



A KÖZÖNSÉGES ARANYVESSZŐ (SOLIDAGO VIRGAUREA) LEBOMLÁSI FOLYAMATA SORÁN KELETKEZŐ SZÉN-DIOXID KIBOCSÁTÁS MÉRÉSE KLÍMAKAMRÁBAN

SIMON SZABINA - SIMON-GÁSPÁR BRIGITTA - ANDA ANGÉLA
Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Georgikon Campus, Keszthely

ÖSSZEFOGLALÁS

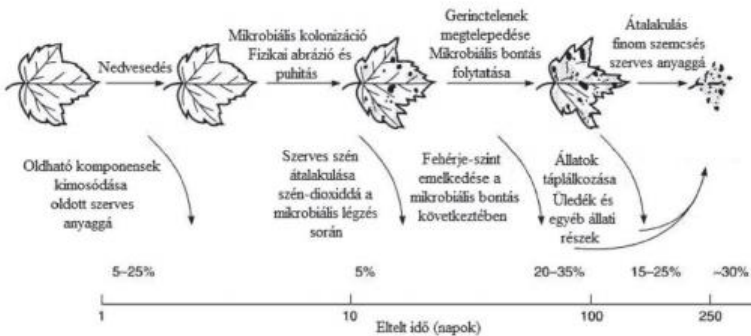
A vízben történő avarlebontás fontos részét képezi a szénkörforgásnak. Amikor az elhalt növények a vízbe kerülnek, a lebomlási folyamat megindul, ezáltal CO₂ jut a légkörbe. Az aranyvessző (*Solidago canadensis*) Magyarországon a tavak és a folyók mentén egyre nagyobb területeket hódít, így a Kis-Balaton partján is megfigyelhető terjedése. A Kis-Balaton Vízvédelmi Rendszer elsődleges szerepe a szerves tápanyagok megtartása, ezáltal pedig a Balaton vízminőségének javítása. Mivel ezen a területen nem olyan intenzív a vízmozgás, illetve hosszú a víz tartózkodási ideje a visszatartás révén, a területen – a bomló növényi részek által – a CO₂ kibocsátás magasabb lehet.

Kísérletünkben mikrokozmosz kísérletet állítottunk be klímakamrában, mely során célunk volt az aranyvessző levelének és szárának lebontása során keletkező CO₂ kibocsátás mértékének meghatározása. Eredményeink azt mutatták, hogy a növényi részek vízben történő bomlása téli időszakban hozzájárul a sekély víztestek, így a Kis-Balaton CO₂ kibocsátásának növekedéséhez.

Kulcsszavak: avarlebontás, klímakamra, Kis-Balaton, *Solidago canadensis*, aranyvessző

BEVEZETÉS ÉS IRODALMI ÁTTEKINTÉS

A vízbe hulló avar bomlása kulcsfontosságú folyamat az ökoszisztémákban, amely nagy mértékben befolyásolja a szervesanyag képződést, a tápanyagok elérhetőségét az élővilág számára, valamint a szén-dioxid (CO₂) kibocsátást (Jeyanny *et al.* 2015). Az avarlebontás sebessége függ az avar belső tulajdonságaitól (pl. kémiai és fizikai tulajdonságok), valamint a külső, biotikus (gombák, baktériumok, makrogerinctelen szervezetek jelenléte) és abiotikus (pl. hőmérséklet) tényezőktől (Chen *et al.* 2019). Ezek alapján az avarlebontás folyamata 4 szakaszra bontható (1. ábra): 1. vízben oldható vegyületek kioldódása, 2. mikrobiális kolonizáció, 3. makrogerinctelen szervezetek aprító tevékenysége, 4. fragmentáció (Webster és Benfield 1986). Amikor a szárazföldi növényi anyag bekerül a vízbe (allochton forrás) akár 30%-os tömegvesztés is végbe mehet az első 24 óra alatt a kioldódási folyamat következtében (Petersen és Cummins 1974). Ezzel szemben lassabb lebomlási sebesség várható magas lignin- és fenoltartalom esetén (Zhang *et al.* 2019). Tehát a fő mozgatórugók a vízi ökoszisztémában az avarlebontást tekintve: a környezet, az avar összetétele, valamint a lebontó közösség.



1. ábra: Az avarlebontás folyamata (Sigeo 2005)

Figure 1: The process of the leaf litter decomposition (Sigeo 2005)

Az előrejelzések alapján a globális felmelegedés erős hatással lesz a biológiai folyamatokra az összes földi biomban (Walther 2010). Várhatóan megváltoztatja az anyagcserefolyamatokat (Brown *et al.* 2004), a fajok elterjedését és fenológiáját (Parmesan 2006), illetve az ökoszisztéma működését (Amani *et al.* 2019, Dossena *et al.*

2012). Az ökoszisztéma működésének pontosabb megértése érdekében számos tanulmány foglalkozott a növények produktivitásának tanulmányozásával (*Tilman et al.* 2014), viszont más alapvető folyamatokkal - mint például a lebontás vizsgálatával – már kevesebben (*Hättenschwiler et al.* 2005, *Gessner et al.* 2010), különösen a vízi ökoszisztémák tekintetében.

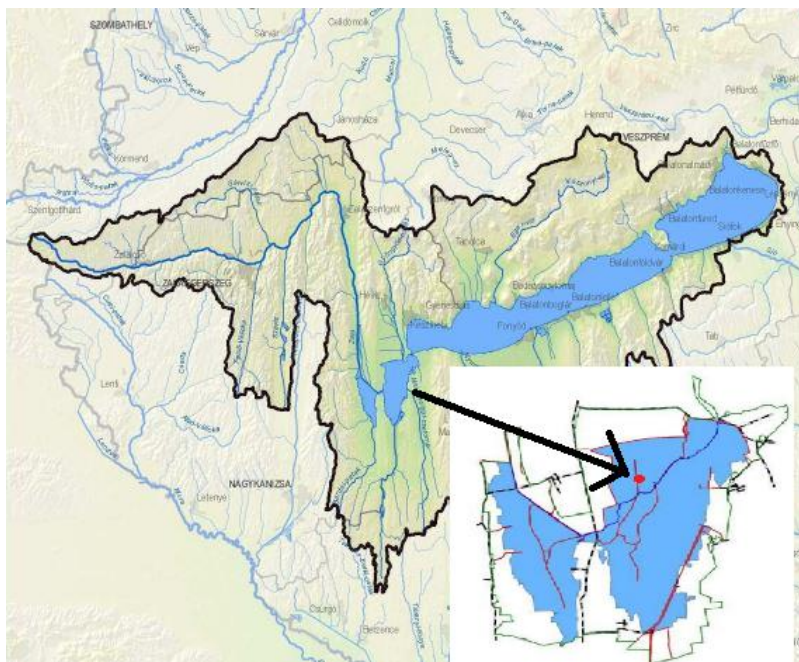
A vízben történő avarlebontás az ökoszisztéma egyik legfontosabb folyamata, hiszen befolyásolja a szén és a tápanyagok rendelkezésre állását, valamint a CO₂ és a metán (CH₄) kibocsátást, melyek mennyisége a klímaváltozás során folyamatosan növekedik (*Davidson és Janssens* 2006, *Heimann és Reichstein* 2008). Az avarlebontás erősen függ a hőmérséklettől, és várhatóan érzékenyen reagál a globális felmelegedésre, mivel a magasabb hőmérséklet gyorsítja az avarlebontás folyamatát, egyrészt a kioldódás által, másrészt pedig a makrogerinctelen szervezetek és a mikrobiális lebontók energiafelvételének növelésével (*González és Graça* 2003, *Ferreira és Chauvet* 2011). A mikrobiális lebontás során a szerves vegyületek nagyobb hányada alakul át CO₂-á (*Baldy et al.* 2007), míg a makrogerinctelen szervezetek aprító tevékenységével a durva szemcsés anyagok finom szemcsés anyaggá alakulnak és így oldják a szerves anyagokat (*Wallace és Webster* 1996). Mindezek viszont függhetnek a rendelkezésre álló avarfajtától (*Follstad Shah et al.* 2017).

A Kis-Balaton Vízvédelmi Rendszer (wetland) vizes élőhely, amelynek elsődleges célja a Zala folyó eredeti áramlásának helyreállítása és a szervesanyagok megtartása a Zala folyó torkolatában, valamint a Balaton vízminőség romlásának megállítása (*Tátrai et al.* 2000). Kísérletünk helyszíne, a Kis-Balaton II-es ütem jellege „klasszikus” vizes élőhelynek mondható, 95%-ban makrofita borítással, elsősorban nádassal (*Nguyen et al.* 2005, *Tátrai et al.* 2000). Fokozottan védett természetvédelmi terület, mely a *Ramsari Egyezmény* (1971) törvényes védelme alatt áll. Mivel ezen a területen nem olyan intenzív a vízmozgás, illetve hosszú a víz tartózkodási ideje a visszatartás révén, ezáltal a területen – a bomló növényi részek által – a CO₂ kibocsátás magasabb lehet.

A közönséges aranyvessző (*Solidago canadensis*) lebontási ütemét vizsgáltuk a Kis-Balaton Ingói berkében 3 hónapon keresztül, téli időszakban. Hazánkban a közönséges aranyvessző folyamatosan újabb és újabb területeket hódít, így a Balaton és a Kis-Balaton partján is megfigyelhető a terjedése. A terepi kísérletet követően mikrokozmosz vizsgálatot állítottunk be. Célunk az volt, hogy az aranyvessző különböző részeinek lebontása során keletkező CO₂ kibocsátást feltérképezhessük.

ANYAG ÉS MÓDSZER

Téli időszakban 3 hónapos kísérletet állítottunk be a Kis-Balaton Ingói berkében (ÉSZ 46°65'7,041", KH 17°19'5,464") (2. ábra) a közönséges aranyvessző levél- és szár lebontási ütemének vizsgálatára a szakirodalomban elterjedten használt avarzsákos módszer alkalmazásával (Bärlocher *et al.* 2020).



2. ábra: Mintavételi pont a Kis-Balaton Ingói berkében (forrás: vizugy.hu)

Figure 2: Sampling point in the Kis-Balaton Wetland

A vizsgálati növényanyagokat levélhullás időszakában gyűjtöttük be, megtisztítottuk a ráakódott szennyeződésektől, majd szobahőmérsékleten légszáraz állapotig szárítottuk. A szárból és a levélből 10-10 grammot mértünk 15x15 cm-es avarzsákokba, melyeknek lyukátmérője 3 mm volt, ezzel biztosítva, hogy a makrogerinctelen szervezetek is hozzáférhessenek a mintákhoz (3. ábra). Növényi részenként 27 db (tehát összesen 54 db) avarzsákot készítettünk. Az avarzsákokat műanyag rekeszekhez rögzítettük, majd a kísérlet helyszínére szállítottuk. A mintavételi ponton a növényi anyagokat a Kis-Balaton vízával permeteztük, hogy a hirtelen átnedvesedés miatti töredeződést elkerüljük. A vízbe

helyezéskor a műanyag rekeszeket a parton rögzítettük, majd nagyjából a parttól 5 méterre a víztestbe helyeztük őket. Mindeközben ügyeltünk arra, hogy biztosítsuk az állandó, nagyjából 1 méteres vízborítottságot a rekeszek közepére nehezéket helyezve. Mintavétel az 1., a 2., a 3., a 7., a 14., a 21., a 42., a 70. és a 98. napon történt, ekkor növényi részenként 3 párhuzamos mintát óvatosan távolítottunk el a rekeszről, laboratóriumban megtisztítottuk a ráakódott szennyeződésektől, újra légszáraz állapotig szárítottuk, majd visszamértük a tömegüket.



3. ábra: Növényi anyaggal megtöltött avarzsák

Figure 3: Filled bag with leaf litter

Az avarlebontás kísérlettel párhuzamosan kioldódás vizsgálatot is beállítottunk Pomogyi (1983) perkollációs módszere alapján. A kísérlet előkészítése megegyezett az avarzsákos kísérletével. A 10 grammnyi növényt 500 milliliter űrtartalmú

üvegpalackokba helyeztük be (növényi részenként 3 ismétléssel). Az avarzsákos kísérlet kihelyezése után a helyszínen az üvegpalackokat feltöltöttük 450 milliliter desztillált vízzel, majd természetes hőmérsékleten inkubáltuk az avarzsákos kísérlethez közel, kb. 1 méter távolságra tőle. A mintavételi napok szintén megegyeztek az avarzsákos kísérletével. Ekkor a mintákról a folyadékfázist eltávolítottuk, majd újratöltöttük desztillált vízzel. Az eltávolított folyadékokat laboratóriumba szállítottuk, ahol spektrofotometriásan megállapítottuk az ammónium- és foszfát tartalmukat Lovibond MultiDirect 0913462 típusú mérőműszer segítségével. Először vakpróbát végeztünk a vizsgálni kívánt vízmintával, majd azt követően a vízmintát tartalmazó 10 ml-es küvetta beleraktuk az első reagenst, melyet összetörtünk az erre a célra alkalmazott keverőpálcával. Miután homogén lett a vízminta az első reagens után, beleraktuk a második reagenst, amit szintén összetörtünk. Lezárás után homogenizáltuk, majd behelyeztük a műszerbe, és megvártuk a 10 perces reakciós periódust, melyet követően a mérés automatikusan megtörtént. Az eredményeket mg/l értékben kaptunk meg. Mindemellett minden vízmintában mértük a pH-t és a vezetőképességet Adwa AD111 és AD310 típusú műszerekkel.

A kísérleti időszak során *in situ* mértük a vízhőmérsékletet a kísérleti időszak alatt a HOBO UA-002-64 típusú adatgyűjtővel.

A terepi kísérletet követően mikrokozmosz kísérletet állítottunk be a közönséges aranyvessző szár- és levél CO₂ kibocsátásának feltérképezésére. A vizsgálat a Kis-Balatonon mért napi vízhőmérsékletek feldolgozásával indult, melyekből heti átlagot készítettünk, és hetente az alapján változtattuk a klímakamrában a hőmérsékletet. Az Angelantoni Industrie Ekochl 700 típusú klímakamrában szabályozható a hőmérséklet, a páratartalom, illetve a fényintenzitás. A páratartalmat fixen 50%-ra, a fényt pedig a téli időszakra való tekintettel 7 órás teljes megvilágításra és 17 órás sötét periódusra állítottuk. A minták előkészítése a terepi kísérlet módszerével egyezett meg.

300 ml úrtartalmú lombikokba 1 g növényt, 10 g iszapot – melyet a terepi kísérlet helyszínéről gyűjtöttünk be – és 100 ml vizet helyeztünk, növényi részenként 3-3 ismétléssel. Kontrollként 3 db lombikba 10 g iszapot és 100 ml vizet helyeztünk, ezzel kizárva a növényi hatást (4. ábra). A lombikokat a klímakamrába való elhelyezés előtt légmentesen lezártuk parafilmmel. A mérésekhez Testo 535 típusú CO₂ mérő műszert használtunk, melynek méréstartománya 0-9999 ppm, illetve amelyen 2 infravörös csatornás adszorpciós elven működő CO₂ érzékelő szenzor van. Az első mintavétel a

behelyezést követően 1 óra elteltével történt. Először a klímakamrán kívüli, friss levegőt mértük meg a kalibrációhoz. Ezt követően pedig a növényi résszel, iszappal és vízzel töltött lombikok CO₂ tartalmát mértük meg. Pár perc elteltével megkaptuk az értékeket ppm-ben. A vizsgálat befejezésekor kifűjtük a lombikokban lévő CO₂-t. A második mintavétel 4 óra múlva, majd hetente háromszor mértük a CO₂ értéket a klímakamrában elhelyezett növényel, iszappal és vízzel töltött lombikokban.

A kísérlet befejezésekor a lombikokban lévő növényi részeket megtisztítottuk a ráakódott szennyeződésektől, légszáraz állapotig szárítottuk, majd visszamértük tömegüket. A vízmintákat szűrőpapíron átszűrtük, majd megmértük a pH-t és vezetőképességet, illetve spektrofotometriásan meghatároztuk a bennük lévő ammónium- és foszfáttartalmat, melyeket összehasonlítottunk a terepen mért értékekkel.

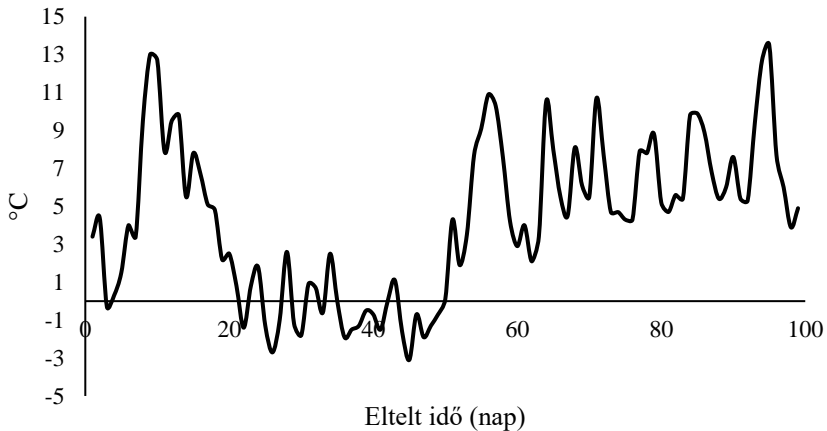


4. ábra: Aranyvessző szárral, iszappal, desztillált vízzel megtöltött Erlenmeyer lombik

Figure 4: Erlenmeyer flask filled with stem of *Solidago canadensis*, sediment, and distilled water

EREDMÉNYEK ÉS KÖVETKEZTETÉSEK

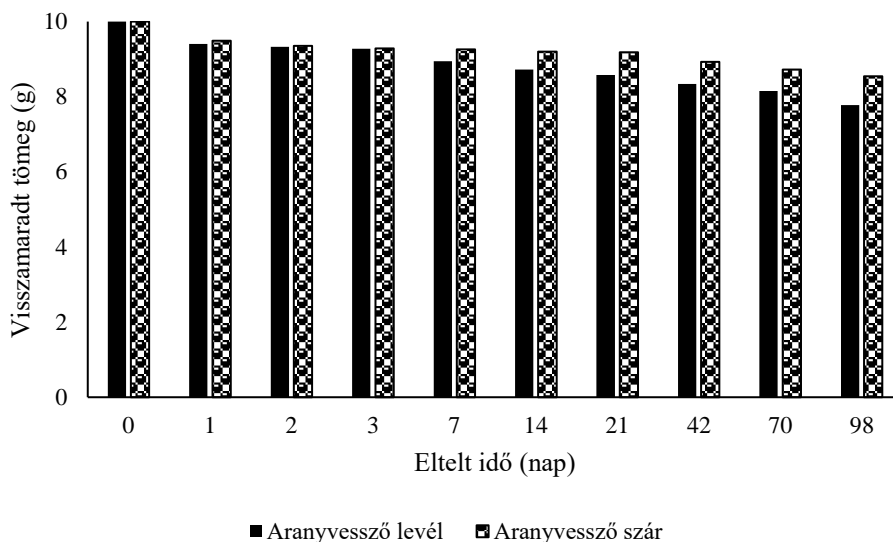
A vizsgálati időszak alatt szélsőségesen ingadozott a vízhőmérséklet, ami szorosan követte a léghőmérséklet változásait is. A 13,5 °C-os hőmérséklettől a -3,1 °C-ig terjedő skálán mozgott (5. ábra).



5. ábra: A vízhőmérséklet alakulása a kísérleti időszakban

Figure 5: The water temperature during the experimental period

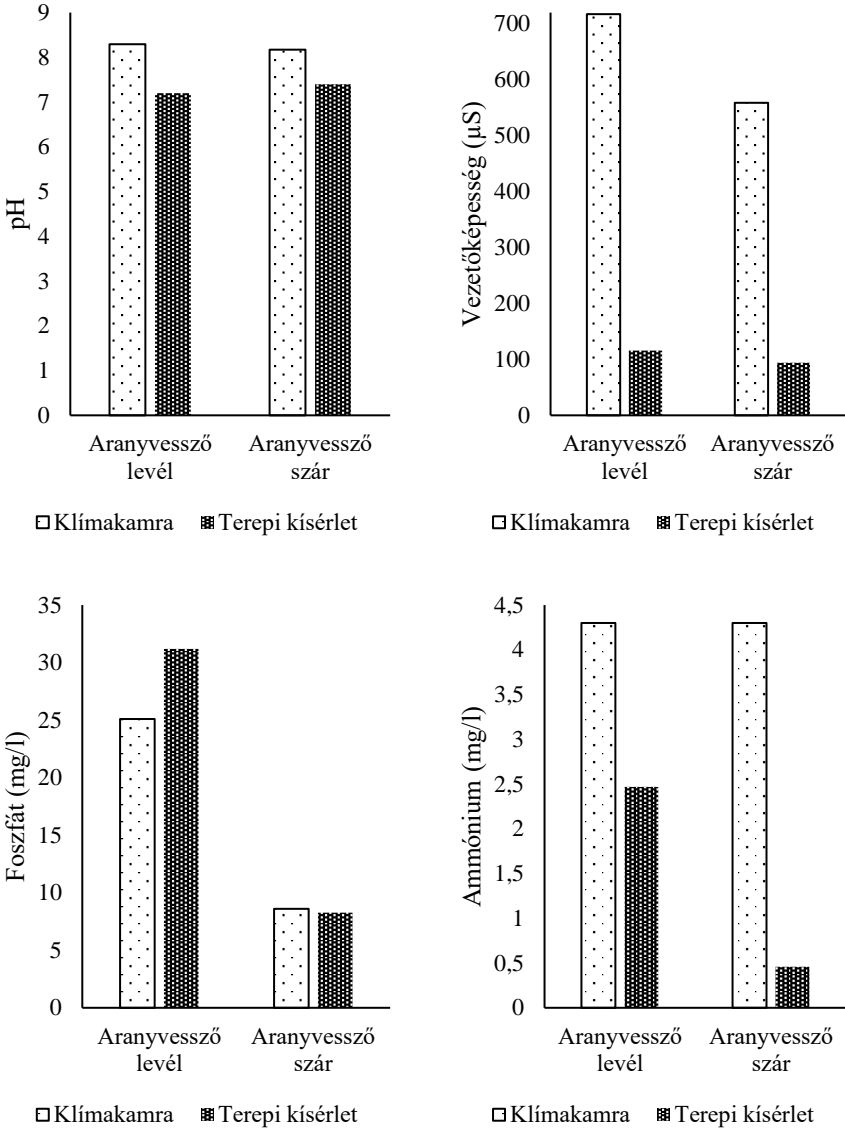
A 6. ábrán látható a visszamaradt száraz avar tömege az egyes mintavételi napokon. Levél esetében 22,2%-os tömegcsökkenést, míg a szárnál mindössze 14,5%-os tömegcsökkenést tapasztaltunk a nehezen bontható vegyületeknek köszönhetően. Az idő elteltével folyamatos volt a csökkenés mindkét növényi rész esetében. A klímakamrában végzett kísérlet végére a levélnél 4%-os, szárnál pedig 3%-os tömegcsökkenést állapítottunk meg a terepi kísérlethez képest. A különbség a szabadföldi és mikrokozmosz kísérlet között a természetes vízmozgás általi törmelék aprózódás- és kihullás eredménye lehet.



6. ábra: A visszamaradt száraz avar tömege az egyes mintavételi napokon (levél és szár)

Figure 6: Remaining dry mass on each sampling day (leaf and stem)

A 7. ábra szemlélteti a vízkémiai paraméterek alakulását a szabadföldi és a mikrokozmosz kísérlet során. A pH értékek mind a terepi, mind a klímakamra kísérletet tekintve a lebontás szempontjából optimálisnak mondhatók. A vezetőképességet, illetve az ammónium tartalmat tekintve a klímakamra kísérlet esetében magasabb értékeket kaptunk, ennek oka valószínűleg, hogy a terepi kísérlet során folyamatosan eltávolítottuk a folyadékfázist a növényről, míg a mikrokozmosz kísérletben csak a vizsgálati periódus végén. Az aranyvessző levél esetén a foszfátkioldódás mértéke magasabb volt a többi értéktől eltérően a terepi kísérlet során. Ennek oka az lehet, hogy a klímakamrában iszappal beoltott vizet alkalmaztunk, míg terepen a növényi részen kívül csak desztillált vizet használtunk. Az aranyvessző szár esetében a foszfátkioldódás esetében pedig elhanyagolható különbséget találtunk a két vizsgálati helyszín között.

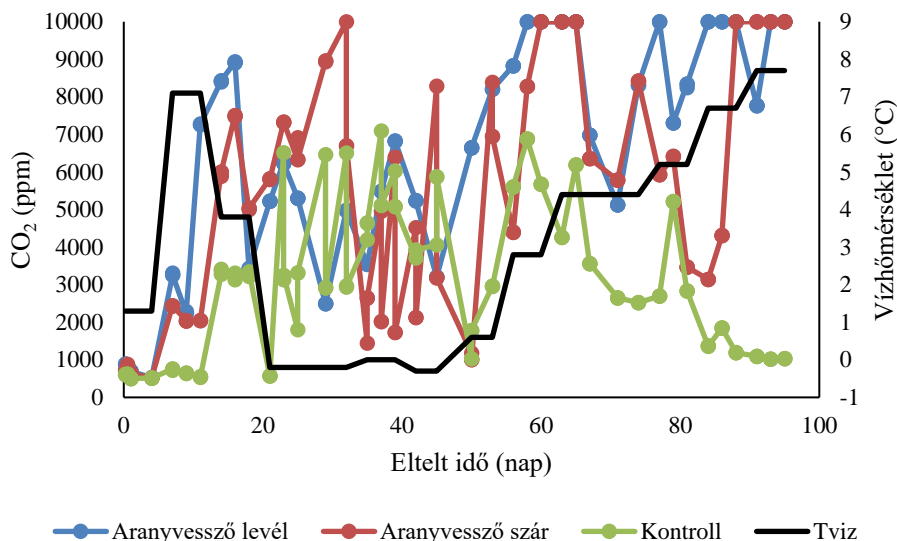


7. ábra: A terepi és a klímakamra kísérlet során mért vízkémiai paraméterek összehasonlítása

Figure 7: Comparison of chemical parameters measured during the field and climate chamber experiment

A Kis-Balaton területén nem olyan intenzív a vízmozgás, illetve hosszú a víz tartózkodási ideje a vízviszatartás révén. A vízbe hulló növényi részek, rákerülnek az

üledékre majd a bomlási folyamat során helyben maradnak, nem úgy, mint a gyorsabb folyású vizek esetén. Ennek köszönhetően a vízben történő bomlási folyamat CO₂ kibocsátása jól modellezhető mikrokozmosz kísérletekben, melynek eredménye a 8. ábrán látható. A kísérletben a növényi részeket tartalmazó kezelések CO₂ kibocsátása magasabb volt, mint a kontrolban kapott értékek. A vízhőmérséklet változásait a CO₂ kibocsátás egy kisebb eltolódással követi. A szár és a levél esetében szintén látható egy eltolódási tendencia. A levél szorosabban követi a vízhőmérséklet változásait, míg a szár 30-35 napos csúszással „követi” a levél CO₂ kibocsátási ütemét. Ez az eltérés a nehezebben lebontható, szilárdító komponensek (pl. lignin, cellulóz) miatt történik, ugyanis az aranyvessző szárban ezek az anyagok magasabb arányban találhatók meg mint a levélben.



8. ábra: Az aranyvessző levél és szár lebontása során keletkező szén-dioxid mennyisége

Figure 8: The amount of carbon dioxide produced during the breakdown of the goldenrod leaf and stem

Az édesvizekben lebomló avar jelentős mennyiségű CO₂-t juttat a légkörbe, mely a globális szén ciklus szignifikáns része. (Battin et al. 2008), ezért fontos annak a vizsgálata, hogy az emelkedő hőmérsékletre hogyan reagálnak a lebomló növényi részek. Terepi kísérletünket a harmadik legmelegebb télen végeztük (1901 óta), mely eredményeket

betápláltunk egy mikrokozmosz kísérletbe, hogy feltérképezhessük magasabb hőmérsékleten a területen elterjedt növényi részek CO₂ kibocsátását.

A hőmérséklet fontos tényező az avarlebotásban és a biológiai folyamatokban. A jövőbeli klímaváltozási forgatókönyvek azt jósolják, hogy az emelkedő hőmérséklet, főleg télen, módosítja a tápanyag-ciklust, beleértve a bomlási folyamatokat is. A közönséges aranyvessző Európa-szerte invazív növénynek számít, amely nagymértékben veszélyezteti a biológiai sokféleséget. A rövid életű, invazív közönséges aranyvessző lebomlásának, ezáltal a CO₂ kibocsátásának mérséklése érdekében annak kiirtását, helyére mocsárerdő telepítését javasolnánk, mely révén a fűzek és az éterek a növekedésük során sokkal hosszabb ideig tárolnák a szenet. Továbbá fontos megemlíteni, hogy az éghajlatváltozás miatt a bomlási folyamatokban bekövetkező különböző változások hatással lehetnek a fokozottan védett Balaton vízminőségére.

Amani et al. (2019) kutatásában a szerzők a megemelkedett légköri CO₂ és az emelkedő hőmérséklet kapcsolatát vizsgálták az avarlebotási folyamatokra. Eredményeik alapján a felmelegedés hatása az avarlebotás sebességére nem függ az avar kémiai összetételétől. Hasonló eredményre jutott *Migliorini és Romero* (2020), miszerint a megemelkedett hőmérséklet hatása az avarlebotás sebességére független az avar típusától.

Kevés tanulmány létezik, amely a hőmérsékletváltozásokat és az avarlebotást együttesen értékeli. Vizsgálatunk bizonyítja, hogy az invazív aranyvessző lebomlása során hozzájárul a globális CO₂ kibocsátáshoz. Ráadásul a jövőbeni hőmérséklet emelkedés felgyorsítja a bomlási sebességet főként azért, hogy stimulálja a mikrobák által vezérelt bomlást (*Migliorini és Romero* 2020).

A mikrokozmosz kísérlet újbóli beállítása, valamint a hőmérséklet megfelelő megválasztásával fontos válaszokat adhat a globális klímaváltozás által befolyásolt avarlebotás jövőbeni jellegére.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

„AZ INNOVÁCIÓS ÉS TECHNOLÓGIAI MINISZTERIUM ÚNKP-21-3. KÓDSZÁMÚ ÚJ NEMZETI KIVÁLÓSÁG PROGRAMJÁNAK A NEMZETI KUTATÁSI, FEJLESZTÉSI ÉS INNOVÁCIÓS ALAPBÓL FINANSZÍROZOTT SZAKMAI TÁMOGATÁSÁVAL KÉSZÜLT.”



INVESTIGATION OF CARBON DIOXIDE EMISSION FROM GOLDENROD DECOMPOSITION IN A CLIMATE CHAMBER

SZABINA SIMON - BRIGITTA SIMON-GÁSPÁR - ANGELA ANDA
Hungarian University of Agriculture and Life Sciences, Georgikon Campus

SUMMARY

Leaf litter decomposition in water is an important part of the carbon cycle. When leaf litter are deposited in water, the decomposition process takes place, releasing CO₂ into the atmosphere. In Hungary, the *Solidago canadensis* is spreading over increasing areas along lakes and rivers, including the shores of Lake Balaton. The primary objective of the Kis-Balaton Wetland is to retain inorganic nutrients, thereby improving the water quality of Lake Balaton. As the water movement in this area is not very intensive and the water retention time is long, CO₂ emissions of parts of decomposing plants can be higher in this area.

We set up a microcosm experiment in a climate chamber to determine the CO₂ emissions from the decomposition of *Solidago canadensis* leaves and stems. The results showed that the decomposition of plant parts in water during winter contributes to the increase of CO₂ emissions from shallow water bodies, such as the Kis-Balaton Wetland.

Keywords: leaf litter decomposition, climate chamber, Kis-Balaton Wetland, *Solidago canadensis*.

IRODALOM

Amani M. - Graça M.A.S. - Ferreira V. (2019): Effects of elevated atmospheric CO₂ concentration and temperature on litter decomposition in streams: A meta-analysis. *International Review of Hydrobiology*. 104, 14–25.

Dossena, M. - Yvon-Durocher G. - Grey J. – Montoya J.M. – Perkins D.M. – Trimmer M. – Woodward G. (2012): Warming alters community size structure and ecosystem functioning. *Proceedings of the Royal Society B*. 279, 3011–3019.

Baldy V. – Gobert V. – Guerold F. – Chauvet E. – Lambrigot D. - Charcosset J-Y. (2007): Leaf litter breakdown budgets in streams of various trophic status: effects of dissolved inorganic nutrients on microorganisms and invertebrates. *Freshwater Biology* 52, 1322–1335.

Bärlocher F. - Gessner M.O. - Graca M.A.S. (2020): Leaf Mass Loss Estimated by the Litter Bag Technique. In *Methods to Study Litter Decomposition. A Practical Guide*, 2nd ed.; SpringerNature Switzerland AG. Part 1. 43-51.

Battin, T.J. – Kaplan L.A. – Findlay S. – Hopkinson C.S. – Marti E. – Packman A.I. - Newbold J.D. - Sabater F. (2008): Biophysical controls on organic carbon fluxes in fluvial networks. *Nat. Geosci.* 1, 95–100.

Brown J.H. - Gillooly J. F. - Allen A.P. - Savage V.M. - West G.B. (2004): Toward a metabolic theory of ecology. *Ecology*. 85, 1771–1789.

Chen Y. - Ma S. - Jiang H. - Yangzom D. - Cheng G. - Lu X. (2019): Decomposition time, chemical traits and climatic factors determine litter–mixing effects on decomposition in an alpine steppe ecosystem in Northern Tibet. *Plant Soil*. 459, 23–35.

Davidson E.A. - Janssens, I.A. (2006): Temperature sensitivity of soil carbon decomposition and feedbacks to climate change. *Nature*. 440, 165–173.

Ferreira V. - Chauvet E. (2011): Synergistic effects of water temperature and dissolved nutrients on litter decomposition and associated fungi. *Global Change Biology*. 17, 551–564.

Follstad Shah J.J. – Kominoski J.S. – Ardón M. – Dodds W.K. – Gessner M.O. – Griffiths N.A. – Hawkins C.P. – Johnson S.L. – Lecerf A. – LeRoy C.J. – Manning D.W.P. –

- Rosemond A.D. – Sinsabaugh R.L. – Swan C.M. – Webster J.R. – Zeglin L.H.* (2017): Global synthesis of the temperature sensitivity of leaf litter breakdown in streams and rivers. *Global Change Biology*. 23, 3064–3075.
- Gessner M.O. - Swan C.M. - Dang C.K. – McKie B.G. – Bardgett R.D. – Wall D.H. - Hättenschwiler S.* (2010): Diversity meets decomposition. *Trends in Ecology & Evolution*. 25, 372–380.
- González J.M. - Graça M.A.S.* (2003): Conversion of leaf litter to secondary production by a shredding caddis-fly. *Freshwater Biology*. 48, 1578–1592.
- Hättenschwiler S. - Tiunov A.V. - Scheu S.* (2005): Biodiversity and litter decomposition in terrestrial ecosystems. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*. 36, 191–218.
- Heimann M. - Reichstein, M.* (2008): Terrestrial ecosystem carbon dynamics and climate feedbacks. *Nature*. 451, 289–292.
- Jeyanny V. - Rasidah K.W. - Husni M.A. - Kumar B. S. - Firdaus S.M. - Arifin A.* (2015): Leaf litter decomposition and soil carbon dioxide fluxes across climatic gradient in tropical montane and lowland forests. *Journal of Tropical Forest Science*. 27, 472–487.
- Migliorini G.H. – Romero G.Q.* (2020): Warming and leaf litter functional diversity, not litter quality, drive decomposition in a freshwater ecosystem. *Nature*. 10, 20333.
- Nguyen H.L. - Leermakers M. - Kurunczi S. - Bozo L. – Baeyens W.* (2005): Mercury distribution and speciation in Lake Balaton, Hungary. *Science of the Total Environment*, 340, 231-246.
- Parmesan C.* (2006): Ecological and evolutionary responses to recent climate change. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*. 37, 637–669.
- Petersen R.C. - Cummins K.W.* (1974): Leaf processing in a woodland stream. *Freshwater Biology*. 4, 343–368.
- Pomogyi P.* (1983): A Kis-Balaton tömegesen előforduló hínárfajok tápanyagforgalma és annak kapcsolata a vízminőségvédelemmel. Kandidátusi értekezés. Keszthely.
- Ramsar Convention.* (1971): Convention on Wetlands of International Importance especially as Waterfowl Habitat. Ramsar (Iran), February 2, UN Treaty Series No. 14583.
- Tátrai I. - Kálmán M. - Korponai J. - Paulovits G. - Pomogyi P.* (2000): The role of the Kis-Balaton water protection system in the control of water quality of Lake Balaton. *Ecological Engineering*. 16, 73-78.

Tilman D. - Isbell F. - Cowles, J.M. (2014): Biodiversity and ecosystem functioning. Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics. 45, 471–493.

Wallace J.B. - Webster J.R. (1996): Te role of macroinvertebrates in stream ecosystem function. Annual Review of Entomology. 41, 115–139.

Walther G.-R. (2010): Community and ecosystem responses to recent climate change. Philosophical Transactions of the Royal Society B. 365, 2019–2024.

Webster J.R. - Benfield E.F. (1986): Vascular plant breakdown in freshwater ecosystems. Annual Review of Ecology and Systematics. 17, 567–594.

Zhang, M. – Cheng X. – Geng Q. – Shi Z. - Luo Y. – Xu X. (2019): Leaf litter traits predominantly control litter decomposition in streams worldwide. Global Ecology and Biogeography. 28, 1469–1486.

A szerzők levélcíme – Address of the authors

Simon Szabina

Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem,

Georgikon Campus,

Környezeti Fenntarthatóság Tanszék, 2100 Gödöllő, Páter Károly utca 1.

e-mail: simonszabina95@gmail.com

Simon-Gáspár Brigitta

Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem,

Georgikon Campus,

Környezeti Fenntarthatóság Tanszék, 2100 Gödöllő, Páter Károly utca 1.

e-mail: simon.gaspar.brigitta@uni-mate.hu

Anda Angéla

Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem,

Georgikon Campus,

Környezeti Fenntarthatóság Tanszék, 2100 Gödöllő, Páter Károly utca 1.

e-mail: anda.angela@uni-mate.hu