

A biomassza energiadúsítással

Emberi és természeti világunk létét és működőképességét nehéz az energiatermelés és energiafogyasztás kiegyensúlyozottsága nélkül hosszú távon fenntartani. A létszámában növekvő emberiség létérdeke, hogy a megújuló forrásokból származó zöldenergia-termelés biológiai (és technológiai) feltételeit megteremtse. Ezt a követelményt veszi figyelembe az Európai Unió energiastratégiája is. Az uniós adatok szerint a megújuló források közül a biomasszából nyert energia mennyisége a legnagyobb, amelynek arányát 2020-ig még tovább kívánják növelni.

A növényi szervek, amelyek az energiát hordozó szerves anyagok elsődleges előállítói és raktározói, a bioenergia-ipar nagy fontosságú nyersanyagai. A mezőgazdaság és az erdészet növényi melléktermékei mellett az energetikai célú növénytermesztés szolgálhatja az alternatív motorhajtóanyag-termelést vagy a tüzelőanyagok előállítását. A bioetanol-gyártás alapanyagai a nagy keményítőhalmazú kukorica és a korbanban gazdag növények lehetnek, például a cukorcirok vagy a cukorrépa. Az olajos növények közül elsősorban a repcét termesztik biodízel előállítására céljából. Ugyanakkor nagyon fontos annak szem előtt tartása, hogy indokolatlan az élelmiszerként hasznosítható növényekből energiát termelni akkor, amikor jelenleg több mint egymilliárd ember alultáplált, a világ élelmiszer-szükséglete folyamatosan nő, 2050-ig megkétszereződik. A bioenergiás kutatások és fejlesztések elsődleges célja, hogy megoldást találjon az „élelmiszer vagy energia” ellentmondásának kezelésére. Erre ad lehetőséget a cellulóz alapú bioenergia-termelés előtérbe kerülése vagy az algákból való olaj előállításának gazdaságossá tétele. Egyúttal a biodiverzitás megőrzését is célozza az energiaerdők telepítése a mezőgazdaságtól nem hasznosítható vagy termelésből kivont területeken. Az energiaerdők leggyakoribb fái az *akác*, a nyár és a fűz.

KULCSSZEREPEBEN A GÉNEK

Mint minden gazdasági növényünk, az energianövények biológiai teljesítőképessége és ezzel biomasszahozama is a genetikailag kódolt fejlődési program megvalósulásától függ. Ennek mikéntjét a környezeti tényezők módosíthatják. A genomprogramok, továbbá

A környezetkímélő energiaforrások sorában kiemelkedően fontosak az energiában gazdag, zöld növények. A biomassza energiaforrásként való hasznosítása ma még költségigényes folyamat. A felmerülő kiadások csökkentésének egyik lehetséges módja az alapanyagok energiakészletének növelése. A biotechnológiai módszerek alkalmazásaival eddig szinte nem is sejtett lehetőségek kínálóznak. Az MTA Szegedi Biológiai Kutatóközpont Növénybiológiai Intézetében fontos kutatásokat folytatnak az új lehetőségek kidolgozására. A *TermészetBÚVÁR* magazin idei 2. lapszámában a biomassza energetikai célú hasznosításáról adtunk sokoldalú áttekintést. Cikkünk ezúttal azokba a tudományos újdonságokba kínál betekintést, amelyek a zöld növények „kondicionálását”, energiadúsabbá válását segítik, rámutatva egy fontos etikai dilemma kezelésének egyedül helyes lehetőségére is.

a géntechnológiai módszerek alkalmazása a fajok nemesítésének lehetőségeit is alapjaiban kiszélesítik. A modellfajnak számító nyár teljes genetikai információtartalmát, azaz DNS-állományának nukleotidbázis-sor-

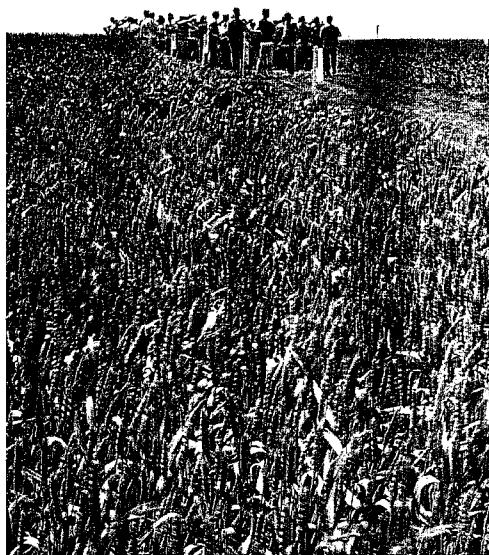
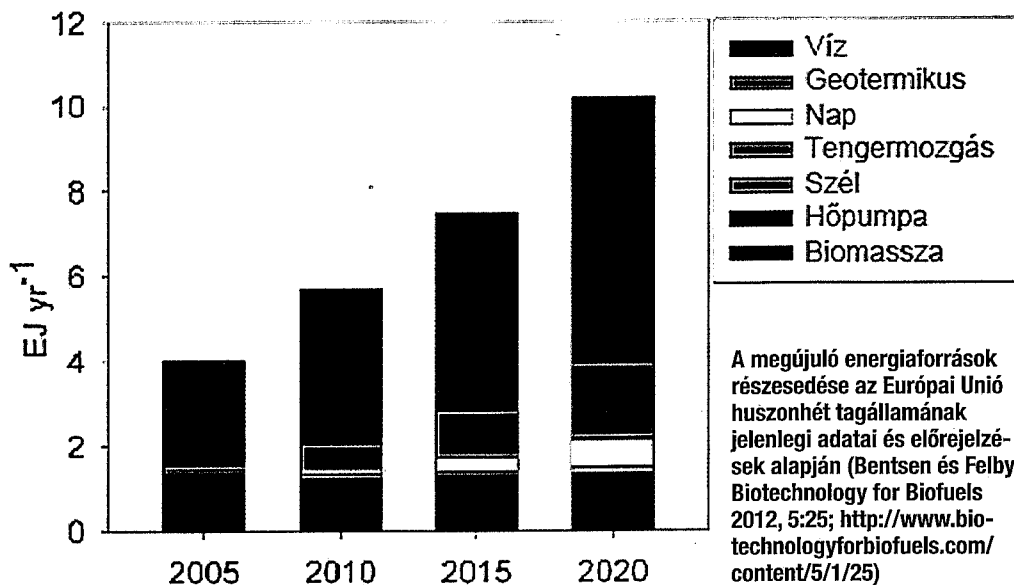


Fiatalfűz-hajtások egy ültetvényben
KÓSA FERENC felvétele

rendjét, szekvenciáját már meghatározták. A géneket azonosító informatikai programok a nyárfa genomjában 45 ezer gént jeleznek. A molekuláris markerekre, vagyis a növény egyes tulajdonságaihoz köthető DNS-szekvencia motívumok azonosítására alapozott részletes géntérképek készültek, és meghatározták azokat a kromoszómaregiókat, amelyek a fajozamot számottevően befolyásoló géneket hordozzák. A cellulóztartalmú kukoricaszár és búzaszalma szintén energiaforrásként hasznosítható. Ilyen céllal hozhatók létre az olasz nád, az energiafűként hasznosított magas tarackbúza és elefántfű () ültetvényei is.

FÉNYHASZNOSÍTÁS ÉS BIOMASSZAHOZAM

A kloroplasztiszokban lejátszódó fotoszintézis a földi életnek nélkülözhetetlen, természetes energiaátalakító folyamat. A napfény által előidézett vízbontás oxigén- és hidrogénmolekulákat szabadít fel. Az oxigén a légkörbe kerül, és a Föld élővilágát elteti. A hidrogén a levegő szén-dioxid-molekuláit cukrokká és sokféle szerves vegyületté redukálja. Ezekből épül fel a növényi test.



A búza szalmája szintén energiaforrásként használható OLÁH TIBOR felvétele – MTI-Fotó

A biomasszát alkotó vegyületekben tárolt energiát élelmiszerként és fűtőanyagként egyaránt használjuk. A fotoszintézis során évente átlagosan megkötött energia

100 milliárd kilowatt, ez azonban csak 0,1 százaléka a Földre érkező napenergiának. Ennek a kis hatékonyságnak több oka is van. Mivel a fotoszintézisben a nap sugarzásnak csak szűk hullámhossztartomány (400–700 nanométer) hasznosul, ebből 50 százalékos energiavesztés származik.

A szén-dioxid megkötését a növényekben két, lényegesen eltérő enzimrendszer végzheti. Az úgynevezett C3-növényekben a Rubisco (ribuloz-1,5-bifoszfát-karboxiláz/oxigenáz) enzim alacsonyabb hatásfokú, és ezzel a reakcióval verseng az oxigénnel való kölcsönhatása (fotorespiráció); ami további 25 százalékos veszteséget okozhat. A C4-es növényekben a foszfoenol-piruvat- (PEP-) karboxiláz enzim aktív, amely viszont kisebb veszteséggel működik. Elméletileg a C3-as növényekben 9,4, míg a C4-es növényekben 12,3 százalék a maximális energiahasznosítás.

Betakarításkor a C4 típusú növények (kukorica, köles, cukornád) szárazanyaghozamai majd kétszeresek a C3-as növényekkel (búza, burgonya, rizs) összehasonlítva. Az említett energiafűvek közül az elefántfüvet C4 típusú fotoszintézis jellemzi. A telepítést követő harmadik évtől hektáronként 10–25 tonna

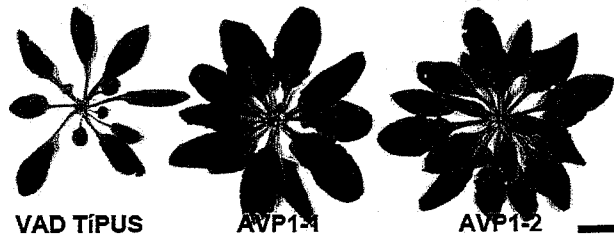
(20 százalék nedvességtartalmú) biomasszahozam mellett 150–320 gigajoule energia nyerhető belőle. A C3-as és C4-es növények energiahozambeli különbsége indokolja azokat a törekvéseket, amelyeknek a célja, hogy a C3-as növényeket alkalmassá tegyék a C4-es funkciók elvégzésére. A fotoszintézis hatékonyságának növelésére többféle génsebészeti megoldás is használható. Egyetlen gén beépítésével már számottevő növekedés érhető el a szén-dioxid megkötésében és a biomassza mennyiségében. Ilyen megoldás a Rubisco enzim olyan átalakítása, ami csökkenti a fotorespiráció okozta veszteséget. A szedoheptulóz-1,7-bisfoszfátáz (SBP) enzim aktivitásának növelése a géntechnológiával módosított (GM) dohánynövényekben meg-növekedett szén-dioxid asszimilációhoz és biomassza képződéshez vezetett.

HOZAMFOKOZÓ MÓDSZEREK

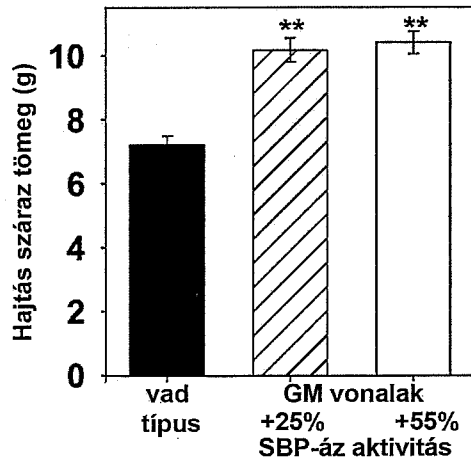
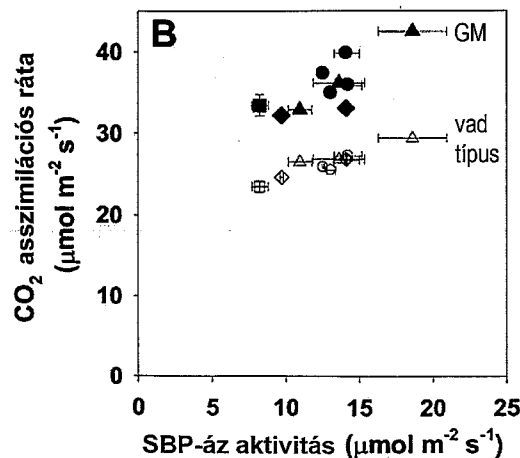
A növénynevelés gyakorlatában számos példát találhatunk arra, hogy a növények kromoszómakészletének megváltoztatása, az ún. poliploidizáció gyorsabban növekedő, nagyobb szervesanyaghozamú genotípusok (szervezetek) előállítását teszi lehetővé. Ez a módszer sikeresen alkalmazható a fajok esetében is. A hatás jól megfigyelhető azon az ábrán, amely egy poliploid nyárfa törzsének metszetét mutatja be összehasonlítva a normál (kétszeres) kromoszómaszámú fa metszetével.

Ha növelni akarjuk az energianövények hozamát, ismernünk kell a növényi növekedést és fejlődést irányító géneket, a szabályozásban kulcsszerepet betöltő vegyületeket, hormonokat vagy a sejtek számát és méretét meghatározó fehérjéket. A növényvilág különlegessége, hogy a testépítés szinte az egész életcikluson

A géntechnológiával módosított (GM) dohánynövényekben meg-növekedett szén-dioxid asszimilációhoz és biomassza képződéshez vezetett (Li és munkatársai; 2005)

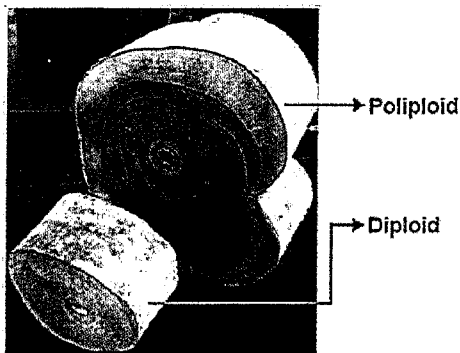


Génkezelt növényekben a szedoheptulóz-1,7-bisfoszfátáz (SBP) enzim túlermelletése javította a szén-dioxid asszimilációját (A), és nagyobb zöldtömeget eredményezett (B) (Lefebvre és munkatársai; Plant Physiology, 2005)



keresztül folytatódhat. Az osztódó sejtekben gazdag merisztémák ugyanis gondoskodnak a szövet kialakulásához és növekedéséhez szükséges folyamatos sejtutánpótlásról. A szerves anyag termelését befolyásoló gének azonosításában az egyik legcélravezetőbb módszer, ha génbeépítéssel megváltoztatjuk a célgén kifejeződésének és így hatásának mértékét. A géntechnológia segítségével lehetőség van a gének „elhallgattatására” vagy működésük fokozására. Ilyen génbeépítéssel lehetett igazolni, hogy például a géntechnológiával módosított lúdfűben a sejtüregekben (vakuólumban) található pirofoszfátáz 1 enzim túlermelletése tetemes zöldtömeg-növekedésre vezet.

Természetesen sokféle génbeépítési stratégiát vizsgálnak a fajok energiahozamának növelése érdekében is. A nyárfa esetében hatékony módszerek állnak rendelkezésre a saját vagy idegen gének beépítésével végzett neveléshez. Így lehetett sikeresen csök-



A hatéves, poliploid nyárfa törzsének keresztmetszete lényegesen nagyobb fahozamot mutat, mint a négyéves, diploid fa törzsmérete (<http://www.clenergen.com/plant-science>)

kenteni a bioalkohol előállításához használt fa lignintartalmát, ami vizsont javította az alkohol kinyerhetőségét.

CELLULÓZ ALAPÚ ENERGIATERMELÉS

A biomassa eredetű tüzelőanyagok, a fahulladék, a faapríték és a tűzifa legegyszerűbb, ösdió óta alkalmazott felhasználási módja az elégetés. A biomassa energiaátalakításának másik lehetséges technológiája a pirolízissel való elgázosítás. Ennek során a szerves anyagokat a levegőtől elzárva, 450–600 Celsius-fokra hevítik, mialatt szerves gőzök, gázok és faszén keletkeznek. A szerves gőzök hűtésével a termék cseppfolyósodik (kondenzálódik), majd ebből nagy energiatartalmú olajok nyerhetők. A gázok is jól hasznosíthatók, például villamos energia termelésére.

A növényi sejtfal poliszacharidokból (44 százalék cellulózból, 30 százalék hemicellulózból, továbbá pektinből és ligninből (26 százalék) felépülő szerkezet, amelyből etanollá (etil-alkohollá) fermentálható cukrok szabadíthatók fel. A kénsavas előkezelést követően a celluláz enzimmel végzett emésztéssel szőlőcukor (glükóz) állítható elő. A hemicellulóz és a pektin savas előkezelésével többféle cukor, például xilóz, arabinóz, glükóz és galaktóz nyerhető. A cukrosítás során termelődött, fermentálható cukrokból az élesztősejtek alkoholt készítenek. Az így megtermelt biotanol mind szélesebb körben hasznosítható.

Ezúttal csak a cellulóz alapú energiatermelés néhány kutatási és fejlesztési kérdését érintettük. Láthatjuk, hogy a tudomány milyen sokféle segítséget nyújthat az energiaigények kielégítéséhez. Bármennyire hiszünk is a tudományban, biztosak lehetünk abban, hogy csak takarékos és ésszerű energiahasználattal lehet esélyünk a nagy energiaválságok elkerülésére. De arról sem feledkezhetünk meg, hogy a környezet megóvása is kiemelten fontos szempont az energiagazdálkodásban. Érdemes felidézni Sir Paul Nurse Nobel-díjas tudós 2012. februárjában elhangzott előadásának egyik gondolatát: „A tudomány nemcsak az elménket gazdagítja, hanem megbízhatóan irányít olyan globális problémák megoldása felé, amelyekkel már napjainkban szembesülünk: a világ élelmezése, energiaszükségleteink kielégítése és a korosodó népesség egészségének megőrzése”.

DUDITS DÉNES

az MTA rendes tagja
MTA Szegedi Biológiai Kutatóközpont
Növénybiológiai Intézet

KÖNYV-TÁR

AMIT AZ ÖZÖNNÖVÉNYEKRŐL TUDNUNK KELL(ENE)

Csiszár Ágnes szerkesztésében:

Inváziós növényfajok Magyarországon

A kötet megjelenése a hazai flórakutatás fel-
lendülésének, ezen belül a mező- és az
erdőgazdaságot elevenen érintő ágának
örvendetesen szélesedő folyamatát jelzi. Az
újabb és újabb növényhatározók a kutatók és
a szerzők népes – több mint százfős – táboráról
tanúskodnak. Részvevői ontják a modern taxo-
nómia módszereivel készült tanulmányokat, a
hazai flóra részleteire vonatkozó újabb és újabb
ökológiai, társulástani, valamint a gyakorlat
számára is fontos eredményeket. Mindezeket a
Botanikai Közlemények, a Kitaibelia, a Kanitzia
és a Flóra Pannonica számos tanulmánya is
alátámasztja.

A flóragyapodás kedvezőtlen eseményeire,
a gyomosodásra, a természetes és a természet-
közeli vegetáció változásaira Kovács Margit és
Priszter Szaniszló már 1975-ben felhívta a fi-
gyelmet a Botanikai Közleményekben. Míg a
flóra és a növénytársulások faji összetételében
észlelhető „degradálódásra” a denaturalizáló-
dást jelző fajok, illetve csoportok besorolásá-
val („természetes zavarástűrők”, „adventív”
és „gyomfajok”), magam jeleztem a káros fo-
lyamatot az Abstracta Botanica folyóiratban
(1984-ben).

A témában az első, jól szervezett vészkiáltás-
nak a Mihály Botond és Botta-Dukát Zoltán által
szerkesztett, kétkötetes „Özönnövények” című
munka tekinthető, amely a TermészetBÚVÁR
Alapítvány, valamint a Természetvédelmi Hiva-
tal gondozásában jelent meg. Az első kötetben
a mezőgazdaság területeiről, elsősorban a nö-
vénytermesztésről és az állatte-
nyésztésről, de az egészségügyi
ellátásban is problémákat okozó
növényi invázióról, annak termé-
szetéről, okairól és okozóiról, va-
lamint a védekezés alapjairól esik
szó további huszonkét szakértő
szerző írásában. Alapvető, a kér-
dést részleteiben felvázoló, „álta-
lánost inváziós növénytanak”
tekinthető anyagot olvashatunk.
A második kötet tizennégy kis-
monográfiát tartalmaz, amely a
természetvédelmi szempontból
legveszélyesebb fajkomplexe-
ikről ad alapos, áttekinthető képet
ugyancsak gazdag szakiroda-
lom-jegyzékkel kiegészítve.

A Csiszár Ágnes által szer-
kesztett és további harminc-
két szerzővel írt Inváziós növényfajok Ma-
gyarországon című kötet gazdagon illusztrált,
szépséges munka, „rendszeres és részletes
inváziós növénytan”. Ilyen minőségében az
említett kötetek folytatásának is tekinthető;
ezt a három munkát szereplő több, közös
szerző is jelzi. Igazi, jól szervezett, nagyarányú
csapatmunka.

A bevezető részben a könyv felépítésével, az
alapfogalmak magyarázatával, valamint a növé-
ny invázióval kapcsolatos hazai és nemzetközi
kutatásokkal ismerkedhet az olvasó. Ezután 364

oldalon ötvenkilenc inváziós növényfaj ren-
szeres bemutatása következik. A taxonómia
helyzet, a részletes morfológia, az életciklus,
elterjedési terület, a hazai előfordulás (ponttá-
képpel), az ökológiai igény, a természetvédelem
és a gazdasági jelentőség kerül terítékre, és
vonatkozó szakirodalom után több növényt
termőhelyét ábrázoló, remekbe szabott, szín-
fotó következik.

Van már jó néhány ilyen, hasonló feldo-
gozású, színes képekkel gazdagon illusztrált
kötetünk, amelyek védett fajainkról, ritka
fajainkról és cserjéinkről vagy éppen orchidá-
inkról szólnak. Remélhető-e, hogy egyszer
a teljes edényes flóráinkról is megszületik
minden fajt részletesen bemutató flóramű.
Ilyenek ugyanis Európában és a szomszédos
országokban már vannak. Ezen túlmenően
ilyen „fajmonográfiákat” is el tudok képzelni
amelyek a népségek (populációk) sokoldalú
vizsgálatával is foglalkoznak.

A nemrég megjelent könyvújdonosság tudom-
nyosan megalapozza az invázió elleni fellépés
A szerzők felhívják a figyelmet számos lehetsé-
ges okra, amelyek a jövevényfajok térhódítását
segítik, vagy gátolják. Az éghajlatváltozás (pé-
ldául a felmelegedés, a szárazodás, a szélsőségek
hőmérsékleti és csapadékvizszo-
nyok nem befolyásolhatják, elősegíti a mediterrán
a közel-keleti gyomok bevándorlását, terjedését).
Megfelelő mezőgazdasági technológiák kidolgo-
zásával viszont csökkenthetjük az inváziós fajok
térnyerését. Ha például nincsenek parlagok, ug-
rok, erdőirtások és kopár, megműveletlen földek,

amelyek tálcán kínálják
meghódítandó területeket.

A kötetben foglaltak a
inváziós fajok természet-
nek alapos megismerését te-
szik lehetővé. A védekezés
megfelelő helyi módszere-
ennek alapján helyben,
táji termőhelyi sajátosságok i-
meretében lehet kidolgozni.
Az inváziós fajok tulajdon-
ságainak és viselkedésének
ismerete nélkülözhetetlen
az eredményes védekezés
kimunkálásához.

Mindent összegezve
kötet kiváló szakemberek
kutatók jól koordinált együtt-
működésével létrehozott szűr-
vonalas, új elgondolásokat

magában foglaló, tudományos munka, amel-
hathatóan segíti a témával kapcsolatos elméleti
és gyakorlati tevékenységet. De emellett a köz-
zép- és felsőfokú oktatás, egyebek között a mező-
gazdasági szakemberek időszere, hiánypótló
tankönyve lehet. Köszönet illeti a szerkesztőt,
szerzőket, a lektorokat, a kötetet gondozó Nyu-
gat-magyarországi Egyetemi Kiadót és a nyomda-
az értékes tartalomért és a szép kiállításért.

DR. SIMON TIBOR