

Növényi anyag égésekor felszabaduló füst hatása három hazai évelő lágyszárú vegetatív szaporítóképletének kihajtására

ABBAS Amira Fatime¹, MOJZES Andrea² és KALAPOS Tibor¹

¹Eötvös Loránd Tudományegyetem, Biológiai Intézet,
Növényrendszertani, Ökológiai és Elméleti Biológiai Tanszék,
1117 Budapest, Pázmány Péter stny. 1/C; abbas.amira@outlook.com

²MTA Ökológiai Kutatóközpont, Ökológiai és Botanikai Intézet,
2163 Vácrátót, Alkotmány u. 2–4.

Elfogadva: 2018. július 4.

Kulcsszavak: *Convallaria majalis*, füstvíz, *Poa bulbosa*, *Ranunculus ficaria*, tűz.

Összefoglalás: A növényi anyag égésekor felszabaduló füst magok csírázását és a magoncok növekedését serkentő hatása az 1990-es évek óta ismert. Arról azonban még kevés ismeret áll rendelkezésre, hogy évelő növények vegetatív szaporítóképletére milyen hatással lehet a füst. Vizsgálatunkban vízben elnyeletett avarfüsttel (füstvízzel) kezeltük három lágyszárú növényfaj (*Convallaria majalis*, *Poa bulbosa*, *Ranunculus ficaria*) vegetatív szaporítóképleteit. Hipotézisünk az volt, hogy a csapvízzel nedvesített kontrollhoz képest a füstkezelés serkenti a szaporítóképletek kihajtását, ill. a kihajtott növények fejlődését. A növénynevelőben végzett kísérletben a *R. ficaria*-nál az első hajtás hosszát, az első levél átmérőjét és a levelek számát, a *C. majalis*-nál a hajtás hosszát mértük, a *P. bulbosa* esetén a kihajtott tőhagymácskák számát és a kihajtás sebességét követtük. Egyik faj esetében sem mutatkozott statisztikailag szignifikáns különbség a füstkezelt és a kontrollcsoport között, az említett változók tekintetében. Viszont a *C. majalis* növények túlélését növelte a füstkezelés, a *P. bulbosa* esetén pedig szignifikánsan kevesebb volt a penészes fiókhagymák száma a füstkezelés hatására. Vizsgálatunkban tehát sem serkentő, sem gátló hatást nem sikerült kimutatni a három faj vegetatív szaporítóképletekből történő kihajtását illetően, viszont a füst túlélést segítő hatása megmutatkozott. Ez egyben lehetőséget ad a füstkezelés egy újabb felhasználási módjára: *ex situ* fajvédelemben vegetatív szaporítóképletről történő szaporításnál nagyobb hatékonyság érhető el füstkezelés alkalmazásával. Ahhoz azonban, hogy az avarfüst hatását évelő növények vegetatív szaporítóképleteire ténylegesen megítélhessük, további vizsgálatokra van szükség fajok jóval szélesebb körének bevonásával, ill. a füstkezelés módjának változtatásával (pl. különböző füstvíz koncentrációk, légnemű füsttel történő direkt kezelés).

Bevezetés

A növényi anyag égése során felszabaduló füst hatását a növények életműködéseire számos vonatkozásban vizsgálták már. Ismert, hogy több növényfaj magjának csírázását, dormanciájának feloldását serkenti (BARGMANN et al. 2014, MOJZES és KALAPOS 2012, 2015); vegetatív hajtásának fejlődését befolyásolhatja (AREMU et al. 2012, KULKARNI et al. 2010, MALABADI et al. 2012, YEARSLEY

et al. 2018), a generatív életműködéseire is pozitívan hathat (IMANISHI és FORTANIER 1982, KEELEY 1993, PAPENFUS et al. 2014), és a termésképzést is növelheti (KULKARNI et al. 2008). A füst pozitív hatását még szomatikus embriogenezis során is tudták igazolni (SENARATANA et al. 1999, MALABADI és NATARAJA 2007). Mindezeknek a pozitív hatásoknak a háttérben vélt, fő csírázást serkentő vegyületet már sikerült izolálni (FLEMATTI et al. 2004, VAN STADEN et al. 2004). A karrikinolid (KAR_1) nevet viseli, egy butenolid típusú vegyület (FLEMATTI et al. 2009). Az aktív komponens ismerve, a füsthatásvizsgálatok kiterjedtek a gének szintjére is, a vegyület jelátviteli útvonalát kutatva, és esetleges kapcsolatát növényi hormonokkal (CHIWOCHA et al. 2009, FLEMATTI et al. 2015, LI és TRAN 2015).

A füstkezelések (légnemű füst, vagy füstvizes oldat, vagy KAR_1 -oldat) serkentő hatását számos, tűznek ki nem tett élőhelyen előforduló faj esetén is bizonyították már (MOJZES és KALAIPOS 2014, FLEMATTI et al. 2015). Sőt, a természetes vizek egyik jellemző növényfajának, a *Spirodela polyrhiza*-nak a fejlődését is képes a füst, illetve a KAR_1 befolyásolni (STIRK et al. 2016). A füst hatása adott növényfajra több vizsgálatban függetlennek bizonyult annak életformájától, elterjedésétől; mindemellett taxonómiaailag közel rokon fajoknál is gyakran eltérő válaszreakciót figyeltek meg (SPARG et al. 2005, CHIWOCHA et al. 2009; YAO et al. 2017).

A füst hatását számos természetvédelmi és gazdasági szempontból fontos faj fejlődésére vizsgálták. Általában azok magját, esetenként a kifejlődött hajtást is kezelik (pl. SPARG et al. 2005, KULKARNI et al. 2007). A vegetatív szaporítóképletből fejlődő növényfajok vizsgálata azonban még hiányos. Kérdéses, hogy ezen képletekre hogyan hat a füstkezelés. Hagymás fajokkal végeztek már kísérleteket, de ott a növényeket magról nevelték, tehát a vizsgálat a magok füstkezelésével indult (KULKARNI et al. 2010, SPARG et al. 2005). Közvetlenül a vegetatív szaporítóképlet füstkezelésére csak két korábbi tanulmányban találtunk példát. Ezekben a holland nőszirm két változatát, illetve a *Cyrtanthus ventricosus* (Jacq.) Willd. hagymáját kezelték légnemű füsttel, és mutatták ki annak virágzásra gyakorolt serkentő hatását (IMANISHI és FORTANIER 1982, KEELEY 1993).

Olyan élőhelyeken, ahol a tűz egy természetes, gyakrabban előforduló jelenség, több stratégia is létrejött a leégett terület rekolonizációjára (WELLS 1969, MONTENEGRO et al. 2004). Ezek egyike a vegetatív képletekről történő kihajtás. A mediterrán éghajlaton, ahol a tűz egy jellemző, nem ritka bolygatás, valóban megfigyelhető, hogy a száraz időszakban nyugvó állapotban levő geofitonok a növényzet leégése után képesek újra sarjadni, és a felújuló vegetáció domináns fajai lesznek. Ezt írták le például Chile mediterrán régiójában, ahol a növényzet leégését követően a fás növények eltűntével a geofiton fajok uralkodóvá válnak

(SABADIN et al. 2015). Fontos megjegyeznünk, hogy a hagymák és gumók elég mélyen vannak a talajfelszín alatt ahhoz, hogy a tűz során kialakuló magas hőmérséklet roncsoló hatása kevésbé érintse őket (MONTENEGRO et al. 2004, SABADIN et al. 2015). Így feltételezhető, hogy maga a füst is, mint a tűz egy fontos komponense, képes serkentőleg hatni egyes növényi vegetatív szaporítóképletekre. Hazánkban a természetes tüzesetek száma nem jelentős, így az itt előforduló növényfajok nincsenek kitéve gyakori tűzhatásnak. Tudjuk azonban, hogy a pozitív füstválasz ettől függetlenül jelen lehet, ezért feltételezhető, hogy ezen fajok életműködéseire is hatással lehet.

Az egyes növényfajok füstválaszának ismerete azért fontos, mert így könnyebb megjósolni, hogy a növénytakaró égését követően, hogyan alakul a vegetáció összetétele, a fajok aránya. Ennek jelentőségét növeli, hogy a klímaváltozás kapcsán várhatóan hazánkban is emelkedhet a természetben előforduló tüzek száma (PECHONY és SHINDELL 2010).

Kihasználva a füst serkentő hatását, a füstkezelés egy jó lehetőségnek bizonyul a mezőgazdasági és a konzervációbiológiai gyakorlatban is; kereskedelmi forgalomban már több csírázást segítő füstkészítmény kapható (LANDIS 2000; LIGHT et al. 2004). Az előbbieik mintájára, ha tudjuk, mely hagymák, gumók, gyöktörzsek esetében számíthatunk pozitív füsthatásra, a kertészeti gyakorlatban is fel lehetne használni a füsttechnológiát.

Saját vizsgálataink során három hazai lágyszárú növényfaj (*Ranunculus ficaria*, *Convallaria majalis*, *Poa bulbosa*) vegetatív szaporítóképletein végeztünk füstvizsgálatot. Hipotézisünk az volt, hogy kihajtásuk sebességére, ill. a fejlődő hajtás növekedésére serkentő hatással van a füst.

Anyag és módszer

Vizsgálatunkbanháromévelő lágyszárú növényfaj vegetatív szaporítóképletét tettük ki füstkezelésnek. A vegetatív szaporítóképletek a salátaboglárka (*Ranunculus ficaria* L.; Ranunculaceae) esetében a koloncosan megvastagodott gyökereik, a májusi gyöngyvirágnál (*Convallaria majalis* L.; Asparagaceae) pedig gyöktörzsek voltak, amelyek mindkét fajnál kerti kultúrából (Budapest) származtak. A természetben ez a két növényfaj leginkább üde erdőkben fordul elő. A harmadik vizsgált faj, a gumós perje (*Poa bulbosa* L.; Poaceae) esetében a hagymaszerűen megvastagodott tőhajtásokat kezeltük. Ezek a növény természetes élőhelyéről, nyílt homokpusztagyepből kerültek begyűjtésre (Fót, 2017.05.18.).

Füstkezelésként növényi eredetű füstvízzel nedvesített aljzaton hajtattuk ki a vegetatív szaporítóképleteket. A füstvizet száraz fűavar (*Festuca rubra* és *Lolium perenne*) égetésével és csapvízben elnyeletésével állítottuk elő (részletes leírás: MOJZES és KALAPOS 2014). Az így készült tömény füstvíz 1:2 v/v hígítá-

sát használtuk a kísérletek során (korábbi vizsgálatainkban ez a hígítás eredményezte a legnagyobb serkentő hatást magok csírázására).

Jelen vizsgálatunkhoz a hígított füstvíz hatásosságát előkísérletben teszteltük olyan növényfajok (*Camelina microcarpa* ANDRZ. és *Lepidium campestre* L.; Brassicaceae) magjainak csírázását vizsgálva, melyekről ismert, hogy a füstkezelés serkentő hatással van rájuk (MOJZES et al. 2015, MOJZES és KALAPOS 2014). Ezek magjait a növények természetes élőhelyéről gyűjtöttük (*L. campestre*: Börzsönyliget, 2016.07.03.; *C. microcarpa*: Fót, 2016.06.25.). A magok 2016.07.25.–2016.09.01. között száraz hidegkezelésben részesültek, hűtőszekrényben (+4 °C-on) tároltuk azokat. A kísérlet előkészítése során a kiválogatott (egészségesnek látszó, sértetlen) magok felületi sterilizálását 1:10 v/v hígítású nátrium-hipoklorit oldatban áztatással végeztük, 20 percen át, amit csapvizet leöblítés követett. A sterilizált magokat 7 cm átmérőjű Petri-csészékben, 5 réteg steril Hartmann Pehazell papírvattára helyeztük el. A csészénkénti magszám a *L. campestre* esetén 12 (n = 12), a *C. microcarpa*-nál 20 (n = 20) volt. Háromféle kísérleti beállítást alkalmaztunk: tömény füstvizes, 1:2 v/v hígítású füstvizes kezelés és csapvizet (kontroll). Minden esetből 3 ismétlést állítottunk be. A kísérlet során szükség szerint pótoltuk a kezelésnek megfelelő oldatot, illetve csapvizet. A csészéket északi tájolású laborablakban helyeztük el, ahol a magokat természetes fény érte. A laborban a léghőmérséklet átlagosan +20 ± 1 °C volt. A kicsírázott, ill. az esetlegesen penészes magokat eltávolítottuk a csészékből. Csírázottnak akkor tekintettünk egy magot, ha gyököcskéje minimum 2mm volt. Az előkísérlet a *L. campestre* esetén 2016.09.01.–2016.09.19. között, a *C. microcarpa*-nál 2016.09.08.–2016.09.26. között folyt.

A *R. ficaria* vizsgálata során 20 db, rövid hajtásrüggyel rendelkező gyökérkoloncot készítettünk elő a kísérlethez. Hideg csapvizet tisztítást követően egyenként megmértük a hajtásrügy hosszát mm-es pontossággal, ill. a levelek átmérőjét, számát is feljegyeztük azon növénykéek esetén, amelyek fejlődése már megindult. A továbbiakban is ezeket a változókat követtük figyelemmel, átlagosan 5 naponta. A gyökérkoloncokat 9 cm átmérőjű csiszolt fedelű üvegedénybe, 5 réteg steril papírvattára helyeztük. Tízet ezek közül 1:2 v/v hígítású füstvízzel, tízet csapvízzel nedvesítettünk meg (n = 10). A kísérlet folyamán a fogságnak megfelelően nedvesítettük újra a nevelőedényeket. A kísérlet 88 napig tartott, 2016.11.10-től 2017.02.13-ig.

A *C. majalis*-on végzett kísérlet előkészítése is az előbbieket szerint történt. Ennél a fajnál a hajtáshosszat mértük (mm-es pontossággal). Az adatokat 31 napig vettük fel 3-4 naponta (2017.03.10. és 2017.04.10. között).

A *P. bulbosa* hajtásának hagymaszerűen megvastagodott tövét használtuk a füstvizsgálat során. A fiókhagymákat kézzel választottuk le a begyűjtött növényekről. Tisztítást követően, 1:10 v/v hígítású nátrium-hipoklorit oldattal fer-

tőtlenítettük 20 percen át, majd csapvízzel leöblítettük. A fiókhagymákat ezután 9 cm átmérőjű Petri-csészékbe helyeztük el, 5 réteg papírvattára. Minden Petri-csészébe 20 db fiókhagyma került, kezelésként 10-10 Petri-csésze ($n = 10$). Ezeket 10 ml 1:2 v/v hígítású füstvízzel, a kontrollcsoportot 10 ml csapvízzel locsoltuk meg. A hajtás előtt a dormancia feloldása céljából a csészéket két hétig (2017.09.25.–10.09.) $+4\text{ }^\circ\text{C}$ -ra hűtőszekrénybe tettük. A hajtás során ~ 6 naponta 2,5 ml, a kezelésnek megfelelő oldattal, illetve csapvízzel nedvesítettük azokat. A kihajtott, esetleg penészes növényeket a csészékből eltávolítottuk. 2017.10.09-től 2017.11.01-ig a kihajtott tövek számát Petri-csészénként naponta feljegyeztük, így gyűjtve adatokat a fiókhagymák kihajtásának sebességéről.

Mindhárom faj esetében a hajtásokat az ELTE TTK lágymányosi épületének tetőtéri növénynevelő helyiségében végeztük, ahol egyenletes természetes megvilágítás érte azokat, átlagosan $80\ \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ fényintenzitással. A növénynevelőben a léghőmérséklet átlagosan $+21 \pm 2\text{ }^\circ\text{C}$ volt.

Az előkísérletben a különböző kezelések hatását a csírázási százaléokra ANOVA-val elemeztük és Tukey *post-hoc* teszttel mutattuk ki a kezelési csoportok közötti különbséget. A *C. microcarpa* esetén a normalitás nem mindegyik kezelési csoportra teljesült, de a kis mintaelemszám (kezelésként 3 csésze) miatt ezt nem vettük figyelembe. A *R. ficaria* esetén az első hajtások és az első levél átmérők növekményének összevetéséhez Mann–Whitney-próbát végeztünk, mivel a normalitási feltétel nem teljesült az elvégzett Shapiro–Wilk-teszt alapján. A levélszámok statisztikai összevetésénél kétmintás *t*-próbát alkalmaztunk. A kezelt és a kontrollcsoport összehasonlításához a *C. majalis* esetében a két csoport varianciájának eltérése miatt Welch-próbát, a *P. bulbosa*-nál a fiókhagymák kihajtási százaléka kétmintás *t*-próbát használtunk. Ennél a vizsgálatnál a penészes fiókhagymák arányát is értékeltük a két csoportban, Mann–Whitney-próbával vizsgáltuk meg az eltérés mértékét. A *P. bulbosa*-nál a kihajtási sebesség meghatározásához a fiókhagymák 50%-ának kihajtásához szükséges napok számát vettük össze Mann–Whitney-próbával (a normalitási feltétel sérülése miatt). A szignifikancia szint minden statisztikai próbánál $p = 0,05$ volt. A statisztikai analízist az R 3.2.2 programmal végeztük el (R Core Team 2015).

Eredmények

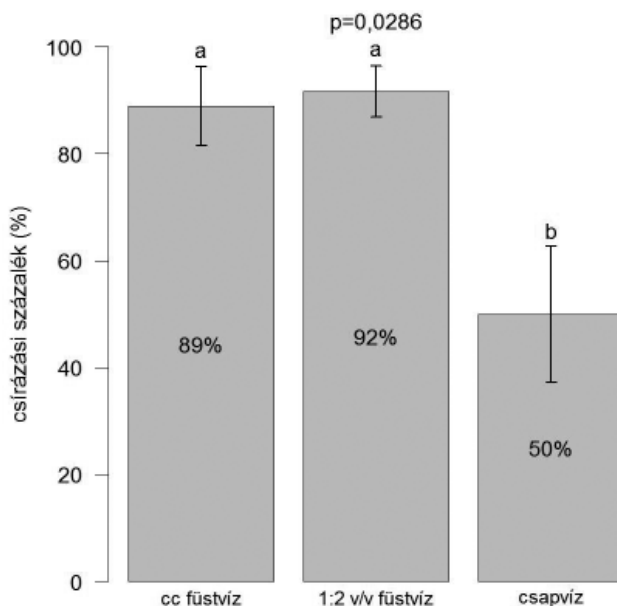
Az előkísérletben a füstvíz serkentő hatását sikerült igazolni: mindkét fajtánál, a füstvízzel kezelt magok mindkét hígításban szignifikánsan nagyobb arányban csíráztak, mint a csapvízzel öntözött kontroll esetében (1. és 2. ábra). A *L. campestre* esetén a két füstkezelés hasonlóan hatásosnak bizonyult, a csírázott magok száma 1,8-szor több volt a kontrollcsoportnál. A *C. microcarpa*-nál a tö-

mény füstvíz kilencszeres, az 1:2 hígítás hatszoros csírázásnövekedést eredményezett a kontrollhoz képest.

A *R. ficaria* első hajtások hossznövekedésében, a levelek számában és az első levelek átmérőjének növekményében nem volt szignifikáns különbség a füstvízzel kezelt és a kontroll között (3., 4. és 5. ábra).

A *C. majalis* esetében a füstkezelt növények túlélése nagyobb volt a kísérlet felszámolásáig, 7 db élt túl, míg a kontrollcsoportból csak 5 db. A hajtáshossz növekményében nem tapasztaltunk szignifikáns eltérést a füstkezelt és a kontrollcsoport között (6. ábra).

A *P. bulbosa*-nál a füstkezelt csoport átlagos hajtási aránya 61%, míg a kontrollcsoporté 65% volt. Ezek között nem szignifikáns a különbség ($p = 0,681$). A füstvizes kezelés esetén az átlagos kihajtási sebesség 2,95 nap, a kontrollcsoportnál kicsit több, 3,25 nap volt (7. ábra). A kihajtási sebességet tekintve sem volt szignifikáns különbség a két csoport között ($p = 0,4475$). Feltűnően nagyobb volt a penészes fiókhagymák aránya a csapvízzel öntözött növényeknél (85%, azaz 17 db), mint a füstkezeltéknél (35%, azaz 7 db). Ez statisztikailag szignifikáns különbséget mutatott (Mann-Whitney- próba, $p = 0,0489$).



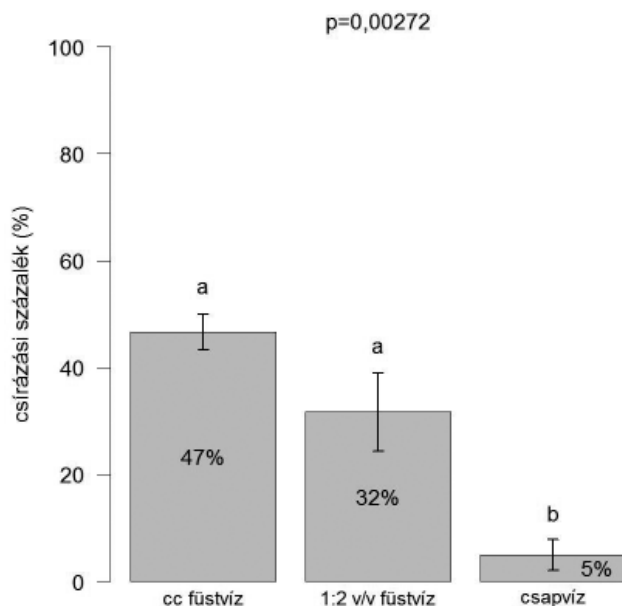
1. ábra. *Lepidium campestre* átlagos csírázási százaléka (\pm SE) előállítási töménységű, ill. 1:2 v/v hígítású füstvizes kezelésekre hatására, valamint csapvizes (kontroll) közegben. Az oszlopok felett különböző betűkkel jelöltük a szignifikánsan eltérő átlagokat ($p < 0,05$, Tukey próba alapján).

Fig. 1. The effect of smoke-water treatments on the mean germination percentage (\pm SE) of *Lepidium campestre*. 'cc füstvíz', '1:2 v/v füstvíz' and 'csapvíz' means undiluted smoke-water, 1:2 v/v smoke-water and control (tap water) group, respectively. Columns with different letters have significantly different mean germination percentage ($p < 0.05$; according to Tukey's post-hoc test).

Megvitatás

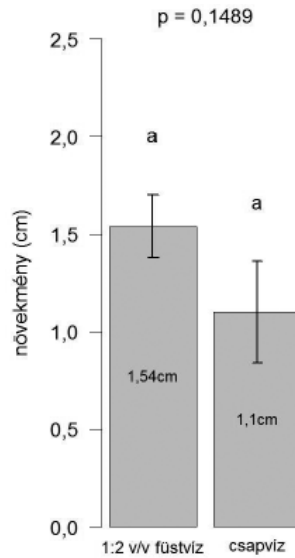
Kísérletünk nem igazolta hipotézisünket, a vizsgálatba vont három növényfaj (*Convallaria majalis*, *Poa bulbosa* és *Ranunculus ficaria*) vegetatív szaporítóképleteinek kihajtására nem volt pozitív hatással az alkalmazott füstvizes kezelés. A *R. ficaria* és a *C. majalis* fajoknál nem volt megfigyelhető eltérés a hajtások fejlődési ütemében a kontrollcsoportéhoz képest. A *P. bulbosa* esetében pedig nem volt gyorsabb a füstkezelt fiókhagymák kihajtása a csapvizes csoportéhoz viszonyítva. Ez elvben magyarázható azzal, hogy a füst a vegetatív szaporítóképletekre nincs serkentő hatással. De ez az általános következtetés mégsem vonható le csupán három növényfaj egyféle füstkezelés vizsgálatára alapján.

A növényi eredetű füst vegetatív szaporítóképletekre gyakorolt hatását még alig vizsgálták. Két ilyen tanulmányt ismerünk, de ezek sem a szaporítóképlet kihajtására, hanem az abból kifejlődött növény generatív hajtásának fejlődésére fókuszálnak. *Iris* fajtákról megállapították, hogy virágzásukat serkenti a füst. Két kertészeti változat esetén megfigyelték, hogy a hagymák 4 napos légnemű füstkezelését követően a kezelt egyedek 100%-a virágzott, szemben az etilénnel kezelt



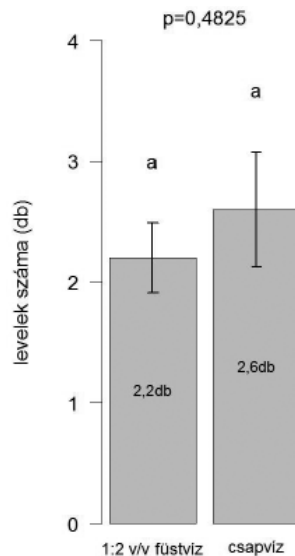
2. ábra. *Camelina microcarpa* átlagos csírázási százaléka (\pm SE) előállítási töménységű, ill. 1:2 v/v hígítású füstvizes kezelésekre, valamint csapvizes (kontroll) közegben. Az oszlopok felett különböző betűkkel jelöltük a szignifikánsan eltérő átlagokat ($p < 0,05$, Tukey-próba alapján).

Fig. 2. The effect of undiluted smoke-water ('cc füstvíz'), 1:2 v/v smoke-water ('1:2 v/v füstvíz') and tap water (control; 'csapvíz') on the mean germination percentage (\pm SE) of *Camelina microcarpa*. Columns with different letters have significantly different mean germination percentage ($p < 0,05$; according to Tukey's post-hoc test).



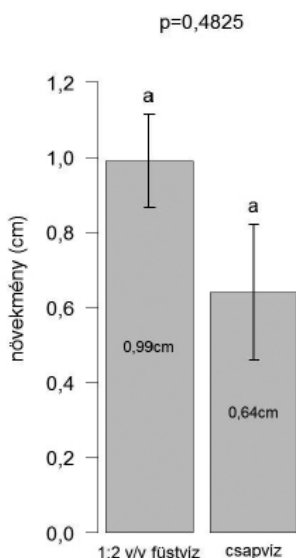
3. ábra. *Ranunculus ficaria* első hajtásának átlagos növekménye (\pm SE) 1:2 v/v füstvizes oldat és csapvizes öntözés (kontroll) hatására. Az oszlopok feletti betűk a szignifikánsan eltérő, ill. azonos átlagú csoportokat jelölik ($p < 0,05$).

Fig. 3. The effect of 1:2 v/v smoke-water ('1:2 v/v füstvíz') and tap water (control; 'csapvíz') on the increment of first shoot length (mean \pm SE) for *Ranunculus ficaria*. Letters above the columns indicate significantly different or identical groups ($p < 0.05$).



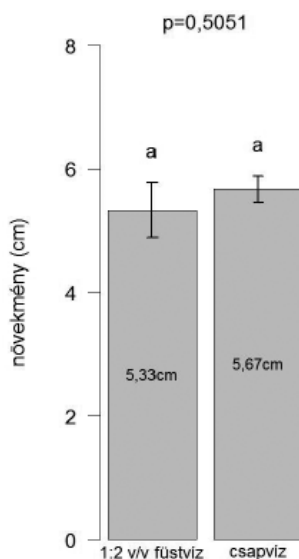
4. ábra. *Ranunculus ficaria* leveleinek átlagos száma (\pm SE) 1:2 v/v füstvizes oldat és csapvizes öntözés (kontroll) hatására. Az oszlopok feletti betűk a szignifikánsan eltérő, ill. azonos átlagú csoportokat jelölik ($p < 0,05$).

Fig. 4. The effect of 1:2 v/v smoke-water ('1:2 v/v füstvíz') and tap water (control; 'csapvíz') on the number of leaves (mean \pm SE) for *Ranunculus ficaria*. Letters above the columns indicate significantly different or identical groups ($p < 0.05$).



5. ábra. Az első levél átmérőjének átlagos növekménye (\pm SE) a *Ranunculus ficaria*-nál 1:2 v/v füstvizes oldat és csapvizes öntözés (kontroll) hatására. Az oszlopok feletti betűk a szignifikánsan eltérő, ill. azonos átlagú csoportokat jelölik ($p < 0,05$).

Fig. 5. The effect of 1:2 v/v smoke-water ('1:2 v/v füstvíz') and tap water (control; 'csapvíz') on the increment of the first leaf's diameter (mean \pm SE) for *Ranunculus ficaria*. Letters above the columns indicate significantly different or identical groups ($p < 0.05$).

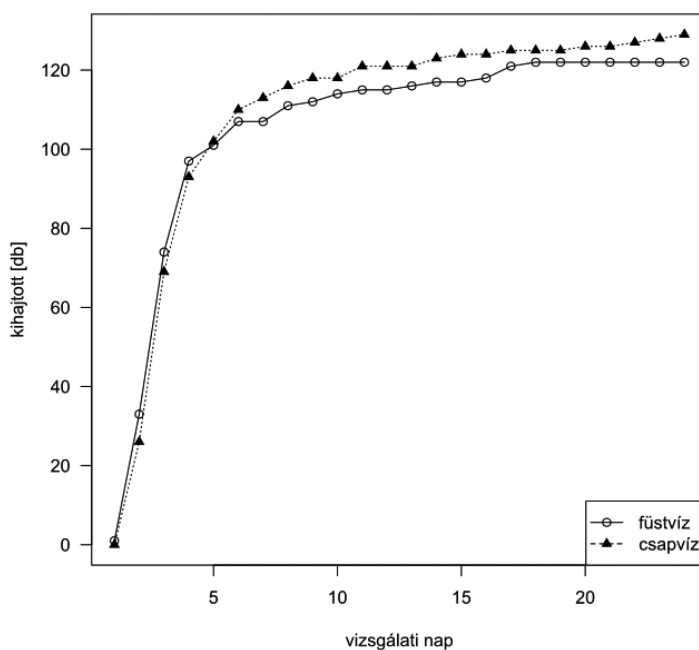


6. ábra. *Convallaria majalis* hajtásának átlagos növekménye (\pm SE) 1:2 v/v füstvizes oldat és csapvizes öntözés (kontroll) hatására. Az oszlopok feletti betűk a szignifikánsan eltérő, ill. azonos átlagú csoportokat jelölik ($p < 0,05$).

Fig. 6. The effect of 1:2 v/v smoke-water ('1:2 v/v füstvíz') and tap water (control; 'csapvíz') on the increment of shoot length (mean \pm SE) for *Convallaria majalis*. Letters above the columns indicate significantly different or identical groups ($p < 0.05$).

példányokkal és a kontrollcsoporttal, ahol ez kisebb arányban volt tapasztalható. Emellett a virágzás is hamarabb indult meg pár nappal a kontrollcsoporthoz képest a füst hatására (IMANISHI és FORTANIER 1982). A tűzhöz obligát módon kötött virágzású, geofiton *Cyrtanthus ventricosus* esetén kísérletesen sikerült igazolni, hogy a virágzás megindítását a füst idézi elő (KEELEY 1993). A kísérlet során a vegetatív stádiumban levő növényeket füstkamrába helyezték el. A virágzás néhány napon belül megindult a füstkezelte növényeknél, míg az etilén kezelésekben részesült példányoknál és a kontroll csoport tagjainál, ahol egy hónap elteltével sem jelentek meg virágok. Mindkét tanulmány szerint a füst pozitív hatással volt a geofiton fajokra, de ez esetben nem a vegetatív hajtás, hanem a reproduktív szervek fejlesztésére.

Különböző életformájú fynbos fajok füstthatásvizsgálata során azt találták, hogy a geofitonok magjainak csírázására hat a legkevésbé a füst; a csírázást azoknál a fajoknál serkentette leginkább, amelyek a tűz után kizárólag magról képesek regenerálódni (BROWN et al. 2003). Saját, geofiton fajokkal végzett kísérletünk eredményének értékelése szempontjából azonban fontos szem előtt tartani, hogy a fynbos fajokra vonatkozó tanulmányban nem a vegetatív szaporítóképletekből történő kihajtást, hanem a magok csírázását vizsgálták.



7. ábra. *Poa bulbosa* kihajtott fiókhagymáinak száma az eltelt napok függvényében füstvizes oldat (1:2 v/v) és csapvizes öntözés (kontroll) hatására.

Fig. 7. The effect of 1:2 v/v smoke-water (smooth line and circles) in comparison to tap water (control; dashed line and triangles) on the cumulative number of sprouted *Poa bulbosa* bulbils as a function of elapsed days.

A kapott eredményeink háttérében állhat az is, hogy a jelen tanulmányban vizsgált fajok esetén a füst mint jel ténylegesen semleges. Tekintve, hogy a *C. majalis* és a *R. ficaria* természetes élőhelye üde erdő, ahol a tűz nem gyakori jelenség, elképzelhető, hogy a pozitív füstválasz, mint jelleg nem alakult ki náluk. Ugyanakkor fontos szem előtt tartani, hogy a pozitív füstválasz nem csak a tűznek kitett élőhelyek növényfajainak ismérve (MOJZES és KALAPOS 2014, FLEMATTI et al. 2015).

Ismert jelenség, hogy a füst vizes oldata különböző hatással lehet a növények fejlődésére az oldat töménységétől függően (pl. AREMU et al. 2012). Bár a KAR_1 , ami a füstvíz fő csírázást serkentő komponense, már nagyon alacsony (akár 10^{-9} M) koncentrációban is serkentő hatással lehet a csírázásra (FLEMATTI et al. 2004, VAN STADEN et al. 2004), nem szabad elfelejteni, hogy a füstvíz egy komplex összetételű oldat. Több olyan vegyületet tartalmaz, ami a növények fejlődését befolyásolhatja. Ezek egyike a 3,4,5-trimetilfurán-2(5H)-on (trimetilbutenolid, TMB), ami egy csírázást gátló anyag (LIGHT et al. 2010). Kísérletesen kimutatták, hogy többek között az abszcizinsav bioszintézisében kulcsszerepet betöltő enzimek génjeit indukálja, a nyugalmi állapot fenntartását segíti így elő. A TMB a KAR_1 vegyülettel ellentétesen hat a magok csírázásában, érésében, valamint dormanciájának fenntartásban szerepet játszó génekre (SOÓS et al. 2012). A TMB azonban csak egy bizonyos koncentrációtartományban (a *Lactuca sativa* csíráztatási vizsgálata során 10 és 100 μ M között; LIGHT et al. 2010) fejt ki hatását és lehetséges, hogy esetenként a töményebb füstvíz a várt serkentés helyett már gátló hatású. Ezek alapján feltételezhető, hogy a növények vegetatív szaporítóképleteire a füstvíz egy másik koncentrációtartományban van serkentő hatással. Lehetséges, hogy az általunk használt oldat, ami az előkísérletben a magok csírázását nagyban növelte, más hígítási arány esetén – hígabb vagy töményebb oldatban – lenne képes serkenteni a vizsgált fajok fejlődését.

Vizsgálataink során a *C. majalis* növények túlélése nagyobb volt a füstkezelt csoportban, és a penészes *P. bulbosa* fiókhagymák száma szignifikánsan kisebb volt a kezelt csoportban. A füstkezelés túlélést segítő hatását több tanulmányban leírták már (pl. SPARG et al. (2005), két hagymás növényfajnál). A füst, serkentve az adott növényfaj fejlődését, életerősségét, feltételezhetően a növény ellenálló képességét is erősíti a kártevőkkel szemben. Saját vizsgálataink során nem tapasztaltunk szignifikáns pozitív füsthatást sem a *C. majalis*, sem a *P. bulbosa* fejlődése tekintetében. A füst kórokozókkal szembeni védő hatása is ismert (KULKARNI et al. 2011), ami magyarázatot adhat az általunk megfigyelt túlélést növelő hatás háttérére, és a füstkezelés egy újabb alkalmazási lehetőségére mutat rá. Annak ellenére, hogy a füst nincs hatással a kihajtás sikerére, vagy annak sebességére, felületi fertőtlenítő hatását fel lehet használni a növények vegetatív szaporításánál. Ez különösképpen olyan *ex situ* fajmegőrzési programok esetén lehet fontos, ahol az adott fajok kis propagulumkészlete miatt vegetatív szaporítóképleteket használnak.

Az általunk végzett kísérletek során a vegetatív szaporítóképletek füstkezelése után nem tapasztaltunk gyorsabb és nagyobb arányú kihajtást, és a kihajtott növények fejlődésében sem mutatkozott pozitív változás. Ahhoz azonban, hogy alaposabban megismerjük a füst vegetatív szaporítóképletekre gyakorolt hatását, további vizsgálatokra van szükség. Az újabb kísérleteket szélesebb fajkészleten, ill. többféle füstkezelés, pl. légnemű füst, több különböző hígítású füstoldat alkalmazásával lenne célszerű elvégezni.

Köszönetnyilvánítás

Köszönjük a két névtelen lektor véleményét és javaslatait a kéziratához. Tamás Júliának a szöveg gondos átolvasásáért és javításáért vagyunk hálásak.

Irodalomjegyzék

- AREMU A. O., KULKARNI M. G., BAIRU M. V., FINNIE J. F., VAN STADEN J. 2012: Growth stimulation effects of smoke-water and vermicompost leachate on greenhouse grown-tissue-cultured 'Williams' bananas. *Plant Growth Regulation* 66(2): 111–118. <https://doi.org/10.1007/s10725-011-9634-6>
- BARGMANN T., MAREN I. E., VANDVIK V. 2014: Life after fire: smoke and ash as germination cues in ericads, herbs and graminoids of northern heathlands. *Applied Vegetation Science* 17(4): 670–679. <https://doi.org/10.1111/avsc.12106>
- BROWN N. A. C., VAN STADEN J., DAWS M. I., JOHNSON T. 2003: Patterns in the seed germination response to smoke in plants from the Cape Floristic Region, South Africa. *South African Journal of Botany* 69(4): 514–525. [https://dx.doi.org/10.1016/S0254-6299\(15\)30289-1](https://dx.doi.org/10.1016/S0254-6299(15)30289-1)
- CHIWOCHA S. D. S., DIXON K. W., FLEMATTI G. R., GHISALBERTI E. L., MERRITT D. J., NELSON D. C., RISEBOROUGH J.-A. M., SMITH S. M., STEVENS J. C. 2009: Karrikins: A new family of plant growth regulators in smoke. *Plant Science* 177(4): 252–256. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2009.06.007>
- FLEMATTI G. R., DIXON K. W., SMITH S. M. 2015: What are karrikins and how were they 'discovered' by plants? *BMC Biology* 13(1): 1–7. <https://doi.org/10.1186/s12915-015-0219-0>
- FLEMATTI G. R., GHISALBERTI E. L., DIXON K. W., TRENGOVE R. D. 2004: A compound from smoke that promotes seed germination. *Science* 305(5686): 977. <https://doi.org/10.1126/science.1099944>
- FLEMATTI G. R., GHISALBERTI E. L., DIXON K. W., TRENGOVE R. D. 2009: Identification of alkyl substituted 2 H-furo [2, 3-c] pyran-2-ones as germination stimulants present in smoke. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 57(20): 9475–9480. <https://doi.org/10.1021/jf9028128>
- IMANISHI H., FORTANIER E. J. 1982: Effects of an exposure of bulbs to ethylene and smoke on flowering Duch Iris. *Bulletin of the University of Osaka Prefecture Ser. B, Agriculture and biology* 34: 1–5.
- KEELEY J. E. 1993: Smoke-induced flowering in the fire-lily *Cyrtanthus ventricosus*. *South African Journal of Botany* 59(6): 638. [https://doi.org/10.1016/S0254-6299\(16\)30681-0](https://doi.org/10.1016/S0254-6299(16)30681-0)
- KULKARNI M. G., ASCOUGH G. D., VAN STADEN J. 2007: Effects of foliar applications of smoke-water and a smoke-isolated butenolide on seedling growth of okra and tomato. *HortScience* 42(1): 179–182.

- KULKARNI M. G., ASCOUGH G. D., VAN STADEN J. 2008: Smoke-water and a smoke-isolated butenolide improve growth and yield of tomatoes under greenhouse conditions. *HortTechnology* 18(3): 449–454.
- KULKARNI M. G., ASCOUGH G. D., VERSCHAEVE L., BAETEN K., ARRUDA M. P., VAN STADEN J. 2010: Effect of smoke-water and a smoke-isolated butenolide on the growth and genotoxicity of commercial onion. *Scientia Horticulturae* 124(4): 434–439.
<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2010.02.005>
- KULKARNI M. G., LIGHT M. E., VAN STADEN J. 2011: Plant-derived smoke: old technology with possibilities for economic applications in agriculture and horticulture. *South African Journal of Botany* 77(4): 972–979. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2011.08.006>
- LANDIS T. D. 2000: Where there's smoke... there's germination? *Native Plants Journal* 1(1): 25–29.
- LI W., TRAN L-S. P. 2015: Are karrikins involved in plant abiotic stress responses? *Trends in Plant Science* 20(9): 535–538. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2015.07.006>
- LIGHT M. E., BURGER B. V., STAERK D., KOHOUT L., VAN STADEN J. 2010: Butenolides from plant-derived smoke: natural plant-growth regulators with antagonistic actions on seed germination. *Journal of Natural Products* 73: 267–269. <https://doi.org/10.1021/np900630w>
- LIGHT M. E., VAN STADEN J., BORNMAN C. H. 2004: The potential of smoke in seed technology. *South African Journal of Botany* 70(1): 97–101.
[https://dx.doi.org/10.1016/S0254-6299\(15\)30311-2](https://dx.doi.org/10.1016/S0254-6299(15)30311-2)
- MALABADI R. B., METI N. T., MULGUND G. S., NATARAJA K., KUMAR S. V. 2012: Smoke saturated water promoted *in vitro* seed germination of an epiphytic orchid *Oberonia ensiformis* (Rees) Lindl. *Research in Plant Biology* 2(5): 32–40.
- MALABADI R. B., NATARAJA K. 2007: Smoke-saturated water influences somatic embryogenesis using vegetative shoot apices of mature trees of *Pinus wallichiana* A. B. Jacks. *Journal of Plant Science* 2: 45–53.
- MOJZES A., CSONTOS P., KALAIPOS T. 2015: Is the positive response of seed germination to plant-derived smoke associated with plant traits? *Acta Oecologica* 65–66: 24–31.
<https://doi.org/10.1016/j.actao.2015.05.001>
- MOJZES A., KALAIPOS T. 2012: A vegetáció égésekor keletkező füst szerepe a növények regenerációjában. *Tájökológiai Lapok* 10(2): 247–270.
- MOJZES A., KALAIPOS T. 2014: Plant-derived smoke stimulates germination of four herbaceous species common in temperate regions of Europe. *Plant Ecology* 215(4): 411–415.
<https://doi.org/10.1007/s11258-014-0311-5>
- MOJZES A., KALAIPOS T. 2015: Plant-derived smoke enhances germination of the invasive common milkweed (*Asclepias syriaca* L.). *Polish Journal of Ecology* 63(2): 280–285.
<https://doi.org/10.3161/15052249PJE2015.63.2.011>
- MONTENEGRO G., GINOCCHIO R., SEGURA A., KEELEY J. E., GOMEZ M. 2004: Fire regimes and vegetation responses in two Mediterranean-climate regions. *Revista Chilena de Historia Natural* 77(3): 455–464.
- PAPENFUS H. B., KUMARI A., KULKARNI M. G., FINNIE J. F., VAN STADEN J. 2014: Smoke-water enhances *in vitro* pollen germination and tube elongation of three species of Amaryllidaceae. *South African Journal of Botany* 90: 87–92. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2013.10.007>
- PECHONY O., SHINDELL D. T. 2010: Driving forces of global wildfires over the past millennium and the forthcoming century. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 107(45): 19167–19170. <https://doi.org/10.1073/pnas.1003669107>
- R Core Team 2015: R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.

- SABADIN P., GÓMEZ M., GINOCCHIO R., PEÑA I., MUJICA A. M., MONTENEGRO G. 2015: Effect of fire on herbaceous “matorral” vegetation of Central Chile. *Ciencia e Investigación Agraria* 42(3): 415–425. <https://doi.org/10.4067/S0718-16202015000300010>
- SENARATANA T., DIXON K., BUNN E., TOUCHELL D. 1999: Smoke-saturated water promotes somatic embryogenesis in geranium. *Plant Growth Regulation* 28: 95–99. <https://doi.org/10.1023/A:1006213400737>
- SOÓS V., SEBESTYÉN E., POSTA M., KOHOUT L., LIGHT M. E., VAN STADEN J., BALÁZS E. 2012: Molecular aspects of the antagonistic interaction of smoke-derived butenolides on the germination process of Grand Rapids lettuce (*Lactuca sativa*) achenes. *New Phytologist* 196(4): 1060–1073. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2012.04358.x>
- SPARG S. G., KULKARNI M. G., LIGHT M. E., VAN STADEN J. 2005: Improving seedling vigour of indigenous medicinal plants with smoke. *Bioresource Technology* 96(12): 1323–1330. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2004.11.015>
- STIRK W. A., KULKARNI M. G., VAN STADEN J. 2016: Effect of smoke-derived extracts on *Spirodela polyrrhiza*, an aquatic plant grown in nutrient-rich and -depleted conditions. *Aquatic Botany* 129: 31–34. <https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2015.11.004>
- VAN STADEN J., JAGER A. K., LIGHT M. E., BURGER B. V. 2004: Isolation of the major germination cue from plant-derived smoke. *South African Journal of Botany* 70(4): 654–659. [https://doi.org/10.1016/S0254-6299\(15\)30206-4](https://doi.org/10.1016/S0254-6299(15)30206-4)
- WELLS P. V. 1969: The relation between mode of reproduction and extent of speciation in woody genera of the California chaparral. *Evolution* 23(2): 264–267. <https://dx.doi.org/10.2307/2406790>
- YAO L., NAETH M. A., MOLLARD F. P. O. 2017: Ecological role of pyrolysis by-products in seed germination of grass species. *Ecological Engineering* 108(2017): 78–82. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2017.08.018>
- YEARSLEY E. M., FOWLER W. M., HE T. 2018: Does smoke water enhance seedling fitness of serotinous species in fire-prone southwestern Western Australia? *South African Journal of Botany* 115: 237–243. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2017.09.012>

Effect of plant derived smoke on the sprouting of asexual reproductive organs for three herbaceous perennial plant species

A. F. ABBAS¹, A. MOJZES², T. KALAIPOS¹

¹Department of Plant Systematics, Ecology and Theoretical Biology, Institute of Biology, Loránd Eötvös University, H-1117 Budapest, Pázmány P. stny 1/C, Hungary; abbas.amira@outlook.com

²MTA Centre for Ecological Research, Institute of Ecology and Botany, H-2163 Vácrátót, Alkotmány u. 2–4, Hungary

Accepted: 4 July 2018

Key words: *Convallaria majalis*, fire, *Poa bulbosa*, *Ranunculus ficaria*, smoke-water.

It is known since the 1990s that smoke from burning plant biomass can enhance seed germination or seedling growth for numerous plant species. However, our understanding of the effect of plant-derived smoke on the sprouting of asexual reproductive organs is insufficient. In a laboratory experiment, we tested the hypothesis if smoke treatment (applied as aqueous smoke solution, i.e. smoke-water) enhances sprouting of the asexual reproductive organ for three herbaceous perennial plant species: *Convallaria majalis* L., *Poa bulbosa* L. and *Ranunculus ficaria* L. The smoke treated plant organ was rhizome (*C. majalis*), bulbous shoot base (*P. bulbosa*) or tuberous root (*R. ficaria*). We recorded first shoot length, first leaf diameter and number of leaves for *R. ficaria*, shoot length for *C. majalis*, and rate and speed of sprouting for *P. bulbosa*. For none of the species and recorded variables had the smoke treatment significant difference compared to control (moistened with tap water). However, the smoke treated *P. bulbosa*'s survival was significantly higher, and a higher number of *C. majalis* individuals compared to control remained alive until the end of the experiment.

Thus, our results do not support the hypothesis on the positive effect of plant-derived smoke on the sprouting of asexual reproductive organs. However, the beneficial smoke effect on the survival was shown. This latter result opens an opportunity to use smoke technology in a new aspect: in *ex situ* conservation programs using propagation from asexual reproductive organs, greater efficiency can be achieved with smoke treatment. Nevertheless, these results are far insufficient to draw a general conclusion on the issue. Further studies are needed involving a much larger number of plant species and various smoke treatments (e.g. aerosol smoke or different dilutions of smoke-water).