

Az energiafűz nemesítése klímavédelmi célokkal

Dudits Dénes – akadémikus, Szegedi Biológiai Kutatóközpont

A fűzekre, mint *Salix* fajokra alapozott rövid vágásfordulójú, sarjaztatásos energetikai faültetvények, nemcsak a klímafolyamatok optimalizálásában, hanem a zöldenergia termelésében is hatékonyan hasznosíthatók. Klímavédelmi jelentőségüket speciális nemesítési programokkal növelni lehet. A bemutatásra kerülő példák igazolják a poliploidizáció és a hibrid heterózis kedvező hatásait a klímaproblémák kezelése szempontjából.

Napjaink hírei mindannyiunkban tudatosíthatják a világunkat fenyegető súlyos éghajlati katasztrófák valóságát. Az árvízi, belvízi tragédiák, a tartós aszályok következménye gyakran az élelmiszerhiány, ami éhínséggel növelheti a katasztrófát a világ számos országában.

A társadalmi felismerés, a politikai és gazdasági döntéshozatal mind több és több szabályozási javaslattal igyekszik beavatkozni, és fékezni a klímakrízis folyamatait. A klímafolyamatok kedvezőtlen alakulásának elsődleges tünete a Föld felszíni hőmérsékletének emelkedése. A 1,5–2,0 °C-os melegedésben kiemelt tényező a légköri CO₂-szint meredek emelkedése, ami az ipari forradalom óta egyértelműen emberi tevékenység következménye. Ezért mind a nemzetközi egyezmények, mind a hazai klímavédelmi célok központi eleme a CO₂-kibocsátás mérséklése, és a CO₂ biomasszában történő megkötése. Ez utóbbi folyamat a fotoszintetizáló növények leveleiben történik, ezért az erdők kiemelt klímavédelmi szerepet játszanak.

A 2021. év novemberében az ENSZ Éghajlat-változási Kezelvegyezményének Glasgow-ban rendezett 26. ülésén (COP26-értekezlet) továbbra is fő célkitűzésként fogalmazódott meg, hogy a globális felmelegedés mértéke ne haladja meg az 1,5 fokot. Ennek érdekében a világ erdőinek mintegy 85%-ával rendelkező 100 ország ígéretet tett, hogy legkésőbb 2030-ig teljes mértékben beszüntetik az erdőirtást, és támogatják az erdők helyreállítását. A hazai pozitív szándékot jelzi, hogy a kormányzat Országfásítási Programot hirdetett 2019-ben, és a cél 2030-ra a 27%-os erdőszültség elérése.

A magyarországi klímapolitikai döntéseknél indokolt a különböző szakmai elemzések javaslatait figyelembe venni. Nagyon tanulságos *Somogyi Zoltán* (2016) elemzése, amely megállapítja: „Egy több mint 50 éves erdőültetési program keretében a lehető legintenzívebb erdőültetési ütem (évi 14 ezer ha) mellett is jelenleg annyi szén lehetne megkötni, mint amennyit 3 év alatt kibocsát az ország. Másképpen megfogalmazva, erdőtelepítésekkel idehaza az éves kibocsátásnak jelenleg kevesebb, mint 2%-át lehet megkötni.”

A szerző idézett tanulmányának következtetései alapján indokolt az intenzív erdőművelési rendszerek lehetőségeinek mérlegelése, amelyek számos előnyt kínálnak a kedvezőtlen adottságú földterületek hasznosításában is.

Így említhetők a rövid vágásfordulójú, fás szárú, sarjaztatásos energetikai ültetvények, amelyek a jelenleginél sokkal nagyobb szerepet érdemelnek, nemcsak a klímafolyamatok optimalizálásában, hanem a zöldenergia termelésében.

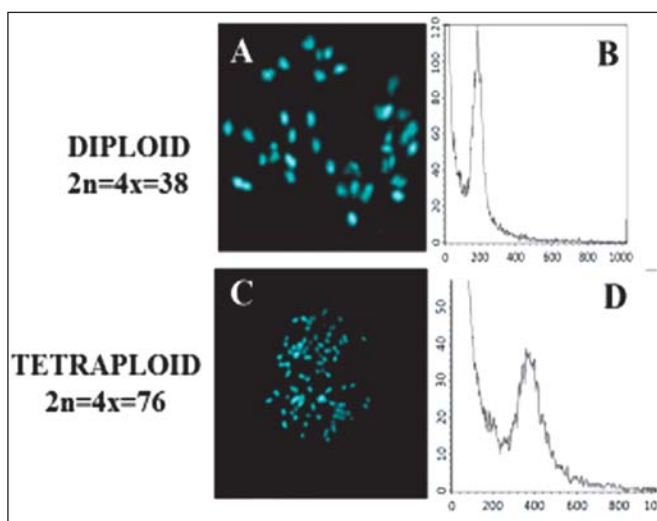
A sarjaztatásos technológia alkalmazásakor gyorsan növő, jól sarjadó, nagy hozamú fafajok, mint a nyár, akác illetve fűz telepíthetők kis térállásban (10–30 ezer dugvány/ha). Az energiafűz esetében a biomasszahozam elérheti a 30 tonna/ha/év (300 GJ /ha/év) nagyságrendet.

A rövid vágásfordulójú fás szárú energetikai ültetvény iránti érdeklődés növekedését várhatjuk a „Zöldítési rendelet” 2022. évi módosításától. Ugyanakkor nagyon fontos annak tudomásulvétele, hogy a klímavédelmi, az energetikai, illetve a környezeti feltételrendszer teljesítése szükségessé teszi az említett fafajok célspecifikus nemesítését. A Szegedi Biológiai Kutatóközpontban az energiafűzzel végzett nemesítési kutatások eredményeinek bemutatása segíthet a klímaproblémák hazai kezelésében.

Az energiafűz (*Salix* sp) növények kromoszómakészletének megduplázása növelheti a CO₂-megkötési képességet és a biomasszahozamot

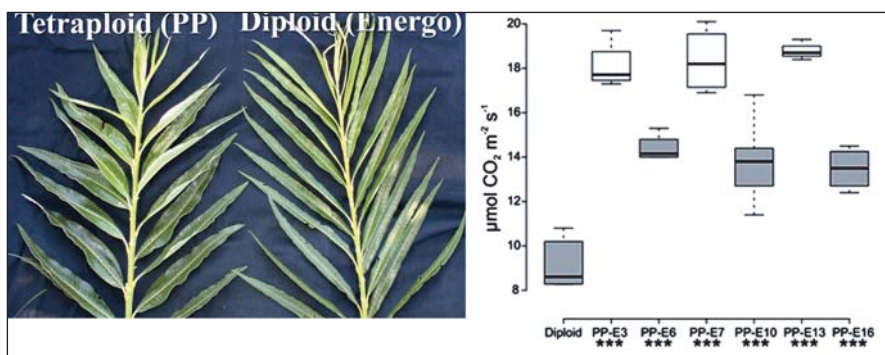
A sikeres növénynemesítési módszerek közül a poliploidizáció, a kromoszómakészlet megsokszorozása lehetőséget ad a biológiai teljesítőképesség növelésére. Ez a hatás kimutatható az energiafűz genotípusok esetében is, például tetraploid változatok előállításakor (*Dudits et al. 2016*).

Az *in vitro* nevelt Energo fűz növények csúcsi merisztémájának kolhicinkezelését követően mind a citológiaanalízis, mind a flow citometria igazolta a genom megduplázódását, a 76 kromoszómával rendelkező fűz növények kialakulását (*1. ábra*). Ezek vegetatív szaporításából származnak az ún. Poli Plusz (PP-E) tenyészanyagok.



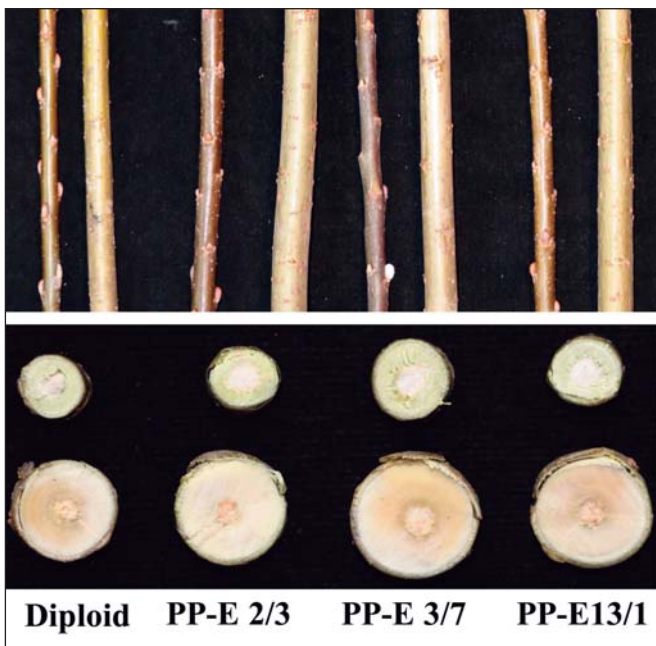
1. ábra. Az Energo diploid energiafűz fajta és a kolhicinkezeléssel előállított tetraploid változat kromoszómái (A, C) illetve a flow citometriával jellemzett DNS-tartalom görbéi (B, D)

A tenyészkerthe kiültetett fűz növények számos tulajdonsága alapján az új genotípusok kedvezőbb környezeti hatásúak. Mint a 2. ábrán látható, a tetraploid levelek nagyobbak az Energo fajta leveleivel történő összehasonlításban. A levélfelület növekedésén túl az egységnyi (m²) felület által megkötött CO₂ koncentrációja szignifikánsan nagyobb, mint a diploid leveleké.



2. ábra. A tetraploid PP növények nagyobb levélfelülete fokozott CO_2 -megkötéssel párosul (Dudits et al. 2016. *Plant Physiol.* 170, 1504–1523)

A tetraploid hatások mértéke rövidebb, mint a diploid növényeké, ugyanakkor a fás szárak vastagabbak a poliploidizáció következtében (3. ábra).



3. ábra. A diploid és tetraploid (PP-E) fás szárak összehasonlítása. A vastagabb paraméterek mind a felső, mind az alsó szár-részt jellemzik (Dudits D. *Energiafűz: Erdészeti kirándulás*. In *A bő termés biológiája*. 2019, Mezőgazdasági Kiadó)

A tetraploid genom méret hatása az energiafűz növények víz anyagcseréjére

A vízhiány, az aszály, illetve az árvizek az elsődleges okozói a klímaváltság súlyos tüneteinek. Ezért az aszály vagy a vízborítottság türése történő nemesítés kiemelt jelentőségű az energiafűz esetében is.

A vízhasznosításban elsődleges szerepe van a gyökérzet méretének. Ebből a szempontból figyelmet érdemel a tetraploid változatok nagyobb gyökérzete. Bár a szárazságtűrési képesség szempontjából nem ez az egyetlen tényező, amit figyelembe kell venni. A vízigény meghatározó eleme a növények párologtatása.

A tetraploid változatok növényei leveleinek fokozott a párologtatása, a vízvesztés közel kétszerese, mint a diploid levelek esetében. A két élettani jellemző ellentétes hatásának eredője nem feltétlenül az aszálytűrés. Ugyanakkor a globális klímaváltozások szempontjából megemlíthető, hogy a növények vízháztartását is módosíthatja a CO_2 -szint emelkedése. A légzőnyílások, a sztómák nyitottságát csök-

kenti a magasabb CO_2 -koncentráció, ami a vízvesztést, a párologtatást mérsékeli. Ez azt is jelenti, hogy javul a vízhasznosítási hatékonyság, illetve a szárazságtolerancia.

A klímaváltozás egyik velejárója, hogy megnő a szélsőséges csapadékesemények gyakorisága, és gyakoribbak a nagy intenzitású esők, ami a belvizek kialakulását eredményezheti. A belvizek az ország területének 45%-át, főként az Alföldet érinti.

A belvizek kezelése szempontjából figyelmet érdemel Tölgyesi Csaba et al.

(2021) közleménye, amely tudományosan megalapozottan javasolja a fásítás súlypontjának áthelyezését pl. a Duna-Tisza közti homokhátságon a folyók ártereibe, sőt indokolt az árterek kibővítése, rekonstrukciója. Ezt a javaslatot indokolt a rövid vágásfordulójú, sarjaztatásos energiafűz ültetvények tervezésénél számításba venni, mivel ezek a növények képesek húzamosabb ideig állni, úgynevezett pangó víz negatív hatásait elviselni. Ez egyben a zöldenergia források bővüléséhez is vezethet.

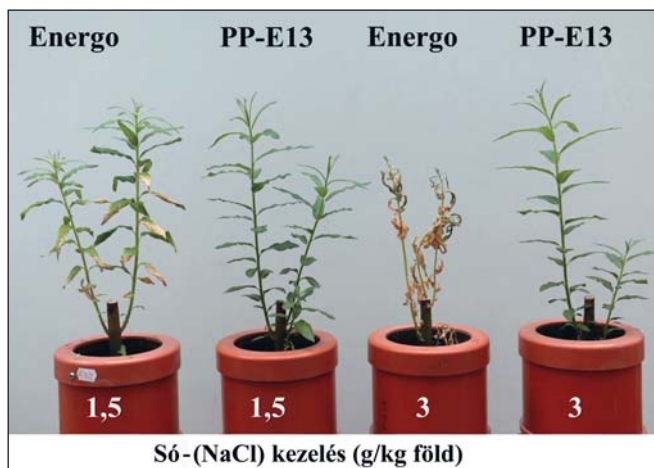
Segíthetik-e a poliploid energiafűz genotípusok a szikes talajok hasznosítását?

A szikesedés, a sófelhalmozódás alapvető oka a felszínhez közeli talajvíz, és annak magas Na-só-, illetve Na-ion-tartalma. Amennyiben a klímahatásokra nagyobb a talajok vízvesztése, mint a csapadékból a víz utánpótlása a sós talajvíz a kapillárisokon keresztül felemelkedik, és felhalmozódik a felszínen.

Magyarország területének jelentős részét, mintegy 10 százalékát foglalják el szikesek, de egyes tájegységeken belül ez az arány megközelíti a 30%-ot is. Ha a vízben oldható sók koncentrációja 0,4% fölött van, akkor a talaj erősen szoloncsákos, melyben a kultúrnövények nem termesztethetők, és csak kevés sótűrő növény él meg.

Amennyiben a szikes talajokat energiaültetvényekkel akarjuk bezöldíteni, akkor sótűrő genotípusokra van szükség. A poliploidizáció só, NaCl-toleráns anyagok kialakulását eredményezheti (Cseri et al. 2020).

A 4. ábra példaként a PP-E13 vonal tetraploid növényeit hasonlítja össze a diploid természetű Energó fajta növényeivel 0,15% és 0,30% NaCl talaj koncentráció mellett. A tetraploid növények ellenállósága mindkét koncentráció esetén



4. ábra. A tetraploid energiafűz növények (PP-E13) nagyobb sótoleranciával rendelkeznek, mint a diploid Energó növények

kimutatható. Az üvegházi eredmények alapján Gyuricza Csaba és Jancsó Mihály vezetésével elindultak a szabadföldi kísérletek a MATE Rizsnemesítési Osztályán, Szarvason.

A diploid és tetraploid energiafűzek keresztezéséből származó triploid genotípusokban egyaránt kifejeződik a hibrid vigor és a poliploidia kedvező hatása a biomassza- és a biogázhozamban

A tetraploid energiafűz változatok előállítása lehetőséget adott a nemesítési program kiszélesítésére azzal, hogy kereszteztük azokat a vezető svéd fajtákkal (Inger, Tordis). Az így generált új genetikai variabilitás jelentős előrehaladást képvisel mind a növekedési, mind a biomassza-paraméterekben (Dudits et al. 2022). A triploid hybrid (TH22) mindkét szülői genotípust felülmúlja hajtáshosszban és -számban továbbá szárátmérőben (5. ábra).

PP-E 15 2n=4x=76	TH 22 2n=3x=57	INGER 2n=2x=38
36,20 cm	48,66 cm	44,73 cm
9,0 db	22,0 db	15,0 db
19,49 mm	35,14mm	40,36 mm

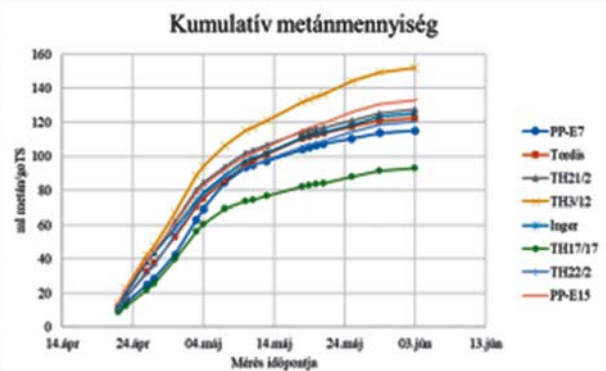
5. ábra. A triploid hibrid (TH22) zöld biomassza paramétere (hajtáshossz, hajtásszám/növény, szár átmérő) jobb, mint a szülői növényeké a ploiploidia és heterózis hatás kombinálásának eredményeként

A klímaválság kezelésében az emberi tevékenységből származó, antropogén hatások meghatározó szerepet játszanak, ezért nagyon aktuális az üvegházhatású gázok kibocsátásának csökkentése. Ezekben a törekvésekben az erdészeti fa alapanyag energiaforrásként történő hasznosítása során az elégetés helyett indokolt növekvő szerepet szánni a biogáz-fermentációs technológiáknak.



Energiafűz ültetvény (Forrás: Getty Images)

Genotípusok	Lignin %
Inger	16.83 ± 4.07
TH21/2	17.21 ± 4.74
PP-E7	15.02 ± 1.09
Tordis	15.18 ± 1.06
TH17/16	18.09 ± 0.25
PP-E15	16.12 ± 3.03
TH3/12	13.89 ± 3.50
TH22/2	16.80 ± 1.97
PP-E2/5	19.28 ± 1.19
PP-E3/5	13.11 ± 1.20



Szűcs Csilla, Bagi Zoltán, Kovács Kornél

6. ábra. A biogáztermelés hatékonysága függ az energiafűz genotípusok faaprítékának lignintartalmától

A rövid vágásfordulójú energiafűz ültetvényből származó zöld, illetve fás biomassza egyaránt alkalmas biogáz előállítására (Kakuk et al. 2021), az üzemi technológiák a száraz aprított alapanyagot részesítik előnyben (Molnár István).

A biometánhozamot a faapríték kémiai jellemzői alapvetően befolyásolják. A különböző triploid hibrid kombinációk fájának összehasonlítása alapján a lignintartalom nemesítéssel történő csökkentése javíthatja az energiatermelés hatékonyságát (6. ábra). A kumulatív metán termelődésében a TH3/12 triploid hibrid felülmúlta a többi genotípust, ami párosult a legalacsonyabb lignintartalommal. A magas lignintartalmú TH17/16 hibrid aprítéka adta a legkisebb biometánhozamot.

A klímakrízis okozta kihívások komplexitása szükségesé teszi a lehetséges védelmi megoldások széles skálájának kihasználását. A bemutatott nemesítési eredmények megerősítik, hogy a rövid vágásfordulójú energiafűz ültetvények a jelenleginél szélesebb körű alkalmazása pozitív hatású lehet az üvegházhatású gázok csökkentésében, a szikes talajok zöldítésében, továbbá a biogáz termelésben.

Felhasznált irodalom

- Cseri, A., Borbély, P., Poór, P., Fehér, A., Sass, L., Jancsó, M., et al. (2020): Increased adaptation of an energy willow cultivar to soil salinity by duplication of its genome size. *Biomass Bioenergy* 140:105655. doi: 10.1016/j.biombioe.2020.105655
- Dudits, D., Török, K., Cseri, A., Paul, K., Nagy, A. V., Nagy, B., et al. (2016): Response of organ structure and physiology to autotetraploidization in early development of energy willow *Salix viminalis*. *Plant Physiol.* 170, 1504–1523. doi: 10.1104/pp.15.01679
- Dudits D., Cseri A., Török K., Sass L., Zombori Z., Ferenc G., Poór P., Borbély P., Czékus Z., Vankova R., Dobrev P., Szántó J., Bagi Z., Kovács K.L. (2002): Triploid Hybrid Vigor in Above-Ground Growth and Methane Fermentation Efficiency of Energy Willow. *Front. Plant Sci.* 13:770284. doi: 10.3389/fpls.2022.770284
- Kakuk, B., Bagi, Z., Rákhely, G., Maróti, G., Dudits, D., and Kovács, K. L. (2021): Methane production from green and woody biomass using short rotation willow genotypes for bioenergy generation. *Bioresour. Technol.* 333:125223. doi: 10.1016/j.biortech.2021.125223
- Somogyi, Z. 2016. Fuben-fában karbon. URL: <http://www.scientia.hu/fubenfabankarbon>
- Tölgyesi Cs., Bátori Z., Deák Z, Erdős L., Hábcenyus A. A., Kukla Luca S., Török P., Valkó O. és Kelemen A. (2021): A homokfásítás alkonya és az ártérfásítás hajnala. *Természetvédelmi Közlemények* 27., 126–144. 🌿