe, hogy a szenzormezőbe bejutó talajszemcse elkülöníthető legyen, hanem a már bejutott talajszemcsét és megfogott egyedet egy szívócső segítségével aktívan elszívjuk az érzékelő mezőtől a tároló edénybe. Ezzel reményeink szerint jelentős mértékben tudjuk majd növelni a műszer pontosságát.

Noha a kiskunsági laza, száraz homoktalajon a szonda alacsony pontossággal működött, maga a csapdatest jelentős alternatívát nyújt. Olyan helyeken, ahol a zavarás minimalizálására van szükség, mint például hosszútávú klímakísérletben, az EDAPHOLOG csapdaszerkezete olyan

hosszú távú, gyakori mintavételezésre ad lehetőséget, amely csak kis zavarással jár. Azonban a csapdatest fejlesztését is folytatni kell, mert, mint a kísérleteinkben kimutattuk, a nagy mennyiségű agyaggranulátum befolyásolhatja a foghatóságot, és torzulhat a populációméret becslése.

## **4.2. Ismételt szárazságkezelések hatása**

### ***4.2.1. Az extrém szárazságkezelés közvetlen hatásai***

Vizsgálatunkban az extrém szárazságkezelés (X) következtében mindhárom ugróvillás csoport aktivitási denzitása jelentős mértékben csökkent. A legtöbb esetben a csapadék csökkenése negatív válaszokat indukál a talajlakó mezofauna csoportok abundanciájában (Makkonen et al. 2011, Petersen 2011, Lindo et al. 2012). A csapadék többlet (öntözés) pedig általában pozitív irányban hat (Wu et al. 2014). Azonban ezek az eredmények Wu et al. (2014) kivételével, mind jó víztartó képességű talajokon végzett vizsgálatokból származtak. Ezzel szemben mi homoktalajon kísérleteztünk, aminek rossz a víztartó képessége.

Érdekes módon, az ugróvillásokkal ellentétben, mindegyik atka csoport aktivitási denzitásában növekedést tapasztaltam az extrém szárazsággal kezelt területeken. Az atkák és ugróvillások közötti ellentétes irányú, az eredményeimnek megfelelő hatásokat is megfigyeltek (Tsiafouli et al. 2005), de a legtöbb esetben a két csoport hasonló módon reagált a változásokra (Chikoski et al. 2006, Xu et al. 2012, Wu et al. 2014).

### ***4.2.2. Az extrém szárazság utóhatása***

Noha a kísérleti évben az extrém szárazság hatással volt a talajlakó ízeltlábú közösségekre, a következő évben, az előzetesen kezelt illetve kezeletlen területeken, már nem találtam szignifikáns hatást sem az aktivitási denzitást, sem a diverzitást tekintve. Az extrém szárazságnak a mikro-ízeltlábúak vizsgált paramétereire kifejtett hatása eltűnt. Meglepő módon, a második évben a korábban extrém aszályal kezelt területeken a

talajnedvesség magasabb értékeket mutatott. Mindez valószínűleg két hatásnak tudható be. Egyrészt az elhalt növényi anyag lefedte a talajt (mulcsozta), ezáltal csökkentve a párolgást, másrészt mivel az élő növények kipusztultak, csökkent a növények evapotranspirációja is. Ez a nedvességtöbblet magyarázhatja azt a magasabb mikrobiális biomasszát (SIR), amit az X kezelt területeken mértünk a második évben. A detritusznak és a megnövekedett mikrobiális biomasszának, mint táplálékforrásnak, bottom-up hatása lehetett (Wu et al. 2014), valamint a magasabb talajnedvesség magában is magasabb aktivitási denzitási értékekhez vezetett. A mulcshatás feltételezhetően kompenzálta az előző évek aktivitási denzitás csökkenését az ugróvillások esetében és valószínűleg elősegítette a mezofauna regenerációját.

#### ***4.2.3. A közepes csapadékváltozások hatása***

A második évben csak a talajfelszíni ugróvillás csoport aktivitási denzitásában fedeztem fel különbségeket, amelyre az erős szárazságkezelés negatív hatással volt. A többi csoportnál sem aktivitási denzitásban, sem diverzitásban nem mutattam ki különbségeket. Kísérletünkben az extrém szárazság, valamint a gyenge és az erős szárazság hatásának különbségei inkább a kezelés időtartamának, mintsem erősségének (vagyis a talajnedvesség szint csökkenésének) tudhatók be. Az extrém szárazságkezelés 2014-ben 5 hónapig zajlott és az összes vizsgált mezofauna csoport időszakos dinamikájával és aktivitási denzitás csúcsával átfedett. A gyenge és erős szárazságkezelés 2015-ben csak 1 illetve 2 hónapig tartott és átfedett a talajfelszíni ugróvillás csoport aktivitási denzitás csúcsával, míg a többi csoport klimatikus ablakán kívülre esett. Ez az eredmény azt sugallja, hogy a szárazság időzítésének és a száraz időszak hosszának is fontos hatása van. Mindegyik szárazságkezelés esetén (X, M, S), a talajnedvesség szint csökkenése elérte ugyanazt a kritikus értéket. Különbség köztük csak a

szárazság hosszában volt. Az öntözés után a víz gyorsan elpárolog, vagy elszivárog. Az öntözött parcellák az éves csapadék 18,8%-át kapták és ennek ellenére sem változott az átlagos talajnedvesség az év során. Következésképpen elmondható, hogy ezekben az ökoszisztémákban nem csak a csapadék mennyisége a limitáló faktor, hanem a csapadék időzítése és ismétlődése (frekvenciája) még fontosabb.

A víz hozzáadás (öntözés) nem befolyásolta sem a mikrobiális biomasszát, sem a mezofaunát. Ez bizonyítja, hogy félsivatagos ökoszisztémákban a sporadikus csapadéktöbblet nem tudja kompenzálni a szárazság hatását és nem elegendő ahhoz, hogy megnövelje a mikrobiális biomasszát illetve a mezofaunális abundanciát. Azonban meg kell jegyezni, hogy általában a csapadékkezeléseknek hosszabb távon van nagyobb hatása (Blankinship et al. 2011). A mi kísérletünkben a rövidtávon egyszerre lezúduló nagyobb mennyiségű csapadékot szimuláltuk. Azokhoz a kezelésekhez képest, ahol pozitív változásokat mutattak ki, az általunk végzett kezelés talán túl rövid ideig tartott, hogy változásokat indukáljon.

A második éves kezelések esetén hagyományos statisztikai módszerekkel nem tudtam kimutatni a talaj közösségeket érintő változást. Az új megközelítésünkkel (relatív aktivitási denzitás és aktivitási denzitás különbségek), néhány rejtett válasz kimutatható lehet.

Az ismételt szárazságesemények, nem erősítették fel az extrém szárazság hatását. Kísérletünkben, minden egyes szárazságkezelés esetén, a két év során az ismételt kezelések között eltelt idő elégséges lehetett a populációk felépülésére.

## 5. Felhasznált irodalom

- [1.] Anderson, J. és K. Domsch. 1978. A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils. *Soil Biology and Biochemistry* 10:215-221.
- [2.] Blankinship, J. C., P. A. Niklaus és B. A. Hungate. 2011. A meta-analysis of responses of soil biota to global change. *Oecologia* 165:553-565.
- [3.] Chikoski, J. M., S. H. Ferguson és L. Meyer. 2006. Effects of water addition on soil arthropods and soil characteristics in a precipitation-limited environment. *Acta Oecologica* 30:203-211.
- [4.] Dombos, M., A. Kosztolányi, K. Szlávecz, C. Gedeon, N. Flórián, Z. Groó, P. Dudás és O. Bánszegi. 2017. EDAPHOLOG monitoring system: automatic, real-time detection of soil microarthropods. *Methods in Ecology and Evolution* 8:313-321.
- [5.] Ladányi, Z., V. Blanka, B. Meyer, G. Mezősi és J. Rakonczai. 2015. Multi-indicator sensitivity analysis of climate change effects on landscapes in the Kiskunság National Park, Hungary. *Ecological indicators* 58:8-20.
- [6.] Lindo, Z., J. Whiteley és A. Gonzalez. 2012. Traits explain community disassembly and trophic contraction following experimental environmental change. *Global Change Biology* 18:2448-2457.
- [7.] Makkonen, M., M. P. Berg, J. R. Van Hal, T. V. Callaghan, M. C. Press R. Aerts. 2011. Traits explain the responses of a sub-arctic Collembola community to climate manipulation. *Soil Biology and Biochemistry* 43:377-384.
- [8.] Petersen, H. 2011. Collembolan communities in shrublands along climatic gradients in Europe and the effect of experimental warming



and drought on population density, biomass and diversity. *Soil Organism* 83 (3):463–488.

- [9.] Pieczka, I., J. Bartholy, R. Pongrácz, K. André, A. Kis és F. Kelemen. 2015. Regional climate modeling study for the Carpathian region using RegCM4 experiments. *Aerul si Apa. Componente ale Mediului*:96.
- [10.] Wu, T., F. Su, H. Han, Y. Du, C. Yu és S. Wan. 2014. Responses of soil microarthropods to warming and increased precipitation in a semiarid temperate steppe. *Applied Soil Ecology* 84:200-207.
- [11.] Xu, G. L., T. M. Kuster, M. S. Günthardt-Goerg, M. Dobbertin és M. H. Li. 2012. Seasonal exposure to drought and air warming affects soil Collembola and mites. *PloS one* 7:e43102.

## 6. A szerzőnek az értekezés témaköréhez kapcsolódó publikációi

### Impakt faktoros folyóiratcikkek:

Dombos, M., A. Kosztolányi, K. Szlávecz, C. Gedeon, **N. Flórián**, Z. Groó, P. Dudás és O. Bánszegi. 2017. EDAPHOLOG monitoring system: automatic, real-time detection of soil microarthropods. *Methods in Ecology and Evolution* 8:313-321.

DOI: [10.1111/2041-210X.12662](https://doi.org/10.1111/2041-210X.12662), IF: 5,76

<https://doi.org/10.1111/2041-210X.12662>

Gedeon Cs., **N. Flórián**, P. Liszli, B. Hambek-Oláh, O. Bánszegi, J. Schellenberger, M. Dombos. 2017. An Opto-electronic sensor for detecting soil microarthropods and estimating their size in field conditions. *Sensors* 17(8): 1757.

DOI: [10.3390/s17081757](https://doi.org/10.3390/s17081757) IF: 2,67

<http://www.mdpi.com/1424-8220/17/8/1757/htm>

### Nemzetközi Konferencia

Dombos M., **N. Flórián**, Z. Groó, P. Dudás, B. Oláh-Hambek, A. Kosztolányi: EDAPHOLOG monitoring system: automatic, real-time detection of soil microarthropods, XVII International Colloquium on Soil Zoology (ICSZ), Abstract Book, pp. 16., Nara, Japan 22–26 August 2016

**Flórián N.**, L. Dányi, Gy. Kröel-Dulay, G. Ónodi, M. Dombos: Repeated drought effects on the soil microarthropod communities of a sand steppe, XVII International Colloquium on Soil Zoology (ICSZ), Abstract Book, pp. 59. Nara, Japan 22–26 August 2016

## **Magyar nyelvű Konferencia**

**Flórián Norbert**, Dudás Péter, Dányi László, Dombos Miklós: Extrém aszály hatása Collembola populációk dinamikájára egy kiskunsági homokpusztagyepen. X. Magyar Ökológiai Kongresszus, Pannon Egyetem, Veszprém 2015. augusztus 12-14 Absztrakt kötet, 54. oldal

**Flórián Norbert**, Groó Zita, Kröel-Dulay György, Ónodi Gábor, Dányi László, Dombos Miklós: Ismételt aszály hatása talaj mezofauna közösségek szerkezetére egy homokpusztagyepen. 6. Szünzoológiai Szimpózium, Budapest MTA ÖK Duna-kutató Intézet, 2016. március 18, Absztrakt kötet, 13. oldal

Dombos Miklós, **Flórián Norbert**, Groó Zita, Dudás Péter, Oláh-Hambek Beáta: EDAPHOLOG monitorozó rendszer: talajlakó mikor-ízeltlábúak valós idejű, automatikus detektálása. Talajtani Vándorgyűlés, Debrecen, 2016 szeptember 1-3, Absztrakt kötet 29. oldal

**Flórián Norbert**, Groó Zita, Dányi László, Kröel-Dulay György, Ónodi Gábor, Dombos Miklós: Ismételt szárazság hatása egy homokpusztagyep talajlakó ízeltlábú mezofaunájára. Talajtani Vándorgyűlés, Debrecen, 2016 szeptember 1-3., Absztrakt kötet 61. oldal