

TANULMÁNYOK

A növények kulcsszerepe a globális problémák kezelésében

The Key Role of Plants in Addressing Global Problems

Dudits Dénes

az MTA rendes tagja, HUN-REN Szegedi Biológiai Kutatóközpont, Szeged
dudits.denes@brc.hu

Összefoglalás

Napjainkban az emberiség előtt álló kihívások, mint az élelmiszer-biztonság, az egészséges élelmiszerek, a klíma védelme, valamint a zöldenergia hasznosítása sok mindenben érintik a mezőgazdaságot és a környezetvédelmet. Ezen tevékenységek központi szereplői a növények, amelyek genetikai jobbítása nemesítéssel történik. Igen nagy kapacitásokkal folyik az agronómiai gének izolálása és beépítésükkel transzgenikus növények előállítása mind a kutatásban, mind a növények nemesítésében. Új korszakot jelent a génszerkesztési módszerek kidolgozása és elterjedése. Ez a tanulmány bemutatja, miként lehet egy kiválasztott gén egyetlen nukleotid építőkövét kicserélni, és így nemesíteni a növényeket. Az új genomikai technológiákkal (NGTs) nemesített növényeket nem tekinthetjük GMO-knak, mivel nem hordoznak idegen géneket. Ezt a fontos agrárinnovációt idehaza sem hagyhatjuk figyelmen kívül. A genomszerkesztési módszerek tovább növelik a nemesítés precizitását és hatékonyságát.

Abstract

The challenges facing humanity today, such as food safety, healthy foodstuffs, climate change mitigation, and the use of green energy, have many implications for agricultural practices and environmental protection. Plants are at the centre of these activities, and their genetic improvement is achieved through breeding. At present, the isolation of agronomic genes and their integration into crop genomes to produce transgenic plants is a high priority in research and plant breeding worldwide. It is well known that with the development of gene-editing technologies, science has entered a new era called *genomics*. This Nobel Prize-winning research has paved the way for the creation of new breeding stocks. This paper shows how a single nucleotide as a building block of DNA, representing an agronomic gene, can be modified and its function improved to control new traits. The resulting organisms, the products of new genomic technologies (NGTs), cannot be considered GMOs because they do not carry foreign genes. This important agricultural innovation cannot be ignored in Hungary. Genome editing methods further increase the precision and efficiency of breeding.

Kulcsszavak: növény nemesítés, transzgenikus, génszerkesztés, új genomikus technológiák (NGTs), klímaváltozás, zöldenergia

Keywords: plant breeding, transgenic, gene editing, new genomic technologies (NGTs), climate change, green energy

Bevezetés – világunk kihívásai

Bolygónk mindennapi eseményei kikényszerítik, hogy tudatosítsuk, mennyi minden fenyegeti az emberiséget, és a környezetet különösen, ha a jövőt tekintjük. A világ népeinek életét súlyosan megnehezítik a természeti katasztrófák, mint az árvizek, felhőszakadások, a hosszan tartó súlyos aszályok. Az időjárási szélsőségek háttérben a klímaváltozás tényei állnak. Az 1. ábra szemléltetni kívánja azt a tragikus ellentmondást, ami a földművelési technológiák színvonalbeli különbségeiben jut kifejezésre a fejlődő világ gyakorlata és a precíziós növénytermesztés adta lehetőségek között. Az utóbbi lehetővé teszi a helyspecifikus, a növények igényei szerinti termesztési műveletek alkalmazását.



1. ábra. Az agrárium döbbenetes szélsőségei

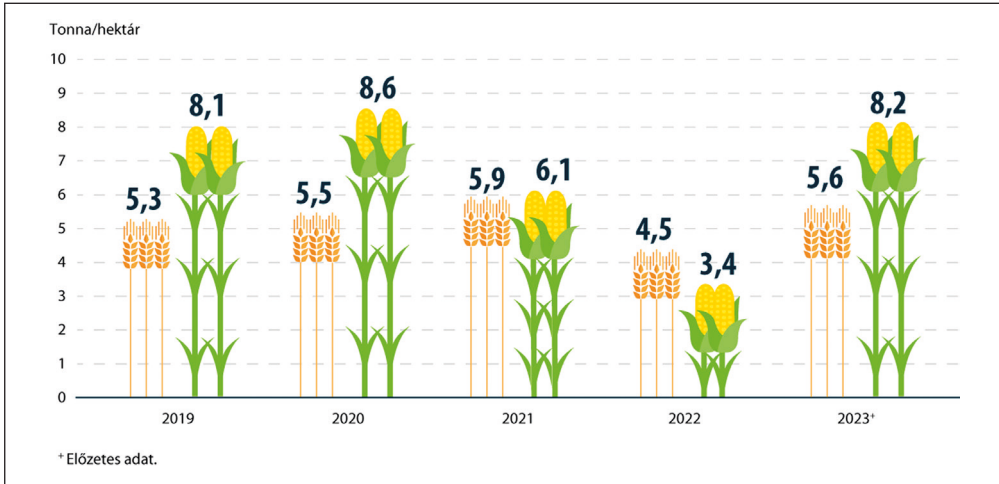
Forrás: Dudits 2024

Az élelmiszer-biztonság a klímahatások mellett függ a népesség számának alakulásától. Lényeges a régiók közötti különbségek figyelembevétele. Míg a szubszaharai régióban a népesség várhatóan 2050-re közel megduplázódik, addig az európai és az észak-amerikai növekedés 0,4%-ra becsülhető. Az ENSZ adatai szerint 2022-ben 58 országban 258 millió ember élt akut élelmezési bizonytalanságban. Németh Viktória (2022) cikkében idézi, hogy Magyarország az élelmezésbiztonság tekintetében a 31. helyen áll a világ országainak rangsorában. Továbbá hazánk a 162%-os önellátási képességgel a 8. helyen állt egy összehasonlításban. Ez azt jelenti, hogy a mezőgazdasági termelés meghaladta az ország szükségleteinek másfélszeresét.

Túl az éhezés okozta tragédiákon, az egészséges élelmiszerek biztosítása szintén kihívást jelent. Az alultápláltság a szükséges vitaminokból és ásványi anyagokból igen nagy eltérésekkel jelentkezik a különböző fejlettségű országokban. Világméretben 2,3 milliárd ember szenved az optimális élelmiszerek hiányától. A legnagyobb probléma az A-vitamin, a vas, a jód hiánya. Amikor egészséges élelmiszerek előállításáról beszélünk, nem hagyhatjuk figyelmen kívül, hogy a növényvédőszer csak tudatosan és mértékkel használható. Ebben fontos szerepe van a géntechnológiával kialakított patogén- vagy rovarrezisztenciának, természetesen csak azokban az országokban, ahol

a GM- (genetikailag módosított) fajták termesztetők. A hagyományos növénynevelési módszerek használatával bár javítani lehetett a növények produktivitását, a jelen innovációs folyamatainak középpontjában a géntechnológiának a növénynevelési eszköztárába történő integrálása áll, ennek lehetőségeit mutatják be az alábbi fejezetek.

A klímaváltozás hatásainak mérséklésében is szerepet kapnak a géntechnológiai módszerek. A klíma védelme nagy és komplex kihívást jelent hazánkban is. A száraz tenyészidőszakok komoly termésingadozást okoznak Magyarországon, mint azt a 2. ábra mutatja.



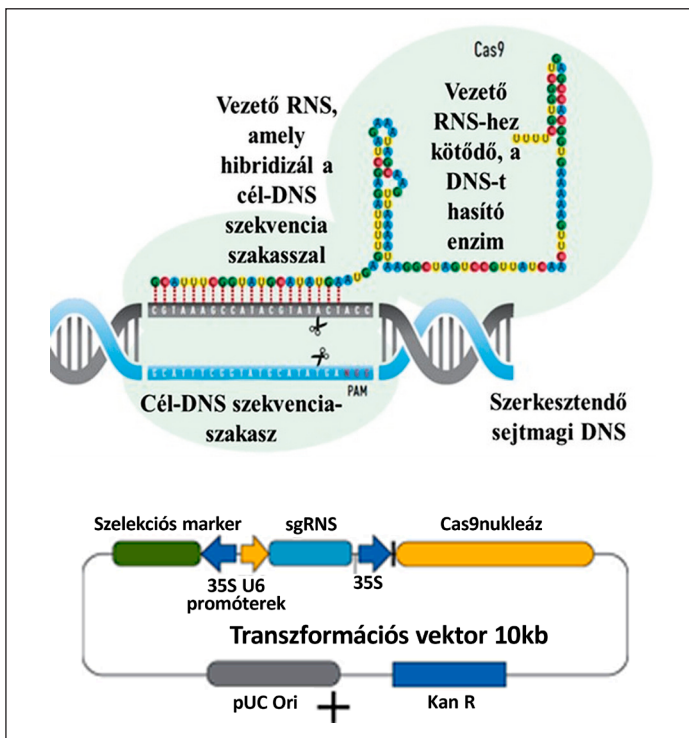
2. ábra. A búza és kukorica hazai termésátlagai
Forrás: Központi Statisztikai Hivatal 2023

Az erdők 30%-ban járulhatnak hozzá ahhoz, hogy a hőmérséklet-emelkedés 2% alatt legyen. Ezért az erdőket tekinthetjük a legfontosabb természeti segítségnek a klímaválság elleni akciókban. A klíma védelmét sokban szolgálhatja a zöldenergia hasznosítása, amelynek gazdaságosságát is jelentősen javíthatja a fa alapanyagok újszerű előállítás, mint például a rövid vágásfordulójú fűz, nyár nevelése marginális területeken. A biogáz-technológiák hatékonysága is sokban függ a faapríték kémiai paramétereitől.

A fent említett kihívások közös jellemzője, hogy a növények szerepe valamennyiben kiemelt jelentőségű, ezért a növények jobbítása, nemesítése meghatározó tényező. Az alábbiakban bemutatásra kerülnek a géntechnológiai nemesítés főbb módszerei, és példák igazolják azok eredményeit az emberiséget fenyegető kihívások kezelésében. További részletes elemzések és hivatkozások megtalálhatók az alábbi tanulmánykötetekben: Dudits Dénes (2019), *A bő termés biológiája. A precíziós növénynevelési alapjai*; Dudits Dénes és Gyuricza Csaba, szerk. (2023), *Zöld úton a klíma- és energiaválság kezelésében*; Dudits Dénes (2024), *Világunk kihívásai. Mit tehet a biotudomány és az agrár-bioteknológia?*

Genomszerkesztés a CRISPR/Cas9-technológiával

A tradicionális génbeviteli módszerek alkalmazásakor az új agronómiai gének teljesen véletlenszerűen épülnek be a nemesítési anyagok genomjába (Ikram et al. 2024). A transzgén elhelyezkedése a genomszerkezetben befolyásolja annak működését. Ezért az első generációs T_0 -növények utódait több generáción keresztül kell szelektálni, gyakran keresztezéssel kombinálva. Ezt a hatékonysági hátrányt küszöböli ki a génszerkesztés módszere azzal, hogy egy kiválasztott célgén néhány nukleotidját specifikusan kicseréli, ami működésképtelen vagy új tulajdonságú fehérje szintéziséhez vezet. Mint a 4. ábra bemutatja, az úgynevezett vezető (guide) sgRNS-molekula szekvenciapárosodás révén ismeri fel a célgén egyik DNS-szálát. Ehhez a vezető RNS- (ribonukleinsav) szakaszhoz csatlakozik egy további RNS-molekularész, amely a Cas9 (CRISPR-asszociált 9) DNS-t hasító nukleáz enzimmel alkot komplexet. Az RNS/nukleáz komplex kötődése specifikus, és a DNS hasításához vezet a célgén kiválasztott régiójában. A keletkező hiba kijavítása során következhetnek be a célszekvencia megváltozásai, mint a kivágódás vagy a beépülés, vagy akár a specifikus nukleotid csere.



4. ábra. A CRISPR/Cas9 génszerkesztési módszer biztosítja egy adott növényi gén nukleotid sorrendjének specifikus megváltoztatását, és a kódolt fehérje új tulajdonságának kialakítását

Forrás: Dudits 2024

A 4. ábra bemutatja a génszerkesztéshez használt transzformációs vektor főbb elemeit, így az sgRNS szintézisét biztosító U6-promótert. A nukleáz gén aktivitását egy *virális (35S) promóter biztosítja*. Egy ilyen promóter működteti a szelekciós marker gént. A vektor több bakteriális gént is tartalmaz. A CRISPR-technológia (Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats, halmozottan előforduló, szabályos közökkel elválasztott palindromikus ismétlődések) kidolgozásával kezdetét vette a genomika korszaka, amikor a gének specifikus szerkesztése mind a tudományos kutatás, mind a növénynevelés nélkülözhetetlen módszerévé vált.

Gyakori elvárás, hogy idegen faj DNS-e ne épüljön be a befogadó növény genomjába. Ezt biztosíthatja az *oligonukleotid irányított mutagenézis (ONIM)*, amikor mesterségesen megszüntetjük a DNS-szakaszt használunk a célgén egyetlen nukleotidjának kicserélésére (Tiricz et al. 2017; Nagy et al. 2023).

Géntechnológiával nemesített fajták a növénytermesztésben: termésbiztonság

Nagyon nehéz olyan növényi tulajdonságot találni, amelyet legalább kísérleti szinten nem érintett a transzgenikus technológia. Ilyen például a szárazságtűrés (Fehér-Juhász et al. 2014). Kiemelt figyelmet érdemelnek azok a génmódosítások, amelyek például hatékonyabb fotoszintézissel, nagyobb gyökérrendszerrel, az aszálytűréssel vagy a betegségekkel szembeni ellenállósággal növelik a növények biológiai produktívóját. A köztermesztésben elterjedt GM-fajták között találunk olyanokat, amelyek szárazság esetén javított termőképességgel rendelkeznek (5. ábra).



5. ábra. Argentína: szárazságtűrő HB4 búzafajta (jobb oldalon).
Az utóbbi tíz év száraz időjárásában 20%-kal több termést adott
Forrás: Bioceres Crop Solution Company Argentina, Rosario, Santa Fe

Egészséges élelmiszerek

A tradicionális rizsszemekben alacsony a β -karotin-tartalom (0,109 $\mu\text{g/g}$). Az emberi szervezet a β -karotint alakítja át a létfontosságú A-vitaminná. Ingo Potrykus és Peter Beyer az 1990-es évek elején indították el rizzsel a génbeépítési kutatást, amely a β -karotin-tartalom növelésével kívánta biztosítani az A-vitamin-szükségletet. Különböző aranyrizsváltozatok készültek el, amelyek 1,6 és 35 μg β -karotint tartalmaztak rizsgrammonként (6. ábra).



6. ábra. A β -karotin-tartalom növelésével az A-vitamin-szükséglet biztosítható a fejlődő országokban. A géntechnológiával előállított aranyrizs Ferenc pápa elismerését is elnyerte

Forrás: Dudits 2024

A lipidanyagcsere során a zsírsav-deszaturáz-2 enzim (FAD2) az olajsavat linolsavvá alakítja át. Így ennek az enzimnek a génjét több laboratóriumban is kikapcsolták (CRISPR/Cas9-technológiával), és olyan mutánsokat állítottak elő, amelyek szemtermésében a linolsav, linolénsav aránya 3% alá csökkent, míg az olajsav 80%-ban szintetizálódott (Demorest et al. 2016). A minneapolis-i Calyxt cég által génszerkesztéssel előállított, magas olajsavtartalmú szójaolajat engedélyezték egyrészt jó minőségű élelmiszer-alapanyagként, illetve takarmányként történő forgalmazásra az USA-ban. A cég 100 farmerrel kötött megállapodása lehetővé tette a mutáns szója 34 000 hold területen történő termesztését. A Calyno szójaolaj csökkentheti az LDL-koleszterint és a trigliceridszintet, illetve növelheti a kedvező hatású HDL-koleszterin mennyiségét.

A génszerkesztési nemesítés termékeihez kötődő jogi szabályozás

Számos ország, köztük az Európai Unió tagállamai esetében a géntechnológiai szabályozás középpontjában nem maga a termék áll, hanem – az elővigyázatosság elvére hivatkozva – annak előállításának folyamata, vagyis a technológia, amelynek segítségével megszülethetett az adott termék. Az előzőekben bemutatott példák, a 24 év alatt a 2,4 milliárd hektáron szerzett termesztési tapasztalat azokat az országokat igazolja, ahol a szabályozás más koncepciót követ, nevezetesen a termék jellemzői alapján történik az engedélyezés.

Számos szabályozási rendszer nem a génszerkesztéssel foglalkozik, hanem az „új genomikai technikákkal” (New Genomic Techniques, NGTs) (Bohlet et al. 2024). Érdekes számba venni, hogy milyen szabályozási variációk élnek az egyes országokban:

1. A génszerkesztés termékei nem igényelnek speciális szabályozást

A genomok módosítása nukleotid beépítéssel vagy kiejtéssel (célzott mutagenézis, ciszgenézis) nem esik speciális szabályozás alá. Ez a szabályozás érvényes több országban: USA, Kanada, Brazília, Argentína (ha nincs idegen DNS), Egyesült Királyság, Paraguay, Ecuador, Kolumbia, Izrael, Chile. Az Egyesült Államokban és Kanadában a génszerkesztésből származó termékek nem esnek a GMO biztonsági és a jelölési követelmények hatálya alá.

2. A génszerkesztésből származó termékek egyedi elbírálása

Ezt a megközelítést követi Kanada, Nigéria, Oroszország, Japán, Ausztrália, India, Pakisztán, Indonézia és a Fülöp-szigetek. Nem tekintik GM-szervezetnek az irányított mutagenézisből, illetve a saját gének beépítéséből (ciszgenézis) származó genotípusokat.

3. A génszerkesztésből származó termékek GMO-ként kezelendők

Ezt az álláspontot Új-Zéland képviseli. *Sajnos Magyarország is hasonlóan elveti ezt az innovációt!* Bár a propaganda szerint nálunk az innováció elsődleges cél.

4. A génszerkesztésből származó termékek szabályozásának módosítása

Az Egyesült Királyság, Kína és az Európai Unió dolgozik új szabályozási rendszeren. Így például Kína 2022 januárjától nem követeli meg a génszerkesztett növények több-éves tesztelését szabadföldön. Ugyanakkor nincs ilyen növény a termesztésben.

A klímaváltozás mérséklése szükségszerű

A világ különböző tájain a klímaváltozás tünetei az átlaghőmérséklet emelkedésében és a csapadékeloszlás szélsőségeiben nyilvánulnak meg. Az ENSZ Klímaváltozási Konferenciáján (COP21) 196 ország egyetértésével megszületett a Párizsi Megállapodás. Az ebben a megfogalmazott hosszú távú cél szerint a globális, éves átlaghőmérséklet emelkedését az iparosodást megelőző szinthez képest jóval 2 °C alatt tartják. Kis Anna, Szabó Péter és Pongrácz Rita a *Másféltek* weblapon közzétett tanulmányukban jelentős erős negatív összefüggést (−0,74) mutattak ki a kukorica hazai termésátlaga és a Pálfi-féle aszályindex között (Kis–Szabó–Pongrácz 2023). Vannak évek, például 2017, amikor súlyos termésvesztés érte a kukoricatáblákat, ezt mutatja, hogy az előző évhez viszonyítva 66%-os volt a hektáronként betakarított termés. Az erdők 30%-ban járulhatnak hozzá ahhoz, hogy a hőmérséklet-emelkedés 2 °C alatt legyen. Ezért az erdőket tekinthetjük a legfontosabb természeti segítségnek a klímaváltozás elleni akciókban. Az évente megkötött 100 billió tonna CO₂ kulcstényező lehet a klímahatások mérséklésében.

A növényi eredetű zöldenergia hasznosítása

A biomassza – és így az erdei fa elégetése – több szempontból is problémás. Más fűtési módszerekkel összehasonlítva kevésbé energiahatékony, és egyben szennyezőbb. A faállomány gyérítésével csökken az erdők által megkötött szén-dioxid mennyisége, így ez az energiatermelési módszer a klímavédelemnek egyértelműen negatív tényezője. Feltételezhetően ezekre a tényekre tekintettel az Európai Parlament, az Európai Bizottság és az Európai Tanács elfogadott egy kompromisszumos irányelvet, amely megszünteti az elégetéssel történő energia-előállítás pénzügyi támogatását. Ez vonatkozik az erdei fafajok elégetésére, az erőművekben történő faégetéssel történő villamos energia előállítására. Feltételezhető, hogy ez a döntés előtérbe fogja helyezni más olyan energiahordozók előállítását és használatát, amelyek megkímélik a hagyományos erdőket, hozzájárulnak a CO₂-szint csökkentéséhez, és lehetővé teszik a környezetkímélő módon zajló gazdaságos energiatermelést, akár mezőgazdasági növények termesztésére alkalmatlan területeken is. Erre egyedülálló megoldást jelentenek a rövid vágásfordulójú sarjasztásos (RVS) faültetvények, amelyek biomasszája 1–2 évenként betakarítással a biogáz fermentáció alapanyagaként hasznosítható (7. ábra).

Napjaink globális kihívásai középette, amikor az energiaigény jelentősen növekszik, a bioüzemanyagok jelentősége felértékelődik. Ezek között a nitrocellulóz fa

és hulladék alapanyagok gazdaságossági és környezeti szempontok alapján előtérbe kerülnek. Az ilyen biomasszában tárolt energia felszabadításához a nitrocellulóz-molekulák bontása szükséges. Ezt specializálódott szervezetek (gombák, baktériumok) komplex enzimszerei végzik. A ligocellulóz energiacélú feldolgozása biogáz reaktorokban történhet. A biogáz 45–70% metánt (CH_4), 30–55% szén-dioxidot (CO_2), nitrogént (N_2), hidrogént (H_2), kénhidrogént (H_2S) és egyéb maradványgázokat tartalmaz. Könnyen belátható, hogy a biogáz-alapanyagként felhasznált energiazöld fás szerveinek struktúrája, illetve kémiai paraméterei lényegesen befolyásolják a technológia eredményességét. Ezért kiemelt nemesítési célnak tekinthetjük a csökkent lignintartalmú energiazöld-variánsok előállítását. Például a triploid hibrid (TH3/12) viszonylag alacsony lignintartalma (14%) lehetővé tette biometán termelését magasabb koncentrációban (Dudits et al. 2022).



TAVASZ

OKTÓBER

FEBRUÁR

7. ábra. A rövid vágásfordulójú sarjasztásos energiazöld visszavágott hajtása, valamint a zöld és fás hajtások. Az így keletkező biomassa az erdőket kímélve hasznosítható zöldenergia-forrásként

Forrás: Dudits 2024

Következtetések

Napjainkban az emberiség számos kihívással néz szembe. Ezek sikeres kezelése nagymértékben függ a növények tulajdonságaitól, és így azok biológiai produktívájától. A növény-nemesítés mint az emberi érdekeket szolgáló mesterséges evolúció elsődleges feladata az, hogy olyan genotípusokat alakítson ki, amelyek sokban segítenek a problémák kezelésében.

A hagyományos nemesítési módszerek közös jellemzője, hogy a genetikai folyamatok véletlenszerűek, és csak többéves szelekcióval alakíthatók a kívánt tulajdonságok. A fentiekben bemutatott példák igazolják, hogy a génszerkesztéssel egy új metodikai korszak kezdődött, amely lerövidíti a fajta-előállítás folyamatát, a gének szerkezetét és működését a kívánt cél érdekében alakítja ki. A vitathatatlan eredmények ismeretében érthetetlen, hogy az új termékek elfogadása országoként eltérő. Az Európai Unió megtette az első lépéseket az „új genomikai technikák” (New

Genomic Techniques, NGTs) alkalmazása érdekében, hiszen ez elengedhetetlen eleme az innovációs versenynek. Sajnos hazánk mostani döntéshozói elutasítják ezt az uniós törekvést. Történik mindez annak ellenére, hogy Magyarországon is jelentős veszteségeket okoz például a klímaváltozás eredetű aszály.

Köszönetnyilvánítás

Jelen tanulmány az „Agrár-biotechnológia és precíziós nemesítés az élelmiszerbiztonságért” RRF-2.31-21-2022 Nemzeti Labor program keretében készült a HUN-REN Biológiai Kutatóközpont, Növénybiológiai Intézetében.

Irodalomjegyzék

- Bernal-Gallardo, Jazmin Judith – de Folter, Stefan (2024). „Plant Genome Information Facilitates Plant Functional Genomics”. *Planta*, 259, 117. <https://doi.org/10.1007/s00425-024-04397-z>.
- Bohle, Finja et al. (2024). „Where Does the EU-Path on New Genomic Techniques Lead Us?” *Frontiers in Genome Editing*, 6. <https://doi.org/10.3389/fgeed.2024.1377117>.
- Demorest, L. Zachary et al. (2016). „Direct Stacking of Sequence-Specific Nuclease-Induced Mutations to Produce High Oleic and Low Linolenic Soybean Oil”. *BMC Plant Biology*, 16, 225. <https://doi.org/10.1186/s12870-016-0906-1>.
- Dudits Dénes (2019). *A bő termés biológiája. A precíziós növénynemesítés alapjai*. Budapest: Mezőgazda Kiadó.
- Dudits Dénes (2024). *Világunk kihívásai. Mit tehet a biotudomány és az agrár-biotechnológia?* Budapest: INFORM Kiadó.
- Dudits, Dénes – Cseri, András – Török, Katalin et al. (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 Dénes – Gyuricza Csaba, szerk. (2023). *Zöld úton a klíma- és energiaválság kezelésében*. Gödöllő: Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem.
- Fehér-Juhász, Erzsébet et al. (2014). „Phenotyping Shows Improved Physiological Traits and Seed Yield of Transgenic Wheat Plants Expressing the Alfalfa Aldose Reductase Under Permanent Drought Stress”. *Acta Physiologiae Plantarum*, 36, 663–673. <https://doi.org/10.1007/s11738-013-1445-0>.
- Ikram, Muhammad et al. (2024). „CRISPR-Cas9 Based Molecular Breeding in Crop Plants: A Review”. *Molecular Biology Reports*, 51, 227. <https://doi.org/10.1007/s11033-023-09086-w>, https://www.researchgate.net/publication/377765411_CRISPR-Cas9_based_molecular_breeding_in_crop_plants_a_review.
- Kis Anna – Szabó Péter – Pongrácz Rita (2023). „Elkerülhető volna, hogy a tavalyi legsúlyosabb aszály három-négyévente forduljon elő a század végére Magyarországon”. *Másféltek* (2023. aug. 4.) <https://masfelfok.hu/2023/08/04/elkerulheto-volna-sulyos-aszaly-palfai-index-magyarorszag-klimavaltozas/>.
- Központi Statisztikai Hivatal (2023). *Főbb növénykultúrák terméseredményei, 2022 Kiadvány*. <https://www.ksh.hu/s/kiadvanyok/fobb-novenykulturak-termeseredmenyei-2023/index.html>.
- Nagy, Bettina et al. (2023). „CRISPR/Cas9 Mutagenesis through Introducing a Nanoparticle Complex Made of a Cationic Polymer and Nucleic Acids into Maize Protoplasts”. *International Journal of Molecular Sciences*, 24/22. <https://doi.org/10.3390/ijms242216137>.
- Németh Viktória (2022). „Jelentős a magyar termelés, mégis begyűrűzik a külföldi inflációja”. *Index* (2022. júl. 14.). <https://index.hu/gazdasag/2022/07/14/hazai-elelmiszerbiztonsag-a-geopolitikai-konfliktus-arnyekaban/>.

- Šutković, Jasmin – Nour, Hamad – Glamočlija, Petar (2021). „The Methods Behind Transgenic Plant Production: A Review”. *Periodicals of Engineering and Natural Sciences*, 9/4, 845–853. <https://www.semanticscholar.org/reader/5c1f6e61117eeb10487dd62c750cf9963661fc97>.
- Tiricz, Hilda et al. (2017). „Relaxed Chromatin Induced by Histone Deacetylase Inhibitors Improves the Oligonucleotide-Directed Gene Editing in Plant Cells”. *Journal of Plant Research*, 131/1, 179–189. <https://doi.org/10.1007/s10265-017-0975-8> <https://real.mtak.hu/62294/1/TiriczHJPlantRes2017.pdf>.