

DOKTORI ÉRTEKEZÉS TÉZISEI

SIMON SZABINA

GEORGIKON CAMPUS

KESZTHELY

2023



MAGYAR AGRÁR- ÉS ÉLETTUDOMÁNYI EGYETEM

**METEOROLÓGIAI ELEMEEK HATÁSA AZ
AVARLEBONTÁSRA A BALATON VÍZGYŰJTŐJÉN**

DOI: 10.54598/003470

Simon Szabina

Keszthely

2023

A doktori iskola

megnevezése: Festetics Doktori Iskola

tudományága: Környezettudomány

vezetője: Dr. habil. Anda Angéla
egyetemi tanár, DSc

Magyar Agrár- és Élettudományi
Egyetem, Georgikon Campus,
Növénytermesztési-tudományok Intézet,
Agronómia Tanszék

Témavezető: Dr. habil. Anda Angéla
egyetemi tanár, DSc

Magyar Agrár- és Élettudományi
Egyetem, Georgikon Campus,
Növénytermesztési-tudományok Intézet,
Agronómia Tanszék



Az iskolavezető jóváhagyása



A témavezető jóváhagyása

1. A munka előzményei, célkitűzések

A szakirodalomban elterjedten a biodiverzitás és az ökoszisztéma funkcióinak összefüggéseivel kapcsolatos ismeretek közül a növények produktivitása a legszélesebb körben tárgyalt terület. Ennek ellenére az olyan alapvető folyamat, mint a lebomlás, viszonylag kevésbé kutatott terület (TILMAN et al. 2014), mely különösen a vízi környezetben történő avarlebontás vizsgálatára igaz (HÄTTENSCHWILER et al. 2005, GESSNER et al. 2010).

Az avar kémiai tulajdonságai, valamint a biotikus tényezőkön túl az abiotikus tényezőknek van a legfontosabb szerepük az avarlebontás folyamatában (GARCÍA-PALACIOS et al. 2013, GARCÍA-PALACIOS et al. 2016). A több tucat külső tényező közül, amelyek befolyásolhatják az avar bomlását, a hőmérséklet kétségtelenül jobban megragadta a figyelmet (FERREIRA & CANHOTO 2015, FERREIRA et al. 2015, FOLLSTAD SHAH et al. 2017), mint más meteorológiai elemek. A hőmérséklet hatása a növényi avar bomlására napjainkban is nagy figyelmet kap mind a szárazföldi (FIERER et al. 2005, PRESCOTT 2010), mind a vízi ökoszisztémákban (FERREIRA & CANHOTO 2015).

Az éghajlatváltozásra vonatkozó előrejelzések szerint 2100-ra az atmoszféra globális átlaghőmérséklete körülbelül 1,5–4,6 °C-kal emelkedik az iparosodás előtti szinthez képest (IPCC 2021, HAWKINS et al. 2017). A vízi ökoszisztémákban a hőmérséklet különösen fontos fizikai tulajdonság, és a levegő hőmérsékletének előre jelzett emelkedése előreláthatólag a vízhőmérséklet (T_w)

emelkedéséhez vezet (KAUSHAL et al. 2010, MOLINERO et al. 2016).

1750 és 2011 között a légköri szén-dioxid (CO_2) körülbelül 40 %-kal, 280 ppm-ről 391 ppm-re nőtt, és a 21. század végére várhatóan eléri a 936 ppm-et (IPCC 2021). A globális felmelegedés és a légköri CO_2 növekedése valószínűleg hatással lesz a mikroorganizmusok anyagcseréjére (BROWN et al. 2004), ami végül hatással lehet az ökoszisztéma folyamataira, s köztük a lebomlásra is.

Az egyik folyamat, amelyet a megemelkedett CO_2 és a léghőmérséklet (T_a) befolyásolhat, az a vízben történő avarlebontás. Az allochton növényi anyag számos víztest fő energia- és szénforrása (WALLACE et al. 1997). Az emelkedett atmoszférikus CO_2 révén a növények különböző metabolitokat (pl. keményítő és különböző cukrok) halmoznak fel a leveleikben (STILING & CORNELISSEN 2007). Ezek a metabolitok gyakran olyan növényfajokra jellemzőek melyek gyorsan lebomló avart termelnek (KINNEY et al. 1997).

- A kutatás egyik fő célja a T_w , továbbá különböző meteorológiai elemek lebontásra gyakorolt hatásának megismerése, valamint a lebontás jellegének előrejelzése meteorológiai elemek alapján.

- Az elérhető meteorológiai elemek közül a T_w központi helyet foglalt el elemzésünkben. Korábbi meteorológiai vonatkozású megfigyelések rendszerint hosszú idő-intervallumokra vonatkoztak (évi és havi átlagok, a legfinomabb felbontást a ritkán alkalmazott napi átlagok jelentették), melyet esetünkben finomítottunk 10 perces felbontásra.

- Ehhez kapcsolódóan célunk volt a lebontási koefficiens hőmérsékleti kapcsolattal bővített változatát (k_T), továbbá a hőmérséklet érzékenységi együtthatót (Q_{10}) meghatározni, valamint a nagyon ritkán alkalmazott globálsugárzás (R_n) és más mikroklímát meghatározó elemeket a vizsgálat körébe bevonni.
- A lebontási folyamat megismeréséhez célul tűztük ki, hogy kioldódási vizsgálatokat is végezzünk ammónium ($\text{NH}_4\text{-N}$) és foszfát ($\text{PO}_4\text{-P}$) elemekre. Tekintettel a téli megfigyelési időszakra, csak a kioldódást néztük, az avarlebontást végző szervezetek monitorozása nem képezte vizsgálatunk tárgyát.
- Napjaink leggyakrabban vizsgált jelenségével, a globális klímamódosulás helybeli hatás-elemzésével mikrokozmosz kísérletben foglalkoztunk, melyet a terepi kísérletekben szerzett tapasztalatok, valamint a várható változások alapján állítottunk be. A magasabb hőmérsékletet (T_a és T_w) a RegCM hazai leskálázott modelljének téli időszakra előrejelzett értékeivel vettük figyelembe (+2 °C-os melegedés). A korábbiaktól eltérően célunk a víz alatti lebomlás során felszabaduló CO_2 mennyiség meghatározása jelen, és emelt hőmérsékletű körülmények között volt.

2. Anyag és módszer

2.1 Kísérleti helyszínek

Vizsgálataink helyszínei a Kis-Balaton-Ingói berek (KB), Zala (Z), Balaton-Keszthelyi-öböl (B), Hévízi-tó (HT) és a Hévízi-lefolyó (HL) 3 különböző hőmérsékletű pontján (HL1, HL2, HL3) helyezkedtek el. A HL pontokat úgy jelöltük ki, hogy egy hőmérsékleti gradiens mentén csökkenjen a T_w . Minél távolabb van a HT, annál alacsonyabb a T_w : HL1 mintavételi pont: 400 m-re, a HL2: 1562 m-re, s a HL3: 4280 m-re van a HT-tól.

2.2 Meteorológiai jellemzők és a víz fizikai- és kémiai tulajdonságainak vizsgálata

A Keszthelyi-öböl esetében a meteorológiai változókat (T_a , PR, relatív páratartalom-RH, szél-u, T_{max} -maximum hőmérséklet, T_{min} -minimum hőmérséklet, R_n) a Keszthelyi Agrometeorológiai Kutatóállomáson elhelyezett QLC-50 (Vaisala, Helsinki, Finnország) típusú klímaállomás rögzítette (ÉSZ 46°73'5,686", KH 17°23'8,615"), mely az Országos Meteorológiai Szolgálat megfigyelőhálózatának része. A KB-on mért meteorológiai adatokat (Almás-sziget, ÉSZ 46°65'7,383" KH 17°19'4,199") a Nyugat-dunántúli Vízügyi Igazgatóság, illetve a HT-nál mért adatokat a Hévízi-tó Monitoring Állomás (ÉSZ 46°78'6,268", KH 17°19'3,656") szolgáltatta számunkra.

A víztetekben a kísérleti időszak alatt *in situ* mértük a T_w -t HOBO UA-002-64 típusú adatgyűjtővel, a pH-t és a vezetőképességet (EC) az Adwa AD111 és AD310 típusú műszerekkel rögzítettük.

A vízmintákban lévő $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{PO}_4\text{-P}$ és $\text{SO}_4\text{-S}$ meghatározására Lovibond MultiDirect (0913462 típusú) spektrofotométert használtunk.

A vízmintákban a permanganátos kémiai oxigénigény (KOI_p) meghatározását a MSZ 448-20 (1990) alapján végeztük. Meghatároztuk a biokémiai oxigénigényt is (BOI_5) az MSZ EN 1899-1 (2000) számú európai szabvány alapján. Az összes szerves széntartalom (TOC) az MSZ EN 1484 (1998) szabvány alapján került meghatározásra.

2.2 Avarlebontás és kioldódás vizsgálata

A nád (levél–NL, szár–NSZ, rizóma–NR), az aranyvessző (levél–AVL, szár–AVSZ), a gyékény (levél–GYL, szár–GYSZ), a mocsárciprus avar (MC), a fűz avar (F), a nyár avar (NY), valamint a fűz- és nyár avar (50-50%) keverékének (K) lebontási ütemét vizsgáltuk 2019. december 9. és 2020. március 16. között, a szakirodalomban elterjedten használt avarzsákos módszer alkalmazásával (BÄRLOCHER et al., 2020).

Számításaink során hőmérséklettel normalizált lebontási együtthatót használtunk (k_T).

A bomlási együttható és a hőmérséklet közötti összefüggések vizsgálatokor Q_{10} értékeket alkalmaztunk, amely azt mutatja, hogy a lebontási folyamat együtthatója hogyan változik, ha a hőmérsékletet 10°C -kal emeljük.

Kísérletünkben a nád (NL, NSZ, NR), az aranyvessző (AVL, AVSZ), a gyékény (GYL, GYSZ), a mocsárciprus (MC), a F, NY, K vízbe kerülése során történő $\text{NH}_4\text{-N}$ -, illetve $\text{PO}_4\text{-P}$ kioldódásának ütemét vizsgáltuk POMOGYI (1983) perkollációs módszere alapján. Az $\text{NH}_4\text{-N}$ és $\text{PO}_4\text{-P}$

koncentrációt a vízben Lovibond MultiDirect (0913462 típusú) spektrofotométerrel vizsgáltuk.

2.3 Növények összes szerves szén (TC), nitrogén (TN) és foszfor (TP) tartalmának vizsgálata

A TC és TN vizsgálatot a MSZ EN ISO 16634-2:2016 szabvány alapján végeztük Elementar vario MACRO CUBE típusú elemanalizátorral.

A TP esetében a vizsgálatot a MSZ 448-18 (2009) szabvány alapján végeztük el. A roncsolást ONE TOUCH TECHNOLOGY MARS 6 mikrohullámú gépben végeztük, 410 nm-en pedig spektrofotometriásan meghatároztuk a növényi részek TP tartalmát.

2.4 CO₂ kibocsátás meghatározása klímakamrában (mikrokozmosz kísérlet)

Angelantoni Industrie Ekochl 700 típusú klímakamrában a KB-on mért adatokat felhasználva szabályoztuk a hőmérsékletet. 300 ml űrtartalmú lombikba 1 g növényt, 10 g iszapot és 100 ml vizet helyeztünk. Kontrollként 10 g iszapot és 100 ml vizet tartalmazó lombikokat is alkalmaztunk, ezzel kizárva a növényi hatást. A mérésekhez Testo 535 típusú CO₂ mérő műszert használtunk. A 98 napos kísérletet megismételtük úgy, hogy 2 °C-kal emeltük meg a hőmérsékletet a klímakamrában, ezzel előrejelezve a globális klímaváltozás hatását a vizsgálat térségére, 2100-ra (IPCC, 2021, 2014; EASTERLING, 2007; PONGRÁCZ et al., 2014). A kísérlet befejezésekor vízmintákban megmértük a pH-t és EC-t, illetve meghatároztuk a vízben az NH₄-N és PO₄-P tartalmat.

Továbbá minden növényi rész TC tartalma került meghatározásra a kísérlet elején és végén.

2.7 Adatok feldolgozása

Az adatok normál eloszlás vizsgálatát Shapiro-Wilk teszttel végeztük (SPSS 17.0; IBM Corp., New York, USA). A felhasznált adatok normál eloszlást mutattak, így Pearson korrelációt, kétutas varianciaanalízist (ANOVA) és lineáris regressziós vizsgálatokat is el tudtunk végezni. A növényi részek bomlásának, kioldódásának és CO₂ kibocsátásának összehasonlítását helyszíneken belül, illetve helyszínek között Student-féle t-próbával végeztük (szignifikancia szint 5%, $p < 0,05$).

3. Eredmények és azok megbeszélése

Az 1981–2010 átlagához képest 3 °C-kal ($p < 0,001$) detektáltunk magasabb értékeket a kísérleti időszak alatt. Egyetlen helyszínek egy hónapja (B, március) kivételével az összes helyszínen havi középhőmérséklete 0,6–6,2 °C-kal melegebb volt a sokéves átlagnál.

A kísérleti időszak alatt a legnagyobb víztömeget képviselő B-nak volt a legkiegyenlítettebb a napi átlagos T_w -e ($T_w = 3,6$ – $8,4$ °C). Valószínűleg a kisebb víztömegük miatt a KB ($T_w = -1,1$ – $10,7$ °C) és Z (0,0– $13,0$ °C) nagyobb T_w -i változékonyságot mutatott. A legmagasabb átlagos T_w -el rendelkező HT-hoz (24 °C) viszonyítva a HL1 1,3 °C-kal, a HL2 5,0 °C-kal, a HL3 10,3 °C-kal volt alacsonyabb.

A KB-on, Z-n és B-on mért T_w változékonysága a két szeles és meleg periódusban meghaladta a nyugodt napokon megfigyelteteket. A három helyszínen közül a B-on mértük a legnagyobb átlagos szelet, mely 17,9 %-kal volt magasabb a többi helyszínehez viszonyítva.

A mintavételi pontokon a víz pH-ja 7,37–8,88 tartományban volt, mely a lebontást tekintve optimálisnak tekinthető.

A BOI_5 , KOI_p és TOC minden mintavételi ponton különbözött; a meleg termálvizek alacsonyabb értékeikkel jól elkülönülnek a többi helyszíntől. A hordalékszállító Z mindhárom változó esetében a legmagasabb értékű volt. Bár az NH_4 -N-ban nem voltak eltérés a mintavételi helyek között, de a B vízgyűjtőjén lévő Z-án mégis nagyobb tartományban mozgott a változó, a fent említett hordalékszállítóként történő

funkcionálása következtében. A $\text{PO}_4\text{-P}$ tartalomnál is jól elkülönülnek a természetes vizek (B, KB, Z) a termálvíztől (HT és HL1–3).

A lebontás során a tömegcsökkenés minden növény és növényi rész esetében a legmagasabb vízhőmérsékletű (HL1, HT) helyszínen volt a legnagyobb. A legkisebb tömegvesztést a leghidegebb vízhőmérsékletű (KB) helyszínen detektáltuk.

A vízben álló makrofiták növényi részei hasonlóan viselkedtek helyszíntől függetlenül: a levelek gyorsabban bomlottak a szárnál, mindezeknél gyorsabban bomlott a rizóma. Megállapítottuk, hogy a vízi környezethez kötődő növények gyorsabban bomlottak, mint a vízkedvelők, az AVL a leggyorsabban, MC és az AVSZ a leglassabban.

A korábbi megfigyeléssel ellentétesen, melyben kevert avaroknál a lebomlás sebessége gyorsabb volt, mint az egyes fajok külön-külön mért értéke, eredményeinkben nem igazolódott. Bár a F és a NY egyedi lebomlása az irodalomban közöltek szerint zajlott, de a két avar keveréke a két avar külön-külön kapott eredményeinek az átlagát adta. Ezzel a keverés lebontásra gyakorolt gyorsító hatását igazolni nem tudtuk.

A növényi részek, növények és a helyszín hatása, illetve ezek kereszthatásai is szignifikánsak voltak, vagyis eltérő helyszíneken eltérő sebességgel bomlanak az avarok, egymástól is jelentős különbséget mutatva.

A kezdeti TC minden növényi résznél hasonló volt (426,9-465,2 mg g^{-1}). A kísérlet végén a HT-ban a TOC minden növényi résznél a legmagasabb lett, s meghaladta a

többi helyszínen mért emelkedéseket. Nagyobb mértékű TN növekedést a HT és HL1–3 pontokon állapítottunk meg. A TP esetében hasonló eredményeket kaptunk, bár itt volt néhány kivétel is (KB-NL, GYSZ, AVSZ, MC; HL2-GYL).

A k_T alakulása követi a lebontási sebességnél is megfigyelhető trendet, illetve a helyszín hatása is egyértelmű (HL1<HT<HL2<HL3<B<Z<KB). A Q_{10} értékek KB-nál voltak a legalacsonyabb Q_{10} (1,6-2,1), míg a HT és HL1–3 esetében pedig a legmagasabbak (1,7-2,5).

A GYSZ kivételével a vízben álló makrofiták növényi részei produkálták a legmagasabb NH_4-N értékeket a kioldódás vizsgálat során. A kétutas ANOVA alapján a helyszínek, a növényi részek és ezek kölcsönhatása is szignifikánsan eltérőek. PO_4-P kioldódása a NR kiemelkedően magas volt minden helyszínen; a levelekben az értéke meghaladta a szárakból történő kioldódást. A NH_4-N és PO_4-P kioldódásra végzett ANOVA elemzés alapján a helyszín, a növényi rész és a keresztthatás is szignifikáns hatást mutatott.

A terepi vizsgálatnál tapasztaltakkal megegyezően a kioldódás után visszamaradt TC szinte mindenhol emelkedett, a legkiemelkedőbb mértékben a HT-n. Ezzel szemben a kioldódás után visszamaradt TN (HL3-NSZ, HL2-3 GYSZ kivételével) csökkent a kezdeti értékhez képest, – elsősorban a HT-n és HL1-3-on – meglepően alacsonyabb értékek jelentkeztek az avarlebontási mérésekkel összehasonlítva. Ugyanez jelentkezett a TP esetében is, bár itt volt néhány kivétel is (KB-NL, GYSZ, AVSZ, MC; HL2-GYL).

A klímakamrás vizsgálatban a növényi anyagot tartalmazó lombikok CO₂ kibocsátása szignifikánsan magasabb volt a csak vizet és iszapot tartalmazott kezeléshez képest. A +2 °C-os hőmérséklet emelkedés – avarféleségektől függően– 14,01-35,23 %-kal magasabb CO₂ kibocsátást eredményezett. Mind a „normál”, mind a +2 °C-os emelt hőmérséklet esetében az ANOVA szignifikáns eltérést igazolt mind a növényfajok, mind a növényi részek esetében.

A klímakamrában és a kioldódás vizsgálatban a pH, EC, NH₄-N és PO₄-P értékei szignifikánsan nem tértek el a növényi részek között.

A növényi részek CO₂ kibocsátása a megemelt T_w-n összhangban volt a csökkent TC tartalommal, minden növényi rész esetében.

4. Következtetések és javaslatok

Az éghajlat felmelegedése eredményeink alapján a Kárpát-medence B-t és környékét jellemző területeken igazolódni látszik, mivel az 1981–2010 normálhoz képest 3 °C-kal detektáltunk magasabb T_a -t a kísérleti időszakban.

Mivel a mintavételi helyszíneink a R_n területi eloszlását tekintve kis területen belül helyezkedtek el (~50 km²) és viszonylag rövid időtartamot öleltek fel a téli időszakban, a R_n értékek minden helyszínen hasonlóan alakultak (80,3–81 W m⁻²). Ez azonban nem jelenti azt, hogy a R_n szerepe elhanyagolható lenne a lebomlás folyamatában, mivel ez az energia képezi az alapját a folyamat végrehajtásában szerepet játszó szervezetek életműködéséhez. Ezt igazolja az is, hogy a meteorológiai elemek közül a legdominánsabb a R_n volt a korreláció- és regresszió analízis alapján.

A többváltozós lineáris regressziós egyenletekben (az NSZ kivételével), melyek alapján az egyes növényi szervek lebontási sebessége csak meteorológiai adatok alapján meghatározható (előrejelezhető), állandó változó az R_n és a T_w volt, függetlenül a helyszíntől és a vizsgált növényi résztől, amiből az következik, hogy a rendelkezésre álló energia az avarlebontás legrelevánsabb tényezője a vizsgált területeken.

A vizsgálat helyszínei, mely tartalmazott egy unikális termáltavat, mely Közép-Európában egyedülálló, meg a B-t, valamint az ezekhez társuló vízfolyásokat, mely lehetőséget biztosított, hogy egyetlen évben több eltérő T_w -ű víztestben

elemezzük a lebontási folyamatokat. Ezzel szemben a korábbi publikációk eltérő hőmérsékleteket csak mikrokozmosz kísérletekben, vagy több vizsgálati év bevonásával tudtak egyidejűleg produkálni.

Eredményeink alapján azt a már ismert tény is igazolni látjuk, hogy az egyes meteorológiai elemek hatásai csak „*ex katedra*” választhatók szét. Az u jelenléte döntő módon befolyásolta a T_w alakulását, melynek valószínű oka a viszonylag kisebb víztömegek vizsgálatba vonása lehetett, mivel a magasabb u -sebesség a víz keveredése által a T_w ingadozását eredményezheti.

Eltérés mutatkozott a HT és a lefolyóinak legalacsonyabb pH-ja, valamint a B és a KB és a Z magasabb pH értékei között. Az egyes mintavételi pontok közti pH differencia azonban nem volt akkora, amely a lebontási folyamatot alapvetően befolyásolhatná.

Lebontás szempontjából a korrelációs analízis alapján a legmeghatározóbb változók a víztestek szerves szennyezést jelentő mutatói közül a TOC és a KOI_p voltak.

Megállapítható, hogy a helyszíneinken természetes úton megtalálható csökkenő hőmérsékleti gradiens mentén (HT–KB) az avarlebontás sebessége is csökken. A legintenzívebb lebomlással a HT közelében számolhatunk, mely tömegvesztés értékek a KB felé romlanak, ugyanazon növényfaj avar törmeléke esetében.

A HT-n a TC emelkedett értéke azt mutathatja, hogy megnövekedett a mikroorganizmus aktivitás a rendelkezésre álló magas és állandó hőmérséklet miatt (az élőbevonat „lemoshatatlan” volt). A TN a hőmérsékletfüggést

alátámasztva (HT–HL1 legmagasabb T_w , KB legalacsonyabb T_w) a HL1-en voltak általában a legmagasabb TN értékek, a KB-on pedig a legkisebbek, mely hőmérsékletfüggés valószínűleg szoros kapcsolatban van a mikroorganizmusok jelenlétével.

Eredményeink alapján megállapítottuk, hogy a T_w alapú k_T értékek pontosabbak, mint a T_w -t figyelmen kívül hagyó, kiterjedten alkalmazott exponenciális bomlási együttható. A Q_{10} értékekben is megjelenik a helyszínek és a növényi részek lebontási folyamatban betöltött eltérő szerepe.

A PO_4 -P kioldódása a NR-ból kiemelkedően magas volt minden helyszínen; a levelekben az értéke meghaladta a szárákból történő kioldódást. Ennek oka valószínűleg az, hogy a szárákban eleve alacsonyabb a foszfor tartalom, és az is nehezen bontható formában van jelen.

A kioldódás vizsgálat után a végső TOC kimagasló értéke a HT-n valószínűleg annak köszönhető, hogy a mikroorganizmusok az avar lehullásakor már elkezdik kolonizálni az avart, s így nem távolítható el róla az élőbevonat.

Az általunk kapott eredmények alapján megállapítható, hogy az avarlebontás üteme (tömegfogyás) és a kumulatív kioldódás (NH_4 -N, PO_4 -P) lineáris kapcsolatot követ.

Annak ellenére, hogy a bomlás víz alatt megy végbe, az általunk alkalmazott módszerrel mérhetővé tettük a víz alatti avarbomlás CO_2 kibocsátását. Az ANOVA alapján a

szignifikáns keresztthatás azt jelezte, hogy az egyes kezeléseknél a gázkibocsátás nem azonos mértékű volt.

A klímakamrában és a terepi vizsgálatban (kioldódás) a vízminták pH, EC, $\text{NH}_4\text{-N}$ és $\text{PO}_4\text{-P}$ értékei szignifikánsan nem tértek el, amelyből levonható az a következtetés, hogy a klímakamrában sikerült a terepi körülményeket előállítani.

A növényi részeket tartalmazó kezelések CO_2 kibocsátása a megemelt T_w -n összhangban volt a csökkent TC tartalommal, minden növényi rész esetében. Ez a megállapítás annak a következménye lehetett, hogy a magasabb T_w fokozta a lebontás egyik termékét, a CO_2 kibocsátást, mely alacsonyabb visszamaradt TC tartalmat idézett elő.

5. Új tudományos eredmények

1. A többváltozós lineáris regressziós egyenletek alapján az egyes növényi szervek lebontási sebessége a meteorológiai elemek napi átlagával meghatározható (előrejelezhető), mely vizsgálatba vont 8 változó közül az R_n és a T_w helyszíntől és a vizsgált növényi résztől (a NSZ kivételével) függetlenül jelen volt az egyenletekben. Ez alapján a meteorológiai változók közül a rendelkezésre álló energia, melyet az R_n és a T_w képvisel, az avarlebontás legrelevánsabb tényezője.

2. A vizsgálat helyszínei, egy Közép-Európában egyedülálló unikális termáltó, a sekély vízmélységű B, valamint az ezekhez társuló vízfolyások, mely lehetőséget biztosítottak arra, hogy egyetlen évben több eltérő T_w -ű víztestben elemezhessük a lebontást. A kísérleti helyszíneinken természetes úton megtalálható csökkenő hőmérsékleti gradiens mentén (HT–KB) az avarlebontás sebessége is csökken. A legintenzívebb lebomlással a HT közelében számolhatunk, mely tömegvesztés értékek a KB felé romlanak, ugyanazon növényfaj avar törmeléke esetében.

3. A kísérlet végén a TC tartalom a legmelegebb T_w -ű HT-ban volt a legmagasabb. Ez azt jelentheti, hogy megnövekedett a mikroorganizmus aktivitás a rendelkezésre álló magas és állandó hőmérséklet miatt (az élőbevonat „lemoshatatlan” volt).

4. Az általunk kapott eredmények alapján megállapítható, hogy az avarlebontás üteme (tömegfogyás)

és a kumulatív kioldódás ($\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{PO}_4\text{-P}$) polinomiális kapcsolatot követ.

5. A klímakamrás vizsgálatban a növényi anyagot tartalmazó minták CO_2 kibocsátása szignifikánsan magasabb volt a csak vizet és iszapot tartalmazott kezeléshez képest. Annak ellenére, hogy a bomlás víz alatt megy végbe, az általunk alkalmazott egyszerű módszerrel mérhetővé tettük a víz alatti avarbomlás CO_2 kibocsátását. A $+2$ °C-os hőmérséklet emelkedés – avarféleségektől függően– 14,01–35,23 %-kal magasabb CO_2 kibocsátást eredményezett, mindamelllett, hogy a gázok oldhatósága a vízhőmérséklet emelkedésével csökken.

6. A klímakamrában és a terepi vizsgálatban a vízminták pH, EC, $\text{NH}_4\text{-N}$ és $\text{PO}_4\text{-P}$ értékei szignifikánsan nem tértek el, amelyből levonható az a következtetés, hogy a klímakamrában sikerült a terepi körülményeket előállítani.

Irodalomjegyzék

BROWN, J.H., GILLOOLY, J.F., ALLEN, A.P., SAVAGE, V.M., WEST, G.B. (2004): Toward a metabolic theory of ecology. In: *Ecology*, 85 1771-1789. p.

FERREIRA, V., CANHOTO, C. (2015): Future increase in temperature may stimulate litter decomposition in temperate mountain streams: Evidence from a stream manipulation experiment. In: *Freshwater Biology*, 60 881-892. p.

FERREIRA, V., CHAUVET, E., CANHOTO, C. (2015): Effects of experimental warming, litter species, and presence of macroinvertebrates on litter decomposition and associated decomposers in a temperate mountain stream. In: *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 72 206-216. p.

FIERER, N., CRAINE, J.M., MCLAUCHLAN, K., SCHIMEL, J.P. (2005): Litter quality and the temperature sensitivity of decomposition. In: *Ecology*, 86 320-326. p.

FOLLSTAD SHAH, J.J., KOMINOSKI, J.S., ARDÓN, M., DODDS, W.K., GESSNER, M.O., GRIFFITHS, N.A., [...], SWAN, C.M., WEBSTER, J.R., ZEGLIN, L.H. (2017): Global synthesis of the temperature sensitivity of leaf litter breakdown in streams and rivers. In: *Global Change Biology*, 23 3064-3075. p.

GARCÍA-PALACIOS, P., MAESTRE, F.T., KATTGE, J., WALL, D.H. (2013): Climate and litter quality differently modulate the effects of soil fauna on litter decomposition across biomes. In: *Ecology Letters*, 16 1045-1053. p.

GARCÍA-PALACIOS, P., MCKIE, B.G., HANDA, I.T., FRAINER, A., HÄTTENSCHWILER, S. (2016): The

importance of litter traits and decomposers for litter decomposition: A comparison of aquatic and terrestrial ecosystems within and across biomes. In: *Functional Ecology*, 30 819-829. p.

GESSNER, M.O., SWAN, C.M., DANG, C.K., MCKIE, B.G., BARDGETT, R.D., WALL, D.H., HÄTTENSCHWILER, S. (2010): Diversity meets decomposition. In: *Trends in Ecology and Evolution*, 25 372-380. p.

HÄTTENSCHWILER, S. (2010): Diversity meets decomposition. In: *Trends in Ecology and Evolution*, 25 372-380. p.

HAWKINS, E., ORTEGA, P., SUCKLING, E., SCHURER, A., HEGERL, G., JONES, P., JOSHI, M., OSBORN, T.J., MASSON-DELMOTTE, V., MIGNOT, J., THORNE, P. VAN OLDENBORGH, G.J. (2017) Estimating changes in global temperature since the pre-industrial period. In: *Bulletin of the American Meteorological Society*, 98 1841-1856. p.

IPCC (2021): Climate Change. The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte; V.; P. Zhai; A. Pirani; S.L. Connors; C. Péan; S. Berger; N. Caud; Y. Chen; L. Goldfarb; M.I. Gomis; M. Huang; K. Leitzell; E. Lonnoy; J.B.R. Matthews; T.K. Maycock; T. Waterfield; O. Yelekçi; R. Yu; and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press; 2021.

KAUSHAL, S.S., LIKENS, G.E., JAWORSKI, N.A., PACE, M.L., SIDES, A.M., SEEKELL, D., BELT, K.T., SECOR,

D.H., WINGATE, R.L. (2010): Rising stream and river temperatures in the United States. In: *Frontiers in Ecology and the Environment*, 8 461-466. p.

KINNEY, K.K., LINDROTH, L.R., JUNG., M.S., NORDHEIM, V.E. (1997): Effects of CO₂ and NO₃⁻ availability on deciduous trees: Phytochemistry and insect performance. In: *Ecology*, 78 215-230. p.

MOLINERO, J., LARRAÑAGA, A., PÉREZ, J., MARTÍNEZ, A., POZO, J. (2016): Stream temperature in the Basque Mountains during winter: thermal regimes and sensitivity to air warming. In: *Climatic Change*, 134 593-604. p.

PRESCOTT, C.E. (2010): Litter decomposition: What controls it and how can we alter it to sequester more carbon in forest soils? In: *Biogeochemistry*, 101 133-149. p.

STILING, P., CORNELISSEN, T. (2007): How does elevated carbon dioxide (CO₂) affect plant—Herbivore interactions? A field experiment and meta-analysis of CO₂-mediated changes on plant chemistry and herbivore performance. In: *Global Change Biology*, 13 1823-1842. p.

TILMAN, D., ISBELL, F., COWLES, J. M. (2014): Biodiversity and ecosystem functioning. In: *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 45 471-493. p.

WALLACE, J.B., EGGERT, S.L., MEYER, J.L., WEBSTER, J.R. (1997): Multiple trophic levels of a forest stream linked to terrestrial litter inputs. In: *Science*, 277 102-104. p.

6. Az értekezés témaköréhez kapcsolódó publikációk

Idegen nyelvű publikációk lektorált folyóiratban

Simon, Sz., Simon-Gáspár, B., Anda, A. (2023): Carbon dioxide emission and its impacting factor from goldenrod (*Solidago canadensis*) and bulrush (*Typha angustifolia*) decomposition during the winter period. *Ecohydrology & Hydrobiology*. m3Gdc 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.ecohyd.2023.01.002> **Q1 IF: 2,957**

Anda, A., **Simon, Sz.,** Simon-Gáspár, B. (2023): Impacts of wintertime meteorological variables on decomposition of *Phragmites australis* and *Solidago canadensis* in the Balaton System. *Theoretical and Applied Climatology*. 151 (1-2) 1963-1979. <https://doi.org/10.1007/s00704-023-04370-y> **Q2 IF: 3,410**

Simon, Sz., Simon-Gáspár, B., Soós, G., Anda, A. (2021): Preliminary Study on Water Bodies' Effects on the Decomposition Rate of Goldenrod Litter. *Atmosphere*. 12 1394. <https://doi.org/10.3390/atmos12111394> **Q2 IF: 3,110**

Simon, Sz., Simon, B., Anda, A. (2021): Examination of nutrient leaching dynamics of *Solidago virgaurea* in Hévíz Lake and Hévíz canal. *Acta Agraria Debreceniensis*. 2021 (1) 207-211. p. <https://doi.org/10.34101/ACTAAGRAR/1/8357>

Simon, Sz., Simon, B., Anda, A., Kucserka, T. (2020): Decomposition dynamics of aquatic macrophytes in the area of Lake Balaton and Kis-Balaton Wetland. *Georgikon For Agriculture: A Multidisciplinary Journal In Agricultural Sciences* 24 (2) 42-48. p.

Simon, Sz., Simon, B., Soós, G., Kucserka, T., Anda, A. (2020): Some preliminary investigations of water quality parameters in a Hungarian thermal lake, Hévíz. Journal of Central European Agriculture. 21 (4) 896-904. p. DOI: /10.5513/JCEA01/21.4.3013 **Q4**

Magyar nyelvű publikációk lektorált folyóiratban

Simon, Sz., Simon-Gáspár, B., Anda, A. (2022): A mocsárciprus (*Taxodium distichum*) avar lebontási dinamikájának vizsgálata a Hévízi-tóban. Ifjúság a tudományért: Tanulmánykötet. ISBN: 9786156338068 260-265. p

Simon, Sz., Simon-Gáspár, B., Anda, A. (2022): A gyékény lebontása során keletkező CO₂ kibocsátás meghatározása klímakamrában. Ifjúság a tudományért: Tanulmánykötet ISBN: 9786156338068 249-253. p.

Simon, Sz., Simon-Gáspár, B., Anda, A. (2022): Fűz és nyár avar lebontási ütemének vizsgálata a Balaton Keszthelyi-öbölben. Ifjúság a tudományért: Tanulmánykötet. ISBN: 9786156338068 224-228. p.

Simon-Gáspár B., **Simon Sz.,** Kucserka T., Anda A. (2022): A közönséges nád lebontási ütemének vizsgálata a Balaton Keszthelyi-öbölben Ifjúság a tudományért: Tanulmánykötet ISBN: 9786156338068 213-217. p.

Simon, Sz., Simon, B., Anda, A. (2021): Az aranyvessző (*Solidago virgaurea*) lebontási ütemének vizsgálata a Hévízi-tóban és annak lefolyójában. Kutatás-fejlesztés-innováció az agrárium szolgálatában. II. kötet. 104-111. p.

Simon, Sz., Simon-Gáspár, B., Anda, A. (2021): A közönséges aranyvessző (*Solidago virgaurea*) lebomlási folyamata során keletkező szén-dioxid kibocsátás mérése klímakamrában. *Acta Agronomica Óváriensis*. 62. (Különszám II.) 53-68. p.

Simon, B., **Simon, Sz.,** Kucserka, T., Anda, A. (2019): A nád (*Phragmites australis*) lebontási ütemének vizsgálata a Kis-Balaton Ingói-berkében. *Hidrológiai Közlöny* 99 (3) 61-64 p.

Konferencia kiadványban teljes terjedelemben megjelent

Simon, Sz., Simon, B., Anda, A. (2020): Fűz és nyár avar lebontási ütemének vizsgálata a Balaton Keszthelyi-öbölben. XXVI. Ifjúsági Tudományos Fórum, 6 p.

Simon, B., **Simon, Sz.,** Kucserka, T., Anda, A. (2019): A nád lebontásának vizsgálata a Balaton Keszthelyi-öblében és a Kis-Balaton Ingói-berkében. *Tavaszi Szél – Spring Wind Konferenciakötet*. 112-117. p.

Előadás magyar nyelven:

Simon, Sz. (2022): Meteorológiai elemek hatása a vízben történő avarlebontásra. XXV. Tavasz Szél Konferencia 2022. 2022.05.06. - 2022.05.08. Pécsi Tudományegyetem Kiadvány neve: XXV. Tavasz Szél Konferencia 2022. Absztraktkötet ISBN 978-615-82054-8-1 81 p.

Simon, Sz., Simon-Gáspár, B., Soós, G., Anda, A. (2021): A fűz és nyár avar lebontásának vizsgálata szabadföldi és mikrokozmosz kísérletben. LXIII. Georgikon Napok: Agrár-környezetgazdaságunk a járványok és a környezeti kihívások árnyékában. 2021.10.07. - 2021.10.08. Keszthely.

Simon, Sz., Anda, A. (2021): A gyékény lebontása során keletkező CO₂ kibocsátás mérése klímakamrában. LXIII. Georgikon Napok: Agrár-környezetgazdaságunk a járványok és a környezeti kihívások árnyékában. 2021.10.07. - 2021.10.08. Keszthely 57. p.

Simon, Sz., Simon-Gáspár, B., Soós, G., Anda, A. (2021): A közönséges aranyvessző lebontásának vizsgálata a Hévíz-tóban és a Hévíz-lefolyóban. XXIV. Tavasz Szél Konferencia 2021. 2021.05.28.-2021.05.30. Miskolc-Egyetemváros Kiadvány neve: XXIV. Tavasz Szél Konferencia 2021. Absztraktkötet. ISBN: 9786155586996 54-55. p.

Simon, Sz., Anda, A. (2021): A közönséges aranyvessző lebontása során keletkező szén-dioxid kibocsátás mérése klímakamrában. „INNOVÁCIÓ ÉS DIGITALIZÁCIÓ” XXXVIII. ÓVÁRI TUDOMÁNYOS NAP. 2021.11.11. Mosonmagyaróvár. Kiadvány neve: „INNOVÁCIÓ ÉS DIGITALIZÁCIÓ” XXXVIII. ÓVÁRI TUDOMÁNYOS NAP Absztraktkötet. ISBN: 9786155837944. 58.

Simon, Sz., Simon, B., Kucserka, T., Anda, A. (2020): Növényi biomassza lebontási ütemének vizsgálata különböző hőmérsékletű víztestekben. XXIII. Tavasz Szél Konferencia 2020. 2020.10.16. Budapest. Kiadvány neve: XXIII. Tavasz Szél Konferencia 2020. Absztraktkötet: MI és a tudomány jövője. ISBN: 9786155586705 53. p.