

SZEMLE**Review****A rövid vágásfordulójú fűz ültetvények növekvő jelentősége a kibontakozó új agrárvilágban**

¹DUDITS DÉNES – ¹ZOMBORI ZOLTÁN – ¹NAGY BETTINA – ¹FERENC GYÖRGYI-
¹LÁSZLÓ NIKOLETT – ²GYURICZA CSABA
¹HUN-REN Szegedi Biológiai Kutatóközpont
Növénybiológiai Intézet, Szeged
²Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem
Növénytermesztési-tudományok Intézet, Gödöllő.

Összefoglalás

Napjaink tapasztalata egyértelműen tanúsítja, hogy a növénytermesztés kulcsszereplő világunk számos kihívásának kezelésében. Elvitathatatlan hatásai vannak a klímaváltozásnak, ami kiszámíthatatlanul befolyásolja a termésbiztonságot és így a gazdasági növények termesztésének gazdaságosságát. A környezettudatosság mind jobban átformálja a növénytermesztési technológiákkal szembeni elvárásokat. A megújuló energiatermelésben a növények kikerülhetetlen szereplők, még akkor is, ha a napenergia és atomenergia hasznosítása áll a jelenlegi fejlesztések középpontjában. A vegyszerhasználat csökkentése szintén részese az egészséges élelmiszerek előállításának. Kérdés, hogy az agrárium képes-e olyan innovatív technológiák bevezetésére, amelyek hozzá tudnak járulni az említett elvárások teljesítéséhez.

A jelen tanulmány célja, hogy bemutassa: a rövid vágásfordulójú energiafűz nemesített változatainak (*Salix* sp) termesztése miért érdemel a mostaninál nagyobb figyelmet az aktuális problémáink kezelésében. Bemutatjuk, hogy a precíziós nemesítés miként szolgálhatja az energiafűz ültetvények biogáz hozamának növelését, ami az energiafűz alapanyagok szélesebb körű felhasználását támogatja. A szikes

területeken a só toleráns fűz genotípusok telepítése számos környezeti előnnyel járhat. Napjainkban a növény biostimulátorok alkalmazása egyre inkább előtérbe kerül. A fűz hajtásokból készített vizes kivonat stimulálhatja a kukorica növények növekedését és szemtermését.

A sokirányú hasznosítási lehetősége megerősíti azt, hogy az energiafűz telepítését a marginális területeken előtérbe helyezték a magyar gazdák.

Kulcsszavak: rövid vágásfordulójú energiafűz, biomassza, biometán, sótolerancia, biostimuláció

The growing importance of short-rotation willow plantations in today's changing agriculture

¹D. DUDITS - ¹Z. ZOMBORI - ¹B. NAGY - ¹GY. FERENC -

¹N. LÁSZLÓ - ²CS. GYURICZA

¹HUN-REN Biological Research Centre,
Plant Biology Institute, Szeged

²Hungarian University of Agriculture and Life Sciences,
Institute of Agronomy, Gödöllő

Summary

Today's experience clearly shows that crop production plays a key role in solving many of the challenges our world is facing. The effects of climate change are undeniable, as they influence yield stability in unpredictable ways and therefore also the profitability of growing crops. Growing environmental awareness is also changing the expectations towards crop production technologies. Plants remain important in renewable energy production, even though solar and nuclear energy are the main focus of current developments. Reducing the use of chemicals is also an important part of producing healthy food. The question is whether agriculture can introduce innovative technologies that help to meet these expectations.

The aim of this study is to explain why the cultivation of improved short-rotation willow (*Salix* sp.) deserves more attention in addressing today's problems. We show how precision breeding can help to increase the biogas yield of energy tree

plantations, which supports the wider use of willow as a raw material. On saline soils, planting salt-tolerant willow genotypes can provide several environmental benefits. Nowadays, the use of plant biostimulants is becoming more common. Aqueous extracts made from willow shoots can stimulate the growth and grain yield of maize plants.

The many possible ways of using willow confirm that Hungarian farmers should give more priority to establishing willow plantations on marginal lands.

Keywords: short rotation energy willow, biomass, biomethane, salt tolerance, biostimulation

A rövid vágásfordulóú, sarjaztatásos energetikai fás ültetvények (SEFÜ), mint különleges állandó kultúrák

Ha a fa alapú energiatermelés kerül szóba, akkor az erdők fájának elégetésére gondolunk. Az ilyen gyakorlat számos kedvezőtlen következménnyel jár. A klímaváltozás mérséklésében az erdők kiemelt szerepet játszanak, melyek a légköri széndioxid megkötésével első számú tényezői a klímavédelemnek. Ezért fontos az erdők telepítése és a faállomány megőrzése. Ugyanakkor szükség van a fa biomasszában tárolt szén, mint energiaforrás felhasználására. Fontos alternatívát nyújtanak a rövid vágásfordulóú, sarjaztatásos energetikai ültetvények, amelyekben egyes fafajok (pl. nyár, fűz, kőris, éger, juhar) speciális agrotechnológiával nevelhetők. A sűrű állományban telepített növények visszavágás utáni sarjadási képessége évenként biztosítja az új hatások kifejlődését. Ezek már az első tenyésztési időszak végére elfásodnak és így fák biomasszaként hasznosíthatóak. Az *1. fotó* egy ilyen energiafűz állományt mutat be.

A rövid vágásfordulóú fa energiaültetvények jelentőségét nagyban növeli az a tény, hogy javítják egy adott élőhely értékét, csökkentik a károsanyag kibocsátást, mérsékelhetik a földklímájában várhatóan bekövetkező változásokat, továbbá mérsékelik Magyarország importfüggőségét. Egy korábbi tanulmány kötet [*Dudits Dénes és Gyuricza Csaba (szerk.): 2023. Zöld Úton: a klíma- és energiaválság kezelésében*] részletes betekintést ad az ilyen ültetvények telepítésére alkalmas növényfajokról, a művelési technológiákról, a biogáztermelésben történő hasznosításról. Ahhoz, hogy a

SEFÜ agrotechnológia tényleges szerepét és jelentőségét meg lehessen ítélni, érdemes a biomassza hasznosítás legfrissebb adatait elemezni.

1. fotó. *Az energiafűz ültetvény fás hajtásai*



Picture 1. Woody biomass from energy willow plantations

Energetikai célra Magyarországon 2024. évben 6,37 millió tonna biomasszát használtak fel. Az erőművek, fűtőművek és ipari kazánok 1,01 millió tonna fa alapanyagot égettek el. Ehhez járul a közel 1 millió tonna tűzifa felhasználás (Kohut 2025). Ezek az adatok korántsem a környezetbarát hasznosítást mutatják. A felhasznált fa szinte kizárólag hagyományos erdészeti művelésből származik. A biogáz üzemek a tavalyi évben 3,9 millió tonna biomasszát használtak fel elsősorban szennyvíziszap formában. Mivel a SEFÜ telepítések támogatása 2010 óta felfüggesztésre került az ilyen ültetvények ritkán fordulnak elő az országban, főként kísérleti célokat szolgálnak. Alapvetően új helyzetet teremtett 2023-ban a KAP Stratégiai Terv

keretében indult Agro-ökológiai Program (AÖP), amely a különleges állandó kultúra kategóriába sorolta a rövid vágásfordulójú sarjzattatásos energetikai ültetvényeket, amelyek támogatást kaphatnak. Ez is indokolja, hogy az energiafűz példájának bemutatásával a jelen tanulmányban rávilágítsunk ennek az agro-erdészeti technológiának néhány jellemzőjére.

A faapríték mint metán biogáz alapanyag

Bár az idézett statisztikák szerint a fa égetésével történő hőtermelés az elsődleges hasznosítási mód, indokolt környezetbarát alternatívák kutatása és alkalmazása. A SEFÜ fahozamának felhasználása fermentációval történő biometán termelésre a mostaninál sokkal nagyobb figyelmet érdemelne. A hozam növelését célzó hazai kutatások számos lehetőségre mutatnak rá (*Bagi és Kovács 2023*). Az energiafűz biogáz hozama fajta- és genotípusfüggő és heterózis nemesítéssel javítható a triploid hibridek faaprítékából nyerhető metán hozama (*Dudits et al. 2022*). Az összehasonlító analízis azt mutatja, hogy az alacsonyabb lignintartalmú fűz genotípus faaprítékának anaerob fermentációja hatékonyabb. Ezért indokolt a csökkent lignintartalmú genotípusok nemesítése. A hagyományos nemesítési módszereket ma már kiegészítik a precíziós módszerek, amelyekkel egy adott gén szerkezetét specifikusan lehet kialakítani. Természetesen ehhez ismerni kell a lignin szintézisben szerepet játszó enzimeket és az azokat kódoló gének működését. Az *1. ábra* példaként bemutatja, hogy a lignin-bioszintézis egyik kulcsenzimének (fahéjalkohol-dehidrogenáz, *CAD*) milyen a kifejeződési szintje az egyes energiafűz genotípusok fás hajtásaiban (*László 2020*). A kémiai analízis szerint az Inger, a tetraploid PH20/11 és a triploid TH22 vonalak mutattak alacsonyabb lignintartalmat (ADL – sav detergens lignin). Bizonyos kapcsolat látható a két paraméter között.

Mivel a faalapanyagok energetikai felhasználásának hatékonyságát a lignocellulóz kémiai paraméterei alapvetően befolyásolják, igen intenzív kutatás és fejlesztés folyik a lignin bioszintetikus gének irányított mutagenézisének érdekében. Mint *Sulis et al. (2025)* összefoglaló tanulmányában látható a CRISPR/Cas9 módszert széleskörben használják a csökkent lignintartalmú fa genotípusok nemesítésére. A módszer a *Zöld Úton* tanulmány kötetben megtalálható.

1. ábra. A fahéjalkohol-dehidrogenáz (*CAD*) gén kifejeződése az egyes energiafűz genotípusok fás hajtásában

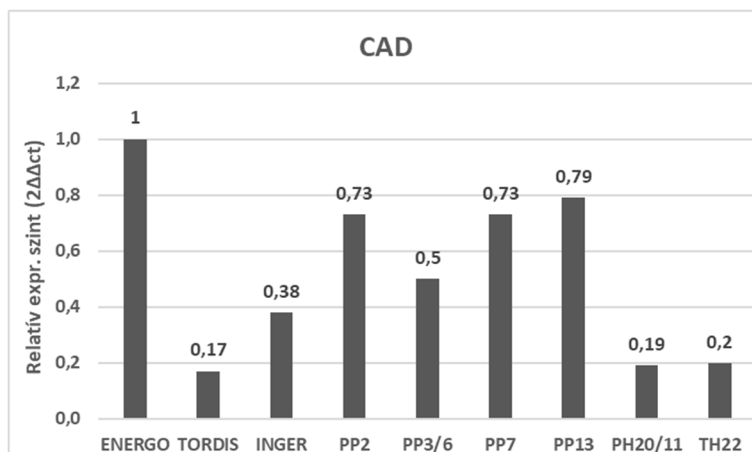


Figure 1. The expression of the cinnamyl alcohol dehydrogenase (*CAD*) gene in the woody shoots of different energy willow genotypes

A transzformációhoz használt CRISPR plazmid molekulák idegen eredetű DNS szekvenciákat is tartalmaznak. Így a mutáns növények GMO kategóriába esnek. Figyelemmel a hazai törvényi szabályozás jelenlegi verziójára, az ilyen növények termesztése Magyarországon tilos. Az irányított mutagenézis speciális módját jelenti, amikor a cél gén szekvenciája alapján kémiai szintézissel előállított DNS molekulát, oligonukleotidot használunk mutagénként és nincs idegen DNS a folyamatban. Az Oligonukleotid-Irányított Mutagenézis (ONIM) módszer leírását megtalálhatjuk a *Világunk Kihívásai* (Dudits 2024) című tanulmánykötetben.

Az MTA Szegedi Biológiai Kutatóközpontban egy korábbi GINOP-2.2.1-15-2017-00081 pályázatban előkísérleteket végeztünk az energiafűz kafeoil-sikimát-észteráz (*CSE*) génjében egy nukleotid kicserélése érdekében. A kafeoil-sikimát-észteráz a kafeoil-sikimátból kávéssavat hoz létre. A két *CSE* gén kikapcsolása CRISPR/Cas9 módszerrel 35%-kal csökkentette a nyár növények lignintartalmát. Egyben négyszeresére növelte a cellulózból a glükózképződést (de Vries et al. 2021). Az energiafűz mutagenézis ONIM módszerének kidolgozására a fűz fiatal hajtásmerisztémákat 50 μ M koncentrációban az alábbi szintetikus DNS molekulával kezeltük:

a működő *CSE* gén célzott szakasza:

CCGAAACGCCACCCCAACTTCTGGGCGACATGCCGGAGGAG,

szintetikus oligonukleotid:

CGAAACGCCACCCCAACTTCTAGGCGACATGCCGGAGGAG,

amiben adenin nukleotid került beépítésre a működő gén guanin nukleotidja helyett. A kezelést követően a kifejlődő növények leveléből izolált DNS mintából a *CSE* gén fragmentet izolálva és megszekvenálva azt, 0,4%-ban kimutatható volt a nukleotid csere. Természetesen ez egy kis gyakoriságú esemény, ezért folyamatban van ennek a módszernek az optimalizálása az energiafűz esetében.

Az intenzív kutatási és fejlesztési tevékenység, valamint a nemzetközi tapasztalatok ellenére az energiafűz alapanyagot hasznosító fermentációs üzemek száma Magyarországon csekély. Az Agrár-Béta Kft. sikere példát mutathat ezen a területen. Molnár István tanulmányában (Molnár 2023) számos fontos szempontra hívja fel a figyelmet. A cég jelentős saját energiafűz ültetvényvel rendelkezik, ami csökkenti a szállítási költségeket. A kaposszekcsői biogáz üzem (2. ábra) a gazdaságosság biztosítására a fűz faforgács mellett többféle biomassza alapanyagot használ. Az előállított biometánt elektromos áram, illetve bioetanol előállítására használják.

2. ábra. Biometán fermentorok (Kaposszekcső, Magyarország)



Figure 2. Biomethane fermentors at Kaposszekcső, Hungary

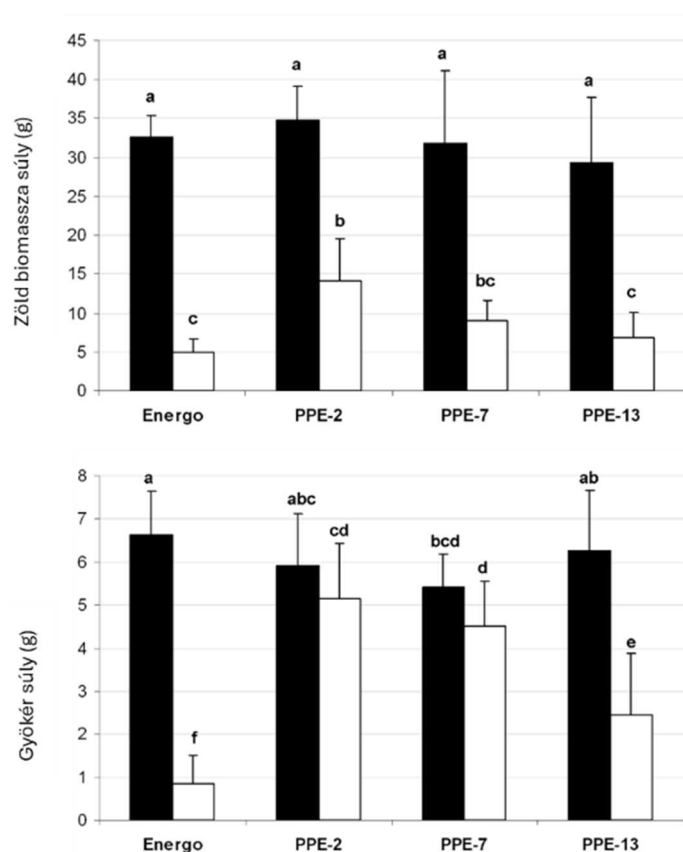
Energiafűz ültetvények a gazdasági növények termesztésére alkalmatlan területeken

Egy további jelentős hasznosító tása a SEFÜ technológiával nevelt fűz növényeknek a talajok méregtelenítése. Súlyos környezeti problémát jelent a talajok szennyezettsége nehézfémekkel, arzénal, poliklórozott-bifenilekkel (PCB), policiklusos aromás szénhidrogénekkkel (PAH). *Landberg és Greger (2022)* kísérleteiben a *Salix viminalis* ültetvény 10 év alatt az arzén 30%-át, a kadmium 54%-át, a cink 61%-át, a réz 62%-át, az ólom 63%-át, a nikkel 87%-át, a PCB 53%-át és a PAH 73%-át távolította el a talajból. Jogosan merül fel a kérdés, hogy mit lehet csinálni a betakarított szennyezett biomasszával. *Kovacs és Szemmelweis (2017)* véleménye szerint az ilyen növények elégetése, elgázosítása egy lehetséges megoldás, mert kis mennyiségű, 1–2% hamu marad vissza.

Az energiafűz növények szerepet kaphatnak a szikes talajok hasznosításában, abban az esetben, ha sótoleranciával rendelkeznek. A szikes talajok kiterjedése az ország területének 6–13%-a. A Na⁺ ionok felhalmozódása a talajban a klímaváltozás következtében fokozódhat, mivel az aszály, a magasabb hőmérséklet és a nagyobb párolgás kedvez a szikes talajok kialakulásának. Ezek a tényezők növelik a talajvíz sókoncentrációját és a felszíni víz jutását. A hagyományos nemesítési módszerek, mint a poliploidizáció és a heterózis javíthatják az energiafűz genotípusok sótűrését. *Cseri et al. (2020)* azonosítottak olyan tetraploid variánsokat, amelyek változó mértékben kevésbé károsodnak magas só tartalmú talajban (3. ábra). Mint látható a PPE-2 genotípus növényei a legjobban ellenállók mind a hajtás, mind a gyökér tömege alapján.

Tetraploid növények nem tekinthetők a nemesítési folyamat végállomásának. A keresztezésükkel előállított triploid hibridek kedvezőbb tulajdonságokkal rendelkeznek (*Dudits et al. 2022*). A heterózishatás kimutatható a sótoleranciában is (*Zombori et al. 2023*). A 4. ábra görbéi digitális fenotipizáló rendszerben követik a fűz genotípusok növekedését. A TH21/2 triploid növények növekedése felülmúlja mindkét szülő növekedési intenzitását a kontroll sókiegészítés nélküli talajban. Látható a tetraploid PP-7 növények lassúbb növekedési üteme. A 2 g/kg NaCl-t tartalmazó talajban a triploid TH 21/2 genotípus növényei szignifikáns növekedési előnnyel rendelkeznek a 4. héttől, még a svéd Inger fajta növényével való összehasonlításban is.

3. ábra. A diploid (Energó) és tetraploid (PPE-2; PPE-7; PPE-13) energiafűz genotípusok sótoleranciája 1,5 g NaCl/kg tartamú talajban (üres oszlop)

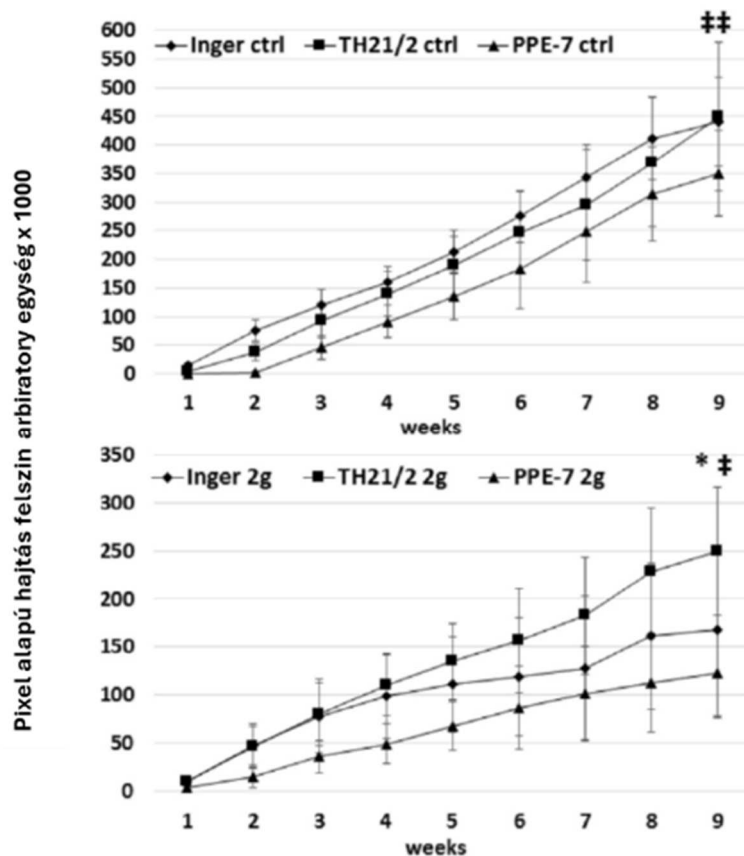


Forrás: Cseri et al. (2020)

Megjegyzés: A tömegadatokat kilenc hetes termesztési időszak végén nyolc növényen mérték, vízzel kezelt vagy 1,5 g NaCl kg⁻¹ kezelt talajban. Az eredmények átlagok ± SD, n=8. A különböző betűkkel jelölt értékek szignifikáns különbségeket mutatnak P<0,05 szinten (Duncan-teszt).

Figure 3. Salt stress (1.5 g NaCl kg⁻¹ soil, empty columns) causes moderate reduction in biomass and organ weights of the autotetraploid energy willow plants (PPE-2; PPE-7; PPE-13) in comparing to the diploid Energó plants. Note: weight data were measured from eight plants at the end of the nine-week cultivation period in soil treated with water or supplemented with 1.5 g NaCl kg⁻¹ soil. Results are means ±SD, n=8. Values denoted with different letters show significant differences at P<0.05 level (Duncan's test). Source: Cseri et al. (2020)

4. ábra. A pixel alapú biomassza értékek a TH21/2 triploid hibrid és az szülői diploid Inger, valamint a tetraploid PPE-7 növények növekedése kontroll (felső ábra) és 2 g NaCl/kg tartalmú (alsó ábra) talajban



Forrás: Zombori et al. (2023)

Megjegyzés: A diploid szülőhöz (*) vagy a tetraploid szülőhöz (‡) képest statisztikailag szignifikáns események a minta címkéjén $p \leq 0,01$ **; †† és $p \leq 0,05$ *, † jelöléssel vannak feltüntetve. Vizsgált növények száma: n=10.

Figure 4. The pixel-based shoot surface of the TH21/2 genotype and its parental lines Inger and PPE-7 in the control soil (upper) and under the salt stress (2 g NaCl kg⁻¹) (lower) conditions. Note: statistically significant events compared to the diploid parent (*) or to tetraploid the parent (‡) are indicated a side sample labels as $p \leq 0.01$ **; ††, and $p \leq 0.05$ *, †. Number of tested plants: n=10. Source: Zombori et al. (2023)

A TH21/2 növények vízfogyasztása megegyezett a svéd Inger növényekével (500 ml 9 hét alatt). Ezzel szemben egy másik hibrid kombinációban (TH 16/24) a triploid növények 200 ml vízzel többet használtak el, mint a szülői növények (Zombori et al. 2023). Ez a megfigyelés megerősíti a szelekciós nemesítés fontosságát.

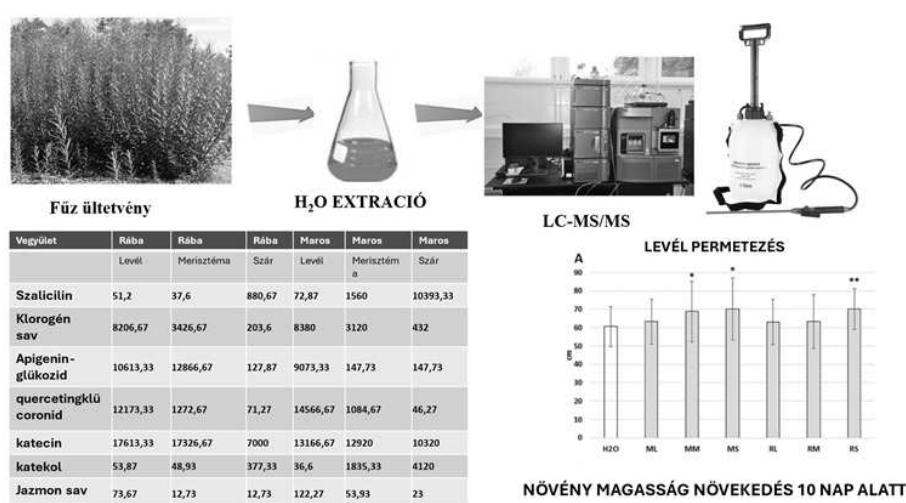
A rövid vágásfordulójú, sarjzattalásos energetikai fás ültetvények a biostimuláció gazdaságos alapanyagai

A környezet- és klímavédelem követelményei előtérbe helyezik a biostimulátorok jelentőségének a növekedését. Számos tanulmány kimutatta, hogy a növények szerveiből készített kivonatok kedvező hatásúak a növényi szervek életfunkcióira (Mingzhao et al. 2024). Mutlu-Durak és Kutman (2021) kísérletei igazolták, a *Salix babylonica* növények kérgéből és leveleiből készített kivonatban áztatott kukoricaszemekből fejlődő hajtások, gyökerek növekedése stimulált még só stressz alatt is. Mivel a rövid vágásfordulójú, sarjzattalásos energetikai fás ültetvények gazdaságos alapanyagot biztosíthatnak, indokolt volt az ilyen hatásokból készített vizes kivonat kémiai analízise és a stimulációs hatás tesztelése (5. ábra) (Zombori et al. 2025).

A kezelés szalicilsavval számos növényi funkciót pozitívan befolyásol (Wollenweber 2022). A klorogén savval végzett permetezés nagyobb levélméretet eredményezett (Zhang et al. 2024). Búza csíranövények permetezése 3%-os kvercetin oldattal növelte a klorofilltartalmat (Janczak-Pieniazek et al. 2021).

Mind a kukorica növények növekedésében, mind a kivonat kémiai összetételében szerv- és genotípusfüggő variabilitás mutatható ki.

5. ábra. A rövid vágásfordulójú, sarjzattatásos Rába (R) és Maros (M) fűz genotípusok növényeinek leveléből, merisztémájából és szárából készített vizes kivonatban kimutatható néhány bioaktív vegyület



Megjegyzés: a kivonattal permetezett kukorica növények 10 nap alatti növekedése stimulációs hatást igazol.

Figure 5. List of selected chemical compounds with considerable amounts (ng/ml) in water extracts from various organs of two short rotation willow genotypes. Note: 10-days growth of the hybrid maize plants following foliar spray with different willow extracts.

Következtetés

A több mint egy évtizedes energiafűz nemesítés és a kapott új genotípus variációk számos hasznosítási területre hívják fel a figyelmet. A bővülő hasznosítási lehetőségekkel összhangban indokolt az energiafűz ültetvények volumenének hazai növelése.

Köszönetnyilvánítás

A szerzők köszönetet mondanak a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem (MATE) Növénytermesztési-tudományok Intézetnek (NTTI) a cikkhez kapcsolódó kutatások támogatásáért.

IRODALOM

- Bagi Z.–Kovács K. L.*: 2023. A biometánhozam laboratóriumi optimalizálása zöld és fás fűzhajtások fermentációja esetén. [In: Dudits, D.–Gyuricza, Cs. (szerk.) Zöld úton: a klíma- és energiaválság kezelésében.] Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem. Gödöllő. 146–170. p. ISBN: 9789636230777
- Cseri, A.–Borbély, P.–Póor, P.–Fehér, A.–Sass, L.–Jancsó, M.–Penczi, A.–Rádi, F.–Gyuricza, Cs.–Digruher, T.–Dudits, D.*: 2020. Increased adaptation of an energy willow cultivar to soil salinity by duplication of its genome size. *Biomass and Bioenergy*. 140: 105655.
- Dudits, D.–Cseri, A.–Török, K.–Sass, L.–Zombori, Z.–Ferenc, Gy.–Póor, P.–Borbély, P.–Czékus, Z.–Vankova, R.–Dobrev, P.–Szántó, J.–Bagi, Z.–Kovács, K. L.*: 2022. Triploid hybrid vigor in above-ground growth and methane fermentation efficiency of energy willow. *Frontiers in Plant Science*. 13. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.770284>
- Dudits D.*: 2024. Világunk kihívásai – Mit tehet a biotudomány és az agrár-bioteknológia? Inform Kiadó és Nyomda Kft. Budapest. 112 p. ISBN: 9786155666650
- de Vries, L.–Brouckaert, M.–Chanoca, A.–Kim, H.–Regner, M. R.–Timokhin, V. I.–Sun, Y.–De Meester, B.–Van Doorselaere, J.–Goeminne, G.–Chiang, V. L.–Wang, J. P.–Ralph, J.–Morreel, K.–Vanholme, R.–Boerjan, W.*: 2021. CRISPR-Cas9 editing of CAFFEOYL SHIKIMATE ESTERASE 1 and 2 shows their importance and partial redundancy in lignification in *Populus tremula* x *P. alba*. *Plant Biotechnology Journal*. 19. 11: 2221–2234. doi: 10.1111/pbi.13651
- Jańczak-Pieniazek, M.–Migut, D.–Piechowiak, T.–Buczek, J.–Balawejder, M.*: 2021. The effect of exogenous application of quercetin derivative solutions on the course of physiological and biochemical processes in wheat seedlings. *International Journal of Molecular Sciences*. 22. 13: 6882. doi: 10.3390/ijms22136882
- Kovacs, H.–Szemmelweis, K.*: 2017. Disposal options for polluted plants grown on heavy metal contaminated brownfield lands – A review. *Chemosphere*. 166: 8–20.
- Kohout Z.*: 2025. Rekordszintre nőtt a biomassza-felhasználás Magyarországon. Agrárágazat. 2025 július 03. <https://agraragazat.hu/hir/agrar-rekord-biomassza-felhasznalas-szalma-2024-mezogazdasag/>
- Landberg, T.–Greger, M.*: 2022. Phytoremediation Using Willow in Industrial Contaminated Soil. *Sustainability*. 14. 14: 8449. <https://doi.org/10.3390/su14148449>
- László N.*: 2022. A triploid hibrid vigor kialakulásában szerepet játszó kandidátus gének transzkripció vizsgálat a fűzben (*Salix sp.*). MSc Szakdolgozat. Szegedi Tudományegyetem. <https://diploma.bibl.u-szeged.hu/id/eprint/135943/>
- Mingzhao, H.–Susilawati, K.–Zhongming, Y.–Xi, D.–Noor, B. S.–Kamal, U.*: 2024. Plant extracts as biostimulant agents: A promising strategy for managing environmental stress in sustainable agriculture. *Phyton-International Journal of Experimental Botany*. 93. 9: 2149–2166. <https://doi.org/10.32604/phyton.2024.054009>.

- Molnár I.*: 2023. A biomassza és fa alapanyagok energetikai hasznosítása üzemi szinten. [In: Dudits, D.-Gyuricza, Cs. (szerk.) *Zöld úton: a klíma- és energiaválság kezelésében.*] Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem. Gödöllő. 170-193. p. ISBN: 9789636230777
- Mutlu-Durak, H.-Yıldız Kutman, B.*: 2021. Seed treatment with biostimulants extracted from weeping willow (*Salix babylonica*) enhances early maize growth. *Plants*. 10: 1449. <https://doi.org/10.3390/plants10071449>
- Sulis, D. B.-Lavoine, N.-Sederoff, H.-Jiang, X.-Marques, B. M.-Lan, K.-Cofe-Vega, C.-Barrangou, R.-Wang, J. P.*: 2025. Advances in lignocellulosic feedstocks for bioenergy and bioproducts. *Nature Communications*. 16. 1244. <https://doi.org/10.1038/s41467-025-56472-y>
- Zhang, M.-Xiao, Q.-Li, Y.-Tian, Y.-Zheng, J.-Zhang, J.*: 2024. Exploration of exogenous chlorogenic acid as a potential plant stimulant: enhancing physiochemical properties in *Lonicera japonica*. *Physiology and Molecular Biology of Plants*. 30: 453-466. doi: 10.1007/s12298-024-01435-8
- Zombori, Z.-Szalai, G.-Hamow, K. Á.-Hóvári, M.-Sass, L.-Ferenc, Gy.-Janda, T.-Dudits, D.*: 2025. Bioactive compounds in extracts from short rotation willow shoots known as pharmaceuticals and an experimental demonstration of biostimulation of maize plants by these chemical complexes. *Frontiers in Plant Science*. 16: 1650824.
- Zombori, Z.-Török, Sz.-Nagy, B.-László, N.-Sass, L.-Jancsó, M.-Szabó, G.-Rádi, F. -Ferenc, Gy.-Gyuricza, Cs. -Dudits, D.*: 2023. Expression of triploid heterosis in the biomass productivity of energy willow plants under salinity stress. *Biomass and Bioenergy*. 174: 106852.
- Wollenweber, B.*: 2022. Salicylic acid as a plant growth regulator. Advisory memorandum from DCA-Danish Centre for Food and Agriculture. Department of agroecology. Aarhus University. https://pure.au.dk/ws/files/262193689/Salicylsyre_vidensyntese_dca.PDF

A szerzők levelezési címe - Address of the authors:

Dr. Dudits Dénes - Zombori Zoltán - Dr. Nagy Bettina -
Dr. Ferenc Györgyi - László Nikolett
HUN-REN Szegedi Biológiai Kutatóközpont
Növénybiológiai Intézet
Szeged
Temesvári krt. 62.
H-6726
*dudits.denes@brc.hu

Dr. Gyuricza Csaba
MATE Növénytermesztési-tudományok Intézet
Gödöllő
Páter Károly u. 1.
H-2100

