

SZAKDOLGOZAT

Hodászi Zsolt

2025



Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem
Budai Campus
Kertészettudományi Intézet
BSc alapképzési szak

**A genetikailag módosított növények jelentősége és alkalmazása
napjainkban**

Belső konzulens: Kissné Dr. Bába Erzsébet Ilona
egyetemi adjunktus

**Belső konzulens
intézete/tanszéke:** Növénytermesztési Intézet,
Növényélettan és Növényökológia Tanszék
Növényélettan és Molekuláris Biológia
Csoport

Készítette: Hodászi Zsolt

Budapest, 2025

Tartalomjegyzék

1. BEVEZETÉS	3
2. CÉLKITŰZÉS	5
3. IRODALMI ÁTTEKINTÉS	6
3.1 Kialakulás, történeti áttekintés	6
3.2 Géntechnológiai módszerek	7
3.2.1 Agrobaktérium.....	7
3.2.2 Génpuska	9
3.2.3 RNS-interferencia (RNAi)	9
3.2.5 TALENs	10
3.2.6 ZFNs.....	11
3.2.7 CRISPR-Cas-9.....	11
3.3 Génmódosított növények a kertészeti kultúrában.....	12
3.3.1 Paradicsom (<i>Solanum lycopersicum</i>)	12
3.3.2 Papaya (<i>Carica papaya</i> L.).....	13
3.3.3 Burgonya (<i>Solanum tuberosum</i> L.).....	14
3.3.4 Édesburgonya (<i>Ipomoea batatas</i> L.).....	15
3.3.5 Alma (<i>Malus domestica</i> Borkh.).....	15
3.3.6 Ananász (<i>Ananas comosus</i> L. Merr.).....	16
3.3.7 Szilva (<i>Prunus domestica</i> L.).....	16
3.3.8 Banán (<i>Musa acuminata</i> Colla, 'Cavendish' Subgroup).....	17
3.3.9 Padlizsán (<i>Solanum melongena</i> L.).....	17
3.3.10 Tök (<i>Cucurbita pepo</i> L.).....	18
3.3.11 Bab (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.)	18
3.3.12 Saláta (<i>Lactuca sativa</i> L.)	19
3.3.13 Kétspórás csiperke (<i>Agaricus bisporus</i>).....	20
3.3.14 Dísznövények.....	20
3.3.14.1 Petúnia (<i>Petunia hybrida</i>)	21
3.3.14.2 Szegfű (<i>Dianthus spiculifolius</i>).....	22
3.3.14.3 Torénia (<i>Torenia fournieri</i>)	22
3.3.14.4 Rózsa (<i>Rosa x hybrida</i>)	22
3.4 Génmódosított növények a szántóföldi kultúrában.....	23
3.4.1 Kukorica (<i>Zea mays</i> L.)	23
3.4.2 Rizs (<i>Oryza sativa</i> L.)	24
3.4.3 Szója (<i>Glycine max</i> L.).....	25
3.4.4 Gyapot (<i>Gossypium hirsutum</i> L.)	26

3.5 <i>A genetikailag módosított szervezetek kimutatása</i>	27
3.6 <i>A génmódosítás hatásai, eredményei</i>	28
3.7 <i>Jövőbeni kilátások</i>	29
4. KÖVETKEZTETÉSEK	30
5. ÖSSZEFOGLALÁS	31
6. IRODALOMJEGYZÉK	32
7. ÁBRÁK JEGYZÉKE	40

1. BEVEZETÉS

“Aki az olajat tartja ellenőrzése alatt, az egész nemzeteket tart ellenőrzése alatt. Aki az élelmet, az az embereket!”

(Henry Kissinger)

A génmódosított (GMO) növények elterjedése az Egyesült Államokból indult hódító útjára az 1990-es évek elején, ahol a mai napig jelen van, sőt szerepe a mezőgazdaságot tekintve meghatározó. Egyrészt ennek is köszönhető, hogy a szakdolgozatom megírásához ezt a témát választottam, ugyanis ezidáig komoly változásokat eredményezett világszerte: rezisztencia, tolerancia, termésminőség-javulás, stressztűrés - csak néhány azok közül a célok közül, ami miatt ezt az új technológiát alkalmazzák.

A génmódosítás jelenleg több, mint 30 országban van jelen, de a legjelentősebben és legnagyobb területen mégis a kiinduló országban, az Amerikai Egyesült Államokban. Ennek köszönhető másodsorban, hogy a témaválasztásom erre esett, ugyanis sikerült személyesen is megtapasztalnom, hogy milyen az a növény vagy élelmiszer, ami génmódosított. Ez annak tudható be, hogy négy nyáron keresztül dolgoztam egy amerikai gyermektáborban, ahol szinte napi kapcsolatban álltam genetikailag módosított zöldségekkel, gyümölcsökkel és nem utolsósorban készételekkel is.

Számomra nem mindennapi látvány volt az, amikor a félbevágott alma nem barnult be. Akkor még nem tudtam, hogy ennek mi lehet az oka. Mint kiderült később számomra, hogy génmódosítással lecsökkentették a gyümölcsben egy enzim, a polifenol-oxidáz működését. Érdeemes megjegyezni ezzel kapcsolatosan, hogy bármilyen sérülés vagy vágás hatására ez az enzim az oxigén jelenlétében elkezd bontani a polifenolokat, ami kémiai reakcióhoz vezet, aminek a következtében egy jellegzetes barna színt kap az alma húsa. Ez tulajdonképpen egyfajta védekezési mechanizmus a beható mikroorganizmusok ellen. Értelem szerűen a génmódosítás hatására ez a mechanizmus megszűnik és barnulás sem jelentkezik.

Az élmény eleinte kétség kívül meghatározó volt. Hogy miért? Mint ismert, Európa jelentős részén - így hazánkban sem engedélyezett a genetikailag módosított vetőmagok vetése, sem az ilyen növények termesztése. Ezt az Alaptörvény tiltja.

Mivel a génmódosítás egy viszonylag modern eszköze a mezőgazdaságnak, emiatt egyelőre nem tudni azt, hogy a génmódosított élelmiszerek fogyasztása hosszú távon milyen hatással van az emberi szervezetre. Ahhoz, hogy ez kiderüljön, még hosszú vizsgálatokkal teli éveknek kell eltelni, mire valamiféle kézzel fogható eredményt lehet majd felmutatni.

Mindezek következtében arra keresem a választ, hogy a génmódosítás, mint folyamat inkább pozitívum vagy negatívum a mezőgazdaság világában. Szakdolgozati hipotézisem szerint a génmódosítás komplexen hatott mind a kertészeti, mind pedig a szántóföldi kultúra fejlődésére, de eredőjüket tekintve mindenképpen előmozdították ennek fejlődését.

Szakdolgozatomban ezt a biotechnológiai folyamatot kívánom bemutatni, majd az ehhez kapcsolható fontosabb fogalmak és meghatározó események áttekintése után szeretnék kitekinteni, és következtetni, hogy a jelenlegi ismereteim birtokában mire lehet számítani a jövőben.

2. CÉLKITŰZÉS

Dolgozatomban a génmódosítás mezőgazdasági vonatkozásait szeretném vizsgálni. A szakomra való tekintettel ez elsődlegesen a kertészeti kultúrára terjed ki, ami magában foglalja:

- a zöldségféléket,
- a gyümölcsöket, és
- a dísznövényeket.

A szántóföldi kultúra esetében vizsgálni fogom a rizst, a szóját, a kukoricát, illetve a gyapotot. Mindezekről függetlenül a génmódosítás jelen van például az orvoslásban, ahol a technológia közvetlenül az emberi egészség javítását célozza meg, de megjelenik a vegyiparban is, ahol etanol és biogázt állítanak elő.

3. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

3.1 Kialakulás, történeti áttekintés

Ahogy a bevezetésben is említettem, több területen is megjelenik, ahol aktívan használják, ugyanakkor dolgozatomban csak az agráriummal kapcsolatos vonatkozásait fogom elemezni, vizsgálni. Ahhoz, hogy tisztán lássuk a képet, fontosnak tartom pontosítani a definíciókat.

Ismert, hogy a növények genetikai módosítása a tengerentúlról, az Egyesült Államokból ered. Ezzel összefüggésben az Egyesült Államok Mezőgazdasági Minisztériuma (USDA) a genetikai módosítás definícióját úgy határozta meg, hogy a növények vagy az állatok esetében az öröklődő tulajdonságok javítása, fejlesztése meghatározott célokra géntechnológiai úton vagy klasszikus nemesítési módszerek segítségével történik (http 1).

A génmódosítás, vagy röviden GMO,¹ a biotechnológia tudományterületének egy jelentős részét képezi. Mezőgazdasági szempontból definiálva elmondhatjuk, hogy élő sejtek vagy szervezetek genetikai tulajdonságainak a megváltoztatásával genetikailag módosított növényeket hozunk létre. A legelső ilyen mesterséges módszerrel létrehozott szervezet az 1970-es években történt, ami a kólibaktérium volt, tudományos nevén *Escherichia coli* (röviden *E. coli*). Ennek a laboratóriumban történő tevékenységnek az lett végül az eredménye, hogy ez a baktérium képes fejlődni antibiotikumot tartalmazó táptalajon (Balázs-Dudits, 2017).

A “biotechnológia” szót manapság egyre gyakrabban halljuk, vagy látjuk írott formában. A szó érdekessége, hogy nincs köze semmilyen külföldi személyhez, viszont annál inkább egy magyar gépészmérnökhöz, egy bizonyos Ereky Károlyhoz. A kifejezést ő definiálta először: a “*munkaszervezés-tudomány (technológia) új, az élő organizmusokkal, biológiai munkagépekkel foglalkozó ága, amely hasznosítható termékeket állít elő.*” (Dudits-Györgyey, 2013: 11).

A klasszikus definíció szerint olyan folyamatot takar, melyben élő szervezet vagy ahhoz köthető részek végeznek valamilyen késztermék előállítását. Mindazonáltal, ez a megfogalmazás inkább vonatkozott ipari jellegű gyártási eljárásokra, mivel a biotechnológia fogalma hozzávetőleg a hetvenes évekig csak az ipari területeken volt használatos (Dudits-Heszky, 1990).

¹ GMO - az angol genetically modified organism kifejezés rövidített változata.

Ma a biotechnológia egyik legfontosabb ága a géntechnológia. Ez nem csak egy újabb fogalom, amiről érdemes több szót ejteni, hanem egyike a mai modern biotechnológiai eszközöknek. A géntechnológia a dezoxiribonukleinsav² mesterséges módosításának tudománya és egy technológiája is. Ez lehetővé teszi a gének célzott megváltoztatását, melynek során új tulajdonságokkal rendelkező élőlény vagy biológiai anyag jön létre (Velich, 2001).

Dudits és Györgyey (2013) meglátása szerint genetikai viszonylatban nézve minden növénynemesítési módszerrel létrehozott növény genetikailag módosított. Mint ismert, a haszonnövényként tenyésztett növényeink esetében a növénynemesítés valamely módszerét alkalmazzuk a célból, hogy jobb tulajdonsággal felvértezett fajta jöhessen létre. Ennek segítségével többek között növelni tudjuk a terméshozamot, ellenállóbbá tudjuk tenni a környezeti stresszel szemben vagy a fajta minőségi tulajdonságain tudunk javítani.

3.2 Géntechnológiai módszerek

Ahogy a bevezetőben is említettem, a géntechnológia az élőlények DNS-ének közvetlen módosításával foglalkozó tudományterület. Ennek során egy adott növényi szervezet génjeit mesterséges beavatkozással laboratóriumi körülmények között módosítják: beillesztenek, eltávolítanak vagy kicserélnék bizonyos génszakaszokat. Ezt az eljárást genetikai transzformációnak nevezik, az újonnan létrehozott növényeket pedig transzgenikusnak. Ezzel olyan eddig nem létező tulajdonságokat lehet elérni egy adott növény esetében, amelyeket a növénynemesítés eddig ismert módszereivel lehetetlen vagy éppenséggel nagyon nehéz lenne (Tóth, 2004).

3.2.1 Agrobaktérium

Elterjedt és széles körben alkalmazott technika bizonyos talajlakó baktériumok közvetítésével történő génátvitel. Ezek név szerint az *Agrobacterium tumefaciens* és az *Agrobacterium rhizogenes*. Ezek olyan talajlakó baktériumok, amik a növényeknek főleg a gyökerén, de olykor a szárán is okoz golyvás megbetegedést (Glits-Folk, 2001). Az 1. ábra jól szemlélteti a baktérium okozta golyvásodás tünetét.

² Dezoxiribonukleinsav - közismert magyar rövidítése a DNS, angol rövidítése a DNA.

1. ábra: Agrobacterium-fertőzés növényi részen

(Forrás: <https://www.apsnet.org/edcenter/apsnetfeatures/Pages/Agrobacterium.aspx> (2008))



Az *Agrobacterium tumefaciens* által közvetített transzformáció az egyik legelterjedtebb genetikai módosítási módszer. A módszer lényege leegyszerűsítve az, hogy a kívánt gént a baktérium transzfer DNS-ének a segítségével juttatjuk be a módosítani kívánt növény genomjába. Ott stabilan beépül és ki is fejeződik. Az eljárás sikerének egyik alapvető feltétele, hogy a baktérium bejusson a gazdanövény sejtjeibe. A másik feltétel, ami szükséges a sikerhez, hogy az *Agrobacterium* virulencia génjeinek aktiválódása végbemenjen. Az előbb említett két lépés kulcsszerepet játszik abban, hogy a transzfer DNS átadása és integrációja a növényi genomban megfelelően végbemenjen (Aalami et al. 2023).

Az *Agrobacterium* segítségével megvalósult transzformáció pozitív eredményét számos tényező befolyásolja: a felhasznált *Agrobacterium* törzs típusa, az adott növény genotípusa, a növényi rész eredete, kora, valamint a regenerációs és szelekciós táptalaj összetétele. Ezeknek a tényezőknek az optimalizálása létfontosságú a hatékony és stabil transzgénikus növények előállításához (Koetle et al. 2015).

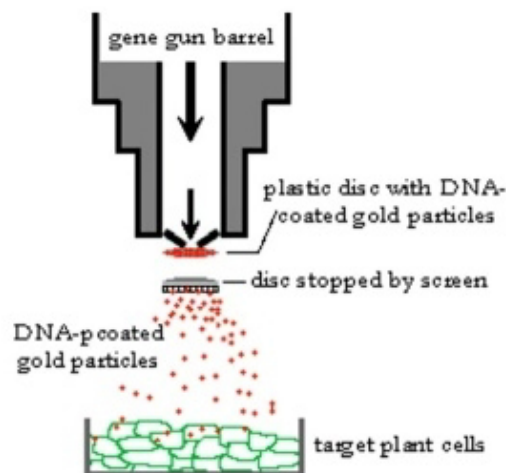
Ez a mikroorganizmus a fertőzés során képes átvinni a saját DNS-ének egy darabját, a T-DNS-t az adott növényi sejtekbe, ami egyúttal stabilan integrálódik az adott növényi sejtmag DNS-ébe (Dudits-Heszky, 1990). Ezzel mintegy megváltozik a növény genetikai állománya, amivel egyfajta természetes génátvitel történik.

3.2.2 Génpuska

Sikeresen alkalmazható technika a génpuskával történő bevitel. Ebben az esetben általában apró arany vagy wolfram részecskék felületét a génátvitelre kiválasztott DNS-sel bevonják, majd nagy sebességgel belövik az adott növényi sejtbe. Az apró fémrészecskéken lévő idegen DNS bejut a sejtbe, majd így beépül a sejt genomjába. Ezt a 2. ábra jól bemutatja. A biotechnológusok meglátása szerint ez egy igen hatékony génátvitelt tesz lehetővé (Pusztai-Bardócz, 2004).

2. ábra: Génpuska működési elve

(Forrás: <https://www.biotechfront.com/2020/12/gene-gun-instrumentation-applications.html> (2020))



Nem túl ismert, de genetikailag módosított növények előállítására sikeresen alkalmazható vektorok még a cosmidok, vagy a mesterséges élesztő kromoszómák, amiket DNS-fragmensek klónozására használnak (Gupta et al. 2024).

3.2.3 RNS-interferencia (RNAi)

Számos fontos növény terméshozamát befolyásolja a növénykárosító rovarok és gombák általi támadások. A nemesítési technikák fejlődése képes volt növelni a terméshozamokat, azonban a hozamnövekedés egyik kritikus tényezője a növényvédőszeres tömeges felhasználását is eredményezte. A növényvédő szerek nagyfokú használata azonban szelekciós nyomással van a kórokozókra és kártevőkre, aminek az eredménye rezisztencia

kialakulásához vezet. Ennek megoldására az RNS-interferencia lett a legígéretesebb eszköz, mely hatékonyan alkalmazható a növényi kártevők és kórokozók elleni védekezésben. Előnye, hogy szekvenspecifikus célzáson alapul a módszere, melynek köszönhetően ez a technológia egyre nagyobb kutatási hangsúlyt kap, főleg költséghatékony volta miatt (Choudry et al. 2024).

Az RNS-interferenciát az 1990-es években egyfajta génelnyomásként írták le, majd később kezdték el használni a géncsendesítés kifejezést. Az a képesség, hogy egy gén kifejeződését csökkenteni lehessen, először a génfunkciók vizsgálatának eszközeként került alkalmazásra. A fenotípusban bekövetkező változás megfigyelése információt adhat az elnyomott gén szerepéről. Ugyanakkor hamar felismerésre került természetett növények esetében, hogy az RNS technológia lehetőséget adott a génkifejeződés csökkentésére, hogy kedvező tulajdonságokat alakítsanak ki, például vírusrezisztencia kialakítása, rovarkártevők elleni védelemben vagy érési folyamat lassítására. Világszerte forgalomban van több olyan transzgenikus növény, mely RNS-tulajdonságokat tartalmaznak, ilyen például a papaya, vagy az alma (Velez et al. 2024).

3.2.5 TALENs

A TALENs egy új módszer, amit genomszerkesztéshez használnak. A transzkripció aktivátorszerű (TAL) effektorok egy újonnan leírt DNS-kötő fehérjék osztályát képviselik, amelyek eddig egyedülállóak a célfelismerés mechanizmusának egyszerűsége és módosíthatósága szempontjából. Ezek a fehérjék a Xantomonász nemzetségébe tartozó növénypatogén baktériumból származnak, melyek képesek szabályozni a gazdanövény génkifejeződését: a baktérium III-as típusú szekréción rendszerén keresztül jutnak be a sejtmagba, ahol a promóterek specifikus szekvenciáihoz kötődve aktiválják a transzkripciót (Cermak et al. 2011).

A TALEN technológiában a DNS-felismerő egység a FokI nukleázzal összekapcsolódik, mely által célzott kettős szálú DNS töréseket hoz létre meghatározott genomi helyeken. Ezt követően a sejt saját javító mechanizmusai - a nem homológ végösszekapcsolás (NHEJ) vagy a homológ rekombináció (HR) - révén precíziós módosítások hozhatók létre. A precíziós genomszerkesztés alkalmazása napjainkban egyre elterjedtebb a génfunkciók vizsgálatában, valamint új tulajdonságok létrehozásában a növényfajok esetében (Cermak et al. 2014).

3.2.6 ZFNs

A mezőgazdasági biotechnológiát a hagyományos, random mutagenézis és a transzgenézis gyenge hatékonysága korlátozza. A mezőgazdasági termelékenység és a globális élelmiszertermelés javítására irányuló jelenlegi megközelítések, mint például a kártevőkkel szembeni ellenállóság kialakítása olyan hagyományos biotechnológiai módszerek egyikén alapulnak, mint a mutációs nemesítés, ami nem igazán specifikus és kevésbé hatékony. A növények esetében a célzott genomszerkesztés eddig nehezen volt kivitelezhető, a növényi tulajdonságok módosítása időigényes és kiszámíthatatlan folyamat. Erre a problémára jött létre egy széles körben alkalmazható, sokoldalú módszer, a tervezett cink-ujj nukleázok (ZFNs³), melyek kettős szálú törést idéznek elő célzott lokuszok esetében (Shukla et al., 2009).

Ezt a genomszerkesztési technikát kezdetben az ecetmuslica (*Drosophila melanogaster*) esetén alkalmazták, mely lehetővé teszi a hatékony és pontos genetikai módosítást úgy, hogy kettős szálú törést hoz létre egy célzott szekvenciában, amelyet követően a kívánt módosítások a DNS-törés javítása során alakulnak ki. A kettős szálú törést egy "cink-ujj nukleáz" (ZFN) idézi elő, ami egy tervezett, szekvenciaspecifikus enzim. Ez testre szabható úgy, hogy a kiválasztott DNS-célpontot hasítsa. A növények esetében ez azt jelenti, hogy több tulajdonságot egyesítenek egyetlen növényben (Urnov et al. 2010).

3.2.7 CRISPR-Cas-9

A klasszikus növénynemesítési technikákhoz viszonyítva, mint amilyen például a keresztezés, vagy az eltérő növényfajok között létrejött hibridizáció, a CRISPR és a hozzá hasonló módszerek az örökítő anyag felett magas ellenőrzést biztosít kutatóknak (Doudna és Sternberg, 2021).

A génszerkesztési módszerek tekintetében több változat is létezik, amikből lehet választani, mindazonáltal a legmodernebb és egyben a legújabb technológia kétség kívül a CRISPR/Cas-9. A technológia megalkotásáért az amerikai származású Jennifer A. Doudna vegyész és a francia nemzetiségű Emmanuelle Charpentier mikrobiológust 2020-ban fele-fele részben megosztva kémiai Nobel-díjjal jutalmazták ([http 2](http://2)).

A baktériumok adaptív immunrendszereinek, azaz a CRISPR⁴-rendszereknek és a hozzájuk kapcsolódó (Cas) rendszereknek a nemrégiben történt felfedezése vezette be ezt a legújabb genomszerkesztési eszközkészletet. A CRISPR-Cas módszere a fehérjéket és rövid

³ ZFN - az angol Zinc-Finger Nuclease szó rövidítése.

⁴ CRISPR - az angol Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats rövidítése.

RNS-ek kombinációját használja arra, hogy specifikus DNS-szekvenciákat célozzanak meg. A baktériumok idegen DNS-szekvenciákat gyűjtenek például bakteriofágokból, beépítik azokat a genomjukba, amit irányító RNS-ek kifejezésére használnak fel. Ezeket később arra használ fel, hogy elpusztítsa a számára megfelelő DNS-szekvenciákat (Gupta és Musunuru, 2014).

Ezt a rendszert több típusra és altípusra osztják: az 1-es osztályba számos fehérje tartozik, amelyek komplexeket alkotnak, míg a 2-es osztályba csak egyetlen fehérje tartozik. Közülük a Cas9 a legszélesebb körben alkalmazott eszköz a fejlesztésben. A CRISPR/Cas9 leegyszerűsíti a folyamatot azáltal, hogy génkikapcsoló mutánsokat hoz létre a kívánt tulajdonságokért. A hangsúly a Cas9 fehérjék diverzifikálására, illetve különböző baktériumokban található Cas9 fehérjék felkutatására helyeződött, melyek eltérő szekvenciákkal rendelkeznek (Tiwari et al. 2023).

3.3 Génmódosított növények a kertészeti kultúrában

3.3.1 Paradicsom (*Solanum lycopersicum*)

A viszonylag rövid tenyésztési idővel rendelkező zöldségnövény genetikailag módosított változata 1994-től egészen három éven keresztül volt forgalomban hol máshol, ha nem az Egyesült Államokban. A szóban forgó fajta a 'Flavr Savr.' A paradicsomról köztudott, hogy gyorsan puhul, főleg érés után, így tulajdonképpen a génmódosítás célja az volt, hogy szüretelés után elnyújtott legyen a puhulás, és meghosszabbodjon annak eltarthatósága. Ezt a növényben jelen lévő pektin elbomlását kiváltó gén működését gátolták. Végül beszüntették termesztését, mert nem minősült versenyképesnek a piacon jelen levő fajtákhoz képest (Lobato-Gómez et al. 2021).

A paradicsom egy kiváló alany arra, hogy annak flavonoid tartalmát genetikailag megnöveljük. Világszerte ismert fontos zöldségnövényünk, azonban a flavonoid-tartalma, ideértve az antocianinokat is alacsony, mivel a legtöbb paradicsomfajta nem termel antocianinokat magában a gyümölcsben (Butelli et al. 2008).

Martin és Butelli (2024) létrehozta a kívül-belül lila színű paradicsomot. Ahhoz, hogy ezt elérjék, meg kellett növelni a paradicsom antocián szintjét. Ehhez két transzkripció faktorot kellett kifejezni a zöldségben, ami intenzív lila színt eredményezett mind a héjban, mind pedig a húspan. A két gén a kerti orozzlánszájból (*Antirrhinum majus*) származik, melynek virágai ráadásul emberi fogyasztásra alkalmasak is. Az említett transzkripció faktorok biztonságosnak tekinthetők, mivel hasonló szabályozó gének felelősek az antocián termelésért például a paprikában és a padlizsánban. A genetikailag módosított lila paradicsom biztonságosságát az

élelmiszer hatóságok értékelték és nem találtak humánegészségügyi kockázatot. Ennek eredményeként 2023-tól az Egyesült Államokban engedélyt kapott a forgalmazásra, majd 2024-ben a magok értékesítése is megkezdődött, így lett ez az első olyan genetikailag módosított zöldségnövény, melyet otthon termesztésre is engedélyeztek.

A gamma-aminovajsav (GABA)⁵ egy nem fehérjéből származó aminosav, mely széles körben megtalálható baktériumokban és növényekben egyaránt. Képes hatékonyan csökkenteni a magas vérnyomást, azonban nincs hatással a normál vérnyomású egyénekre. Ennek érdekében kezdték el a paradicsom esetében a GABA-tartalmát megnövelni, mivel ez az egyik legnagyobb mennyiségben termesztett és fogyasztott zöldségféle. A paradicsom termesztése során a GABA jelentős mértékben akkor halmozódik fel, mikor az még csak zöld érettségi stádiumban van. Azonban, amikor a termékek elérik a piros érettségi szintet, a GABA-szint 20% alá csökken a növényben. A CRISPR/Cas 9 génszerkesztési módszer segítségével olyan paradicsomvonalat sikerült előállítani, amelyben jelentősen megnőtt a γ -aminovajsav tartalom. A kutatók a paradicsom fejlődése során aktívan kifejeződő enzim két funkcionális régióját törölték. Az így kapott vonalakban 7-15-szörös GABA-felhalmozódást figyeltek meg. (Nonaka et al. 2017).

3.3.2 Papaya (*Carica papaya* L.)

Akármennyire is melegszik éghajlatunk, sajnos még egy jó darabig nem fenyeget az a veszély, hogy a trópusi éghajlaton jól ismert papayát termesszünk kertünkben.

Ez a faj különleges helyet foglal el a biotechnológia történetében, mert ez volt az első genetikailag módosított gyümölcs, amelyet 1998-ban engedélyeztek és azóta is elérhető kiskereskedelmi forgalomban. Ennek létrehozását a gyűrűs foltosság vírus, röviden a PRSV⁶ megjelenése tette szükségessé, amely a papaya termesztését súlyosan korlátozta. A vírus fertőzése sárgulást, mozaikos levélszíneződést és torz termést okoz, amelyek negatívan befolyásolják a növekedést, csökkentik a gyümölcs minőségét, és megakadályozzák a terméskötődést. Ismert, hogy vírusok ellen a vegyszerrel történő közvetlen védekezés nem megoldható. Erre a problémára jó megoldásnak tűnt a génmódosítás. Amerikai kutatóknak sikerült beépíteniük az említett vírus köpenyfehérjét kódoló gént a papaya genomjába, amely immunitást biztosított a fertőzéssel szemben. Ez tulajdonképpen egy pozitív példája a génmódosításnak, ugyanis ezzel sikerült megmenteni Hawaii papaya-termesztő iparát egy nagy gazdasági kártól (Jia et al. 2017).

⁵ GABA - az angol gamma-aminobutyric acid rövidítése.

⁶ PRSV - az angol papaya ring-spot vírus

3.3.3 Burgonya (*Solanum tuberosum* L.)

A burgonya esetében két negatívan végződő történet áll rendelkezésre. 1991-ben az Egyesült Államokban kifejlesztettek két olyan transzgenikus burgonyát, ami egy vírus a PRLV⁷, illetve egy rovarkártevő, a burgonyabogár ellen lett rezisztens. Termesztésük 1995-ben indult el 1800 hektáron, majd három évvel később már 18 000 hektáron termesztették. 2002-ben viszont hirtelen el is tűntek. Ennek oka, hogy először a gyorséletterem-láncok majd a feldolgozó gyárak hirtelen megtagadták annak feldolgozását. Ez egy igen erőteljes üzenet volt a termesztők felé, hogy hagyják abba a termesztést. Annak ellenére vallott piaci kudarcot a génmódosított burgonya, hogy a termesztés időszakában jelentősen csökkentek az ehhez kapcsolódó permetszerek használata. Az amerikai fogyasztók ugyanis szkeptikusak voltak a genetikailag módosított burgonya fogyasztását illetően (Toevs et al. 2011)

A génmódosított burgonya európai esete mintegy tizenöt évvel ezelőttre nyúlik vissza, és érdekes módon ennek fejlesztésében ezúttal nem amerikai kutatók, hanem európai szakemberek játszottak vezető szerepet ennek kifejlesztésében. Az európai biotechnológia történetében ez mérföldkönek számított, ám nem sokáig tartott az öröm. A BASF német vegyipari nagyvállalat az 'Amflora' fajtájú burgonyán végeztek mesterséges beavatkozást azáltal, hogy annak keményítő összetételét változtatták meg. Sikerült lecsökkenteni a burgonyában lévő GBBS⁸ enzim génjének kifejeződését, aminek hatására egy amilopektin típusú keményítő nagy mennyiségben halmozódik fel. Ez a keményítő különösen alkalmas ipari felhasználásra például papírban történő felhasználásra (Tilocca et al. 2014).

Clasen és munkatársai (2016) a TALEN génszerkesztési technológiát használták fel arra, hogy a 'Ranger Russet' burgonyafajta tárolása során ne halmozódjon fel benne az akrilamid szint, illetve ne barnuljon meg. Mivel a burgonyát évente csak egy alkalommal takarítják be, a termést hűtve kell tárolni, hogy egész évben feldolgozásra alkalmas és jó minőségű alapanyag legyen. Hűtő tárolás nélkül a burgonya fél évig őrzi meg minőségét. Azonban, a hideg hatására édesedni kezd a burgonya, mivel a benne lévő keményítő először lebomlik szacharózzá, majd vakuoláris invertáz (Vlnv) glükózzá és fruktózzá bontja tovább. A TALEN-technológia segítségével mutációkat lehetett elérni a növényben, melynek hatására megszűnt annak a Vlnv gén működése, amely a gumók cukorképződéséért felelős a hidegen tárolás következtében. Mindazonáltal, ennek a technológiának a használatával nem történt

⁷ PRLV - az angol Potato Leafroll Virus.

⁸ GBBS - az angol Granule Bound Starch Synthase.

idegen DNS-beépülés a burgonyába, vagyis gyakorlatilag nem különböznek a természetes úton előforduló fajtáktól.

3.3.4 Édesburgonya (*Ipomoea batatas* L.)

Magyarországon is egyre népszerűbb az édesburgonya fogyasztása. A nevéből kifolyólag a növény nem azonos családba tartozik a fentebb tárgyalt burgonyával. Az előbbi ugyanis a burgonyafélék (*Solanaceae*) családjához tartozik, míg az édesburgonya a szulákfélék (*Convolvulaceae*) családjához tartozik, ahol jellemzően kúszónövényeket találunk.

Kyndt és munkatársai (2015) a növény sejtjeiben képződő RNS⁹ vizsgálata közben bakteriális géneket fedezett fel a növény genomjában. Mint kiderült, ezek a baktériumi élőlények az *Agrobacterium* nemzetséghez tartoznak, vagyis természetes úton került a növénybe. A kutatók két különálló, *Agrobacterium*-eredetű DNS-szakaszt azonosítottak az édesburgonya genomjában. Ezek a gének minden termesztett édesburgonyafajtában megtalálhatóak, viszont hiányoznak a vad rokon fajokból. Ez arra utal, hogy a baktériumfertőzésből származó DNS-beépülés nem újkeletű esemény a növény életében. Ebből arra lehet következtetni, hogy a domesztikáció előtt vagy aközben történt, ami azóta rögzült a termesztett édesburgonyákban. Mindezek következtében elmondható, hogy ez a sokak által ismert és fogyasztott zöldségféle a génmódosítás természetben lejátszódó folyamatának az eredménye - a génátvitel nemcsak laborban történhet, hanem evolúciós folyamatként is létezhet.

3.3.5 Alma (*Malus domestica* Borkh.)

Ahogy a bevezetőben is említettem, genetikailag módosított almával személyesen is volt szerencsém találkozni, sőt fogyasztottam is. A gyümölcs különlegessége abban rejlik, hogy nem barnul meg felvágás következtében.

A génmódosított alma története 2003-ban kezdődött, amikor is egy kanadai mezőgazdasági-biotechnológiai vállalat az akkori amerikai trendeket követve olyan gyümölcsöt kezdett kifejleszteni, ami hosszabb ideig eltartható, vagyis tovább friss marad. Az almáról ugyanis köztudott, hogy a gyümölcs húsa bárminemű sérülés hatására elkezd bebarnulni. 2011-ben odáig jutott a fejlesztés, hogy két, világszerte jól ismert almafajta a 'Granny Smith' és a 'Golden Delicious' módosított változata eljutott az engedélyezési szakaszba az Egyesült Államokban és Kanadában. 2015-ben végül megkapta a forgalmazási engedélyeket is. Ezt követte 2016-ban a 'Fuji' fajta genetikailag módosított változata is. A

⁹ RNS - egy polimer makromolekula, a ribonukleinsav magyar rövidítése.

szóban forgó fajtákat egy márkanév alatt hozzák forgalomba ‘Arctic®’ néven. A vállalat meglátása szerint jelentős költségmegtakarítást érnek el azzal, hogy beleavatkoztak az alma genomjába, mivel az oxidáció elleni használatos vegyszerek igen költségesek (Tucker, 2018).

Az alma barnulása egy oxidációs folyamat révén történik: a polifenol-oxidáz (PPO) enzimek katalizálják a polifenolok oxidációját, ami a barnulást eredményezi a gyümölcs húsán. Ennek megoldására az RNS interferencia (RNAi) technológiát alkalmazták: a tudósok kikapcsolták az almában azt a gént, ami a polifenol-oxidáz enzimet termeli. Ennek eredményeképp a gyümölcs képes akár három hétig is barnulás nélkül maradni vágás vagy sérülés esetén (Waltz, 2015).

3.3.6 Ananász (*Ananas comosus* L. Merr.)

Az ananász egy mindenki által ismert és fogyasztott trópusi gyümölcs. A klasszikus ananász húsa sárga, édes-savanyú ízvilágú, ezzel szemben a genetikailag módosított változat esetén a gyümölcs húsa rózsaszín.

Hús évvel ezelőtt, 2005-ben kezdődött a rózsaszín ananász mesterséges létrehozása, amibe a Del Monte vállalat fogott bele. A Pinkglow™ néven futó ananász megalkotásához a gyümölcs karotinoid-anyagcseréjét módosították úgy, hogy a gyümölcshúsban nagy mennyiségben halmozódjon fel a likopin. Ez egy olyan pigment, amely a paradicsom és a görögdinnye vörös színéért is felelős. Habár a Del Monte vállalat már 2016-ban megkapta az engedélyt az FDA-tól, az Egyesült Államokban ez a gyümölcs csak 2020-ban került a boltok polcaira. (http 3).

A hagyományos, sárga húsú ananászban a likopint a likopin-béta-cikláz enzim átalakítja át karotinoidokká, például béta-karotinná, amely a gyümölcs sárgás színét adja. A rózsaszín húsú változatban ennek az enzimnek az aktivitását RNS-interferencia (RNAi) alkalmazásával visszafogták, aminek az lett az eredménye, hogy a likopin nem alakul tovább, hanem felhalmozódik a szövetekben, rózsaszínes árnyalatot adva a termésnek. Az ananász esetében is az almánál alkalmazott technológiát vették igénybe. (http 4).

3.3.7 Szilva (*Prunus domestica* L.)

A szilva egy világszerte ismert csonthéjas gyümölcs, melynek a legkomolyabb betegsége a szilvahimlő. Ezt a betegséget az RNS vírusok csoportjába tartozó, szinte világszerte elterjedt PPV¹⁰ okozza. Magyarországon 1948-ban azonosították (http 5).

¹⁰ PPV - az angol Plum Pox Virus rövidítése.

Az első genetikailag módosított PPV-rezisztens szilvát 1994-ben hozták létre amerikai-francia együttműködés keretében. Akkor a kutatók a PPV köpenyfehérje gént juttattak be a szilvába a már ismert *Agrobacterium* közvetítésével. Ennek eredménye lett egy C5 nevű klón, melynek kereskedelmi neve a 'HoneySweet' lett, ami nagyon magas ellenállóságot mutatott a PPV-vel szemben akár levéltetűvel végzett átvitel, akár mesterséges oltással fertőzött kísérletek során. További tesztek kimutatták, hogy a 'HoneySweet' szilva nem termeli a vírusfehérjét, ami arra utal, hogy a védekezés nem fehérje kifejeződésen alapul, hanem RNS-interferencia (RNAi) mechanizmussal védekezik a PPV ellen, mely így stabil és hatékony vírusrezisztenciát biztosít. Európában (például Csehországban, ELISA és PCR tesztekkel) megerősítették, hogy a transzgenikus fák tartósan rezisztensek maradtak és a vírus sem volt kimutatható a növényekből (Polák et al. 2017).

3.3.8 Banán (*Musa acuminata* Colla, 'Cavendish' Subgroup)

A világ első génmódosított banánját Ausztráliában fejlesztették ki. Tették mindezt azért, hogy egy talajlakó gomba, a *Fusarium oxysporum* f. sp. cubense Tropical Race 4 (TR4) rassa ellen védekezzenek. Ez a gomba fuzáriumos hervadást, vagy más néven Panama-betegséget okoz a világszerte ismert és egyeduralkodónak számító 'Cavendis' fajta esetén. Nincs ellene hatékony vegyszeres védekezés vagy természetes rezisztenciával rendelkező *Cavendish*-fajta. Az ausztráliai Queensland Egyetem kutatóinak sikerült az *Agrobacterium tumefaciens* által közvetített módszerrel létrehozni egy olyan transzgenikus 'Cavendish' vonalat, amelyben a vad típusú banánból (*Musa acuminata malaccensis*) származó RGA2 rezisztenciagént juttatták be. A kísérleti eredmények szerint ez a gén stabil és tartós védelmet biztosított a fuzárium említett rasszával szemben. A génmódosítás így potenciális megoldást kínál a globális banánválságra, amit a fent nevezett gomba jelenléte okoz, illetve jó alapot ad további kutatásokhoz a génszerkesztés területén (Dale et al. 2017).

3.3.9 Padlizsán (*Solanum melongena* L.)

A padlizsán fontos és nagy arányban termesztett zöldségnövény, különösen Ázsia déli részén, Bangladesben, ahol 'brinjal' a helyi neve. Ugyanakkor, a termesztés egyik jelentős kihívása egy, a lepkék rendjébe tartozó károsító, a padlizsán gyümölcsfűró lepke (*Leucinodes orbonalis*). A hagyományos nemesítési módszerekkel nem sikerült olyan padlizsánfajtát előállítani, amely tartós rezisztenciát mutatott volna a fent nevezett kártevővel szemben. A probléma megoldására a kutatók a *Bacillus thuringiensis* (röviden Bt.) talajbaktériumból

származó Cry1Ac nevű fehérje génjét használták. Ez a a lepkefélék bélrendszerébe jutva gátolja a táplálkozásukat, ezzel elpusztítva őket, miközben más élőlényekre - köztük az emberre és a hasznos rovarokra - nem mérgező. A gén beépítésével a padlizsán a Cry fehérjét a növény szöveteiben termeli, így belső védelmet biztosít a fent nevezett károsító ellen anélkül, hogy rovarirtó permetezésre lenne szükség. A transzgénikus növény létrehozása eredményeképpen a bangladesi kormány 2013 őszén engedélyezett rögtön négy változatot is BARI Bt Begun-1, 2, 3, 4 névvel ellátva, így Bangladesben ez lett az első engedélyezett genetikailag módosított élelmiszernövény, melyet kereskedelmi termesztésre engedélyeztek (Quamruzzaman, 2021).

A Cry fehérje biztonságossága nem új keletű: ezt a génkonstrukciót világszerte alkalmazzák több mezőgazdasági növényben is, melyek elsősorban a lepkék, a kétszárnyúak, a hártvászárnyúak és bizonyos fonálférgék elleni védekezés céljából jöttek létre. Jelentős biotechnológiai alkalmazással bírnak, különösen a biológiai növényvédelem és a *Bacillus thuringiensis* által genetikailag módosított növények fejlesztése területén, ahol természetes eredetű rovarrezisztenciát biztosít a célkártéveőkkel szemben (Pigott et al. 2008).

3.3.10 Tök (*Cucurbita pepo* L.)

Niraula és Fondong (2021) három, a tököt megtámadó növénypatogén vírusokat elemezte. A tök volt az egyik első vírusrezisztens növény, amelyet az 1990-es évek elején genetikailag módosítottak. A génmódosítás célja az volt, hogy olyan ellenálló fajtát hozzanak létre, amely ellenáll a súlyos termés kiesést okozó vírusos betegségeknek. A három ilyen komolyabb növényi vírus a cukkini sárga mozaikvírus (ZYMV), a görögdinnye mozaikvírus (WMV) és az uborka mozaikvírus (CMV). A korai géntechnológiai kísérletek során a vírusok burokfehérje-génjeit (CP) alkalmazták a növény rezisztenciájának kialakításához. Ennek eredményeként jött létre a ZYMV és WMV ellen magas fokú ellenállóságot mutató 'ZW20' nevű transzgénikus vonal, amelyet 1994-ben engedélyeztek termesztésre az Egyesült Államokban. Ezt követően a kutatók mindhárom vírus CP-génjét beépítették a növénybe, aminek eredményeként megszületett a 'CZW-3' jelű vonal, amely 1996-ban kapott termesztési engedélyt, és mindhárom vírus ellen hatékony védelmet biztosított.

3.3.11 Bab (*Phaseolus vulgaris* L.)

Világszerte, de különösen Latin-Amerikában a bab termesztésének egyik legpusztítóbb kórokozója a sárga mozaik vírus (BGMV),¹¹ illetve a vele rokoni kapcsolatban álló vírusok. A

¹¹ BGMV - az angol Bean Golden Mosaic Virus rövidítése.

vírust egy molytetű terjeszti, aminek a fertőzése jellegzetes sárgászöld mozaikos levéltüneteket, torz termést és a növény fejlődésének a visszamaradását okozza. A vírus elleni védekezés céljából a kutatók az RNS-interferencia (RNAi) technológiát alkalmazták a vírus replikációját irányító *ACI* gén expressziójának gátlására. A módszer segítségével olyan transzgénikus babvonalat hoztak létre, amely erős fertőzés mellett is immunisnak bizonyult a BGMV-vel szemben. A transzgén expressziós vizsgálatait során kimutatták, hogy a kis interferáló RNS-ek (siRNS) szintje a szabadföldi körülmények között termesztett transzgénikus növények leveleiben hasonló mértékű volt. Ennek a jelenlétét a magfejlődés során is elemezték, aminek az eredménye, hogy ugyan kimutathatóak voltak a termésben is, bár szintjük szignifikánsan alacsonyabb volt, mint a levelekben mért érték. Ugyanakkor a 10 perces főzésnek alávetett magokban a siRNS-jelek már nem voltak kimutathatóak. Ez az eredmény fontos élelmiszerbiztonsági szempontból, mivel igazolja, hogy a genetikailag módosított bab fogyasztásra biztonságos (Aragao et al. 2013).

Ennek eredményeként jött létre az 'EMBRAPA 5.1' nevű transzgénikus vonal, amely magas fokú rezisztenciát mutatott a vírussal szemben, és 2011-ben engedélyezték is a kereskedelmi forgalmazását Brazíliában. Ez a vonal később nemesítési alapanyagként szolgált a sárga mozaikvírus-rezisztencia továbbadásához brazil kereskedelmi fajtáknál (Quintela et al. 2023).

3.3.12 Saláta (*Lactuca sativa* L.)

A saláta a világ egyik legismertebb leveles zöldségnövénye. Kiváló ásványianyag- és vitaminforrás, de nagy mennyiségben tartalmaz olyan bioaktív anyagokat is, mint például a polifenolok, a karotinoidok vagy a klorofill - ami tulajdonképpen a növény zöld színéért felelős. Ezen anyagok kedvező élettani hatásai révén hozzájárulhatnak az egészség megőrzéséhez (Shi et al. 2022).

Morelli és munkatársai (2024) a saláta esetében a biofortifikáció módszerét használva a karotinoidok felhalmozódását indukálták, hogy a természetes körülmények között zöld színű saláta levelei aranyárga színt kapjanak. A cél a zöldségnövény tápanyag tartalmának növelése volt, különösen a béta-karotin mennyiségére nézve. Az eljárás sikeres volt, sőt, egy intenzívebb fénykezelés alkalmazásának hatására a kontrollnövényekhez viszonyítva 30%-kal meg is növelte a saláta leveleiben a béta-karotin szintet és annak biológiai hozzáférhetőségét.

3.3.13 Kétspórás csiperke (*Agaricus bisporus*)

A csiperkegomba az első olyan szervezet, amit a legújabb génszerkesztési technikával, a CRISPR-Cas9 rendszer alkalmazásával módosítottak. Ismert tény, hogy a gomba egy viszonylag gyorsan romlik. Ebből kiindulva a génmódosítás célja az volt, hogy csökkentsék a gomba barnulásra való hajlamát. Ezt a polifenol-oxidáz (PPO) enzim oxidatív aktivitása váltja ki - csakúgy mint az alma esetében. A kutatók a gomba genomjában a PPO enzimet kódoló géncsalád egyik tagját célozták meg a CRISPR-Cas9 technológia segítségével, és néhány bázispárt töröltek, ami az adott gén működésképtelenné válásához vezetett. A módosítás eredményeképpen az enzim aktivitása mintegy 30%-kal csökkent, így a gomba felvágás vagy tárolás során lényegesen lassabban barnul, ami jelentős előnyt jelent az élelmiszeripari feldolgozás és a fogyasztói frissesség szempontjából. Az USDA 2016-ban úgy döntött, hogy nem vonja szabályozási hatálya alá az említett génszerkesztett csiperkegombát, mivel a módosítás nem járt idegen DNS-bevitellel, illetve a fejlesztés során nem használtak kártevő szervezetekből származó genetikai elemeket. Ezzel a döntéssel ez lett az első olyan szervezet, amely regulációs mentességet kapott az Egyesült Államokban (Waltz, 2016).

3.3.14 Dísznövények

A génmódosítás már nemcsak a zöldségfélék vagy a gyümölcsök terén van jelen, hanem megjelent a dísznövények piacán is. Olyan virágokat céloznak meg biotechnológiai módszerekkel, melyek élénk színűek vagy alkalmasak vágott virágnak, vagyis a cél az esztétikai megjelenés javítása, modernizálása. Ezzel az eljárással új, kereskedelmileg eladható színeket hozhatnak létre.

A növények színvilágát három fő pigmentcsoport alkotja. Ezek a betalainok, a karotinoidok és az antociánok. Ezen csoportok jelentős mértékben alakítják a virágzó növények színvilágát. A legszélesebb körben elterjedtek a zárwatermő növények között az antociánok, melyek egyben a flavonoid-bioszintézis termékei is. Ennek megfelelően az antociánok bioszintézisét és szabályozását ismerjük a legjobban, illetve az antociánok állnak a biotechnológiai kutatások középpontjában, mivel számos kísérlet irányul új színyanyagok létrehozására, illetve meglévő pigmentek tulajdonságainak módosítására (Grotewold, 2006).

A virágok színének géntechnológiai módosítása szempontjából a petúnia (*Petunia hybrida*) és a dohány (*Nicotiana tabacum*) szolgált a legfontosabb alapnövényként. Ennek oka, hogy ezek a fajok könnyen transzformálhatók, azaz jól reagálnak a genetikai beavatkozásokra. Ezen felül a virágpigmentációs útvonaluk viszonylag jól ismert. A dísznövény-ipar számára

különösen nagy jelentőségű az olyan vágott virág, mint a szegfű (*Dianthus spp.*), mely nem képes endogén módon szintetizálni a kék/ibolyás színekért felelős antociánokat. A géntechnológiai megközelítés során olyan gént ültettek be szegfűvonalakba, melyek rendelkeztek a természetben nem előforduló antocián-bioszintézishez szükséges génekkel, így sikerült olyan szegfűfajtákat előállítani, amelyeket hagyományos nemesítéssel nem lehetett volna (Tanaka et al. 2009).

3.3.14.1 Petúnia (*Petunia hybrida*)

A petúnia virágszínét az antocián típusú pigmentek határozzák meg. Az antociánok a növényi flavonoidok csoportjába tartozó vízdékony pigmentek, amelyek a virágok, gyümölcsök és más növényi szervek színéért felelősek. Színük a sejtnedv pH értékétől, valamint az antocián szerkezetétől függően a narancssárgától a kékig terjedő árnyalatot veheti fel. Ennek ellenére nem minden növényfaj képes a teljes színskála előállítására, mivel a bioszintetikus útvonal egyes lépései korlátozhatják a képződő antociánok típusát. Egyes növények, mint például a petúnia nem képesek narancs vagy skarlátvörös virágokat fejleszteni természetes úton (Vainio et al. 2023).

Már az 1980-as évek végén kimutatták, hogy ha a petúniát más növényfajból származó *dihidroflavonol-4-reduktáz* (DFR) génnel, például kukoricából (*Zea mays*) transzformálják, akkor megjelenik a pelargonidin-alapú színezőanyag, és ezzel a virág narancssárgás színt vesz fel (Meyer et al. 1987).

Bashandy és Teeri (2017) a petúnia esetében azt vizsgálták, hogy vajon a kereskedelmi forgalomban kapható narancsszínű fajták valóban tartalmazzak-e géntechnológiai úton beépített kukoricából származó *Al* nevű gént, amely a DFR enzimet kódolja. A kutatók különböző országokban vásárolt, narancsszínű virágú petúniafajtákat elemeztek. A virágszirmokból kivonták a pigmenteket, és nagy teljesítményű folyadékkromatográfia (HPLC) segítségével meghatározták az antocián-összetételt. Emellett RNS- és DNS alapú PCR-vizsgálatokat is végeztek a transzgén jelenlétének kimutatására. A vizsgálatok kimutatták, hogy a narancsszínű petúniák virágszirmaiban a pelargonidin volt a domináns antocián, ami a géntechnológiai beavatkozás egyértelmű biokémiai jele. A molekuláris elemzések eredménye az lett, hogy minden mintában kimutatható volt a kukoricából származó gén. Mindez arra utal, hogy az engedély nélküli transzgenikus vonalak valószínűleg a korai kutatások során előállított petúniák leszármazottai, amelyek a későbbi nemesítési folyamatok során feltehetően figyelmetlenségből kerültek be a kereskedelmi fajták génállományába.

3.3.14.2 Szegfű (*Dianthus spiculifolius*)

Wang és munkatársai (2020) a szegfű esetén végeztek *Agrobacterium tumefaciens* közvetítésével megvalósított genetikai transzformációt. A kísérlet végrehajtásához a csíranövény gyököcskéiből indukáltak kalluszt. A létrejött kalluszokat *Agrobacterium tumefaciens* törzssel fél órán át együtt rázatták folyékony táptalajban. Ezt követően a transzformált szöveteket kanamicint tartalmazó szelektációs táptalajon regenerálták. A kapott regenerált növényekben az idegen gének stabil kifejeződését RT-PCR¹² vizsgálattal igazolták. A kutatás eredményei azt mutatták, hogy sikerült egy megbízható és hatékony *A. tumefaciens*-alapú genetikai transzformációs rendszert kialakítani ebben a szegfűfajban, amely fontos alapot biztosít a faj funkcionális génkutatásához, illetve nemesítési célú genetikai fejlesztéséhez.

3.3.14.3 Torénia (*Torenia fournieri*)

A torénia az utóbbi években a virágszínnel összefüggésben álló géntechnológiai kutatások egyik fontos modellnövényévé vált, köszönhetően rövid életciklusának, kisméretű genomjának és egyszerűen transzformálható szövetkultúráinak. A módosítás célja az volt, hogy a virág színét genetikailag úgy módosítsák, hogy betalain¹³ pigmenteket termeljen: ez új színárnyalatot eredményezhet a dekoratív virágokban. Az átalakított növények virágszíne a kiindulási liláról vöröses-lilára módosult, jelezve az új színárnyalat megjelenését bizonyítva ezzel, hogy olyan növényben is sikerrel indukálható a betalain-bioszintézis, mely természetes úton nem termeli azokat. Ennek következtében a betalain génmódosítás értékes eszközzé válhat a virágszín-változatosság növelésében a dísznövények terén (Nishihara et al. 2024).

3.3.14.4 Rózsa (*Rosa x hybrida*)

A rózsa már igen régóta a globális virágpiacon egyik legfontosabb virága, és már évszázadok óta a vásárlók és nemesítők figyelmének középpontjában áll. A virágszín kialakításában a genetikai tényezők is kulcsszerepet játszanak, és számos enzim aktív közreműködését igényli. A flavonoid bioszintézis egyik legfontosabb enzime a flavonoid 3',5'-hidroxiláz (F3'5'H), amely a delphinidin-alapú antociánok képződését szabályozza. A rózsa esetében azonban hiányzik a F3'5'H gén, ezért a növény nem képes kék vagy ibolya színű virágokat előállítani (Fukui et al. 2006).

¹² RT-PCR - az angol Reverse Transcription Polymerase Chain Reaction rövidítése.

¹³ A betalainok olyan piros-vörös vagy sárga növényi pigmentek, amelyek természetesen csak a szegfűvirágúak rendjébe tartozó néhány faj esetében jelennek meg.

Katsumoto és munkatársai (2007) olyan rózsafajtákat választottak ki a kísérletükhöz, amelyek első sorban alkalmasak delfinidin előállítására, másodsorban a kékes árnyalatú virágszín kialakítására. A természetben léteznek kék árnyalatú virágok. Ezek a dísznövények például a viola (*Viola spp.*) vagy az írisz (*Iris spp.*). Mivel a viola rendelkezik az előbb említett *F3'5'H* génnel, így ennek a génnek a konstitutív kifejeződése sikeresen eredményezte a delfinidin felhalmozódását, valamint a szirmok színének megváltoztatását egy áruforgalmi szempontból értékes, kék színű irányba. A legnagyobb mértékű delfinidin felhalmozódását és a virágszín leghatékonyabb kék irányú eltolódását úgy érték el, hogy transzgenikus rózsákban a növény saját DFR génfunkcióit helyettesítették egy íriszből származó DFR génnel - RNAi-technológia alkalmazásával. Ezek az eredmények bizonyítják, hogy a DFR gének cseréje kulcsszerepet játszik a virág színének genetikai módosításában.

3.4 Génmódosított növények a szántóföldi kultúrában

3.4.1 Kukorica (*Zea mays* L.)

A génmódosított kukorica létrehozásának háttérében két cél is lebegett: az egyik ilyen, hogy a kukorica herbicid-toleráns legyen, vagyis a gyomirtó szerekkel szemben ellenállóságot mutasson, de különösen az ismert glifozáttal szemben. A másik cél, hogy rezisztens legyen a kártevőkkel szemben, egy baktérium toxinjának köszönhetően, vagy éppen ez a két tulajdonság egyszerre legyen jelen egy fajtában (Séralini et al. 2014).

A genetikailag módosított kukorica egyik esete 1996-ban kezdődött az Egyesült Államokban, majd 1997-ben Kanadában is megjelent. Ebben az esetben a módosított növényfajták a *Bacillus thuringiensis* talajbaktériumból származó rovarölő hatású 'Cry' fehérjét termelik. Eredetileg ezeket a fajtákat a kukoricamoly (*Ostrinia nubilalis*) és egyéb, szintén a lepkék rendjébe tartozó kártevővel szembeni védekezés céljából fejlesztették ki, mivel a lárvák befúrják magukat a kukoricaszár belsejébe, ott járatokat rágnak, és a szövetekkel táplálkoznak. A kártétel következtében a szárak meggyengülnek és idővel eltörnek, a csövek lehullanak, ami jelentős termésvesztéshez vezet (García et al. 2023).

Ez a Bt toxint termelő kukoricát az Egyesült Államokon és Kanadán kívül az Európai Unióban is termesztik, egyelőre csak az Ibériai-félszigeten: Spanyolországban 1998 óta, míg Portugáliában 1999-től vetnek genetikailag módosított magokat összesen több, mint 120 ezer hektáron (Brooks, 2019).

A transzgenikus kukorica másik jelentős típusa a herbicidtoleráns változat. Létezik egy világszerte ismert hatóanyag, a glifozát, mely egy széles spektrummal bíró gyomirtó, ami az

USA-ban RoundUp néven van kereskedelmi forgalomban. Hatásmechanizmusa az EPSPS¹⁴ enzim gátlásán alapul, ami kizárólag növényekben és bizonyos baktériumokban van jelen. Ez szükséges a növények és baktériumok által termelt aromás aminosavak bioszintéziséhez. Az aminosavak elengedhetetlenek a növények számára, mert létfontosságúak a növekedéshez, fejlődéshez, védekezéshez. A glifozát gátolja az EPSPS enzim aktivitását, így megszakad az aromás aminosavak szintézise, ami a növény pusztulásához vezet. Ezzel összefüggésben az volt a cél, hogy egy olyan EPSPS-variánst azonosítsanak és fejlesszenek ki a növényekben, mely nem kötődik a glifozáthoz, de megtartja a természetes aktivitását. Számos kísérlet közül a jól ismert *Agrobacterium tumefaciens* egyik törzséből származó gén beültetése bizonyult a legsikeresebbnek (Dill, 2005).

3.4.2 Rizs (*Oryza sativa* L.)

A rizs genetikailag módosított változatát az 1990-es évek végén hozták létre azzal a céllal, hogy mérsékelje az A-vitamin hiányt a fejlődő országokban. Ez volt az első biofortifikált növényfajta, mely az aranyrizs nevet kapta. A génmódosítás célja az volt, hogy a fejlődő országokban élők számára elérhető legyen az A-vitamin forrása a rizsben, ami egy alapélelmiszernek számít - extra költségek nélkül. Ugyanis a biofortifikáció miatt a rizs lényegesen olcsóbb és fenntarthatóbb, mint a tápanyag-kiegészítők (Dubock, 2014).

A rizs kifejlesztéséhez *Agrobacteriumot* használtak, aminek a segítségével két különböző transzgén juttattak egy trópusi rizsfajtába. Az első transzgén a nárciszból (*Narcissus pseudonarcissus*) származott, mely a karotinoid szintézis első lépését katalizálja. A második transzgén egy talajbaktériumból, a *Pantoea ananatis*-ből származott, mely a fitoént likopinné alakítja. Ennek eredménye lett az 1. generációs aranyrizs, mely csak 2 mikrogramm karotinoidot tartalmaztak grammonként, mely korlátozta a felhasználást. Így kifejlesztettek egy második generációs aranyrizst, ami a 'GR2' nevet kapta. Itt már a transzgén kukoricából (*Zea mays*) nyerték ki, mely fokozta a karotinoid felhalmozódását a rizsszemekben. A 3. ábra jól szemlélteti ezt a fajta rizst. Ennek a fejlesztésnek köszönhetően már 20-30 mikrogramm karotinoid is képes volt felhalmozódni a rizsben grammonként. A jóváhagyott országok közt szerepel Ausztrália, Új-Zéland, a Fülöp-szigetek, az Egyesült Államok és Kanada (Palmer, 2025).

¹⁴ EPSPS - 5-enolpyruvylshikimate 3-phosphate enzim rövidítése.

3. ábra: Aranyrizs

(Forrás: <https://source.washu.edu/2020/02/no-clear-path-for-golden-rice-to-reach-consumers/> (2020))



A lila rizs élénk lila színéről ismerhető fel, mely gazdag antocianinokban. Ezek a vegyületek nemcsak a rizs jellegzetes színezőanyagaként szolgálnak, hanem csökkentik az oxidatív stresszt és a sejtkárosodást. Az ‘OsMYB1’ gén a rizsben egy transzkripciós faktort kódol, amely jelentősen gátolja az antociánok termelődését. A CRISPR-Cas9 technológia alkalmazásával sikerült a fent nevezett gént kiütni, melynek hatására megnőtt az antocianin termelés a rizs maghéjában. Az eredmények rávilágítottak arra, hogy az ‘OsMYB1’ nevű gén a rizs antociain-termelésének kulcsfontosságú szereplője, mely így célzottan felhasználható a biofortifikációs és növénynemesítési fejlesztésekben, amelynek célja a tápérték és az esztétikai tulajdonságok javítása (Yin et al. 2025).

3.4.3 Szója (*Glycine max* L.)

A hüvelyesek rendjébe tartozó szója alapvető fehérjeforrást jelent, illetve meghatározó szerepet tölt be a világ fehérjeigényének a kielégítésében. A szója a táplálkozás szempontjából egy igen fontos alapnövénynek számít és világszerte termesztik különféle termesztési és gazdálkodási stratégiákat alkalmazva. A szójanemesítésben a genetikai erőforrások hozzáférhetősége komoly akadályt jelent az éghajlatváltozáshoz való alkalmazkodás, illetve a növekvő abiotikus és biotikus stresszhatások kezelése tekintetében is. Ennek eredményeként génben gazdag és rendkívül összetett genommal rendelkeznek. Genetikai módosításában jelentős előrelépést jelentett az 1980-as években a géntechnológia elterjedése, mely lehetővé tett idegen DNS bejuttatását a szója genomjába (Shea et al. 2020).

A hatékonyabb és egyszerűbb CRISPR/Cas9 technológia megjelenésével sikerült elérni, hogy a termésben megnőtt az oleinsav, miközben csökkent a linolsav és a linolénsav mennyisége, így az olaj összetétele módosult anélkül, hogy a növény növekedése érintett lett volna. Továbbá, ezen génszerkesztési módszerrel végzett módosítás során megnövekedett a növényben a kén-tartalmú aminosavak mennyisége. Ezek a beavatkozások egyértelműen azt mutatják, hogy a szója esetében a tápanyag-összetevők jelentik a fő fejlesztési célpontokat (Kim et al. 2025).

Haun és munkatársai (2014) a TALEN génszerkesztési módszert vették segítségül, hogy két szójababot genetikailag módosítsanak, melynek köszönhetően olyan vonal jött létre, melyben az egészségtelen zsírsavak mennyiségét sikerült jelentősen csökkenteni. A genetikai módosítás oka az volt, hogy a szójából kinyert olaj nagy mennyiségben tartalmaz telítetlen zsírsavakat, amelyeket a hosszabb eltarthatóság érdekében kémiai úton telítenek. Ennek során azonban transzzsírsavak keletkeznek, melyek fogyasztása hozzájárul a szív- és érrendszeri betegségek és a koleszterinszint növeléséhez. A TALEN-technológiával a szójaolaj zsírsav összetételét módosították. Így sikerült magas olajsavtartalmú fajtákat létrehozni, melyek hosszabb eltarthatósággal bírnak. Ráadásul, ezeknek a szójavonalaknak nem volt idegen DNS a genomjukban, így nem tekinthetők transzgénikus növényeknek.

3.4.4 Gyapot (*Gossypium hirsutum* L.)

A transzgénikus gyapot a világon az elsők között szerepelt a kereskedelmi forgalomba kerülő génmódosított növények között. A szántóföldi termesztésbe való bevezetése elsőként 1994-ben történt meg Kínában, majd 1996-ban az Egyesült Államokban. Fő prioritást élvezett a rovarrezisztens gyapotfajták megalkotása, mivel a növénynek három, a lepkék rendjébe tartozó kártevője van, ami komoly pusztítást képes végezni az ültetvényekben. A növénybe juttatott *Bacillus thuringiensis* (Bt) eredetű génnek köszönhetően a gyapot rovarölő endotoxint termel, ami 70%-kal csökkentette a rovarölő vegyszereket használatát. Emellett létrehozták a gyomirtószer-toleráns fajtákat. Az *Agrobacterium sp.* CP4 törzséből származó EPSPS enzimet fejezték ki, amely ellenállóbbá teszi a növényt a glifozát hatóanyagával szemben. A gyapot esetében a transzgénikus vonalak elterjedésével megnőtt a terméshozam, illetve a termesztés költségei is csökkentek (Zhang, 2012).

3.5 A genetikailag módosított szervezetek kimutatása

A génmódosított szervezetek kimutatása történhet DNS-alapon, fehérje-alapú módszerrel, illetve egyéb eszköz, például kromatográfia segítségével.

A polimeráz láncreakció, ismertebb és rövidebb nevén PCR, egy DNS-alapú, széles körben alkalmazott technika, amit a genetikailag módosított szervezetek kimutatásának egyik alapvető módszereként tartanak számon. A különböző laboratóriumok eltérő primereket használnak a kimutatáshoz attól függően, hogy mely szabályozó szekvenciát vagy beépített gént szeretnék azonosítani. A PCR-eljárások egyaránt alkalmasak minőségi és mennyiségi elemzésre. A valós idejű (real-time) PCR különösen gyors és pontos eredményt ad mennyiségi elemzések esetén (Lin et al. 2006).

A valós idejű PCR (RT-PCR) az egyik leghatékonyabb technika, hogy azonosítsunk és mennyiségileg meghatározzunk génmódosított szervezetek meglétét. Gyorsabb, pontosabb, mint a klasszikus PCR, viszont emiatt drágább is és fejlettebb felszerelést igényel. Ez a korszerű módszer nem igényel gélelektroforézist, de alkalmas például feldolgozott élelmiszerek vizsgálatára is. A hagyományos végpont-analízist alkalmazó PCR-rel szemben, már az amplifikáció során, valós időben információt kapunk a fluoreszcens jelölt próbák révén a DNS mennyiség felhalmozódásáról. Mivel szekvenciaspecifikus próbákat használ, emiatt szükségtelen további olyan megerősítő vizsgálatok végzése, mint a szekvenálás (Gidi, 2023).

Az ELISA¹⁵ eljárás stabil reagenst, és viszonylag megfizethető laborfelszerelést igényel, miközben egy érzékeny és kényelmes eljárást kínál a transzgén fehérje kimutatására génmódosított növényekben és késztermékekben egyaránt (Liu et al. 2022).

Az ELISA technika hátránya, hogy csak egy meghatározott koncentráció-tartományban teszi lehetővé a mennyiségi következtetések levonását. Ezen felül a fehérje megléte sok esetben egy adott növény esetében például csak bizonyos szövetekben van jelen, de ott is eltérő mértékben, ami megnehezíti a módosítás kimutatását. Továbbá, a fehérjék nagy része érzékenyen reagál hőkezelésre, ami az élelmiszerfeldolgozásnak gyakran szerves részét képezi. Ennek következtében a tesztelés során a meglévő transzgén fehérjék felismerése kevésbé lehetséges. Ennek javítására jött létre a DAS-ELISA¹⁶ teszt (Pós és Szegő, 2018).

A DAS-ELISA egy olyan széles körben használt teszt, mely alkalmas arra, hogy specifikus antigéneket mutasson ki, illetve mennyiségileg határozzon meg. A módszer

¹⁵ ELISA - az angol Enzyme Linked Immunosorbent Assay rövidítése.

¹⁶ DAS-ELISA - az angol Double Antibody Sandwich Enzyme-Linked Immunosorbent Assay rövidítése.

kiemelkedő képessége, hogy két különböző antitestet használ az antigének megkötésére, így növelve a teszt érzékenységét (Wani et al. 2025).

Kromatográfiát használnak azokhoz az esetekhez, amikor a génmódosított organizmusok például zsírsavakat, triglicerideket vagy bizonyos vegyi anyagokat tartalmaznak (Kamle et al. 2017).

3.6 A génmódosítás hatásai, eredményei

Az agráriumban jelen lévő kártevők elleni védekezéshez elsősorban kémiai rovarirtó szerek kerülnek felhasználásra. Mindazonáltal, a kémiai peszticidek használata nem csak a környezetre van negatív hatással, hanem az emberi egészségre is kedvezőtlen hatással bír (Bravo et al., 2011).

A *Bacillus thuringiensis* (Bt) egy mindenhol jelen lévő, Gram-pozitív, pálcika alakú és nem utolsó sorban spóráképző baktérium, melyet a világ minden részén sikerült izolálni kezdve a talajtól az elpusztult rovarokon át egészen a lombhullató fák leveléig. A baktérium törzsei számos rovarölő fehérjét termelnek, amelyek különböző rovarrendek lárvái ellen is hatásosak. A törzsek a spóráképződés kezdetén és a növekedési fázisban kristályos (Cry) és sejtontó (Cyt) toxinokat szintetizálnak. Amint a rovarok lenyelik ezeket a kristályokat, azok feloldódnak a közép bélben, majd a bél enzimeinek hatására a toxinok aktiválódnak, a rovar sejthártyájához kötődnek, ami végül a sejtek pusztulásához és a rovar elhullásához vezetnek (Palma et al. 2014).

A biofortifikáció során az alapvető növények esetében megnövelik annak tápanyagtartalmát, hogy magasabb mennyiségben tartalmazzon például vitaminokat, ásványi anyagokat vagy bioaktív vegyületeket. Teszik mindezt mesterségesen, a modern biotechnológia alkalmazásával. Ezt az eljárást általában a világ azon részein vetik be, ahol alacsony-, illetve közepes jövedelmű országok helyezkednek el. Olyan mindenki által ismert és fogyasztott élelmiszernövények esetében, mint például a rizs, a búza, kukorica (Paul et al., 2024).

Hagyományosan évek óta alkalmaznak olyan módszereket a mezőgazdaságban, amik gazdagabb mikrotápanyag-tartalmú növények termesztésére irányulnak, azonban ezek nem bizonyultak igazán hatékonyak. Ezt követően próbálkoztak a klasszikus nemesítési módszerek alkalmazásával, ami a biofortifikáció legjobb módszerének bizonyult. Évtizedekkel később transzgen módszereket kezdtek el kifejleszteni a biofortifikált növények létrehozásához. A jelenleg használt genomszerkesztési eljárások, mint például a TALENS, a ZNFs és CRISPR jelentős előrelépést mutatottak a növényi biofortifikáció fejlődésében (Kiran, 2020).

3.7 Jövőbeni kilátások

Az USDA a NASA-val együttműködve egy olyan szilvafajtát fejlesztettek ki, mely folyamatosan virágzik, segítve ezzel az űrhajósoknak fenntartani egy egészséges étrendet. Ismert tény, hogy a legtöbb gyümölcs, mint például az alma, körte, őszibarack, szilva és a narancs olyan fákön terem, amelyeknek évekre telik, mire termőre fordul, nem utolsósorban hideg időszakot igényelnek a virágzáshoz és az új hajtásokhoz. Sikerült genetikailag úgy módosítani egy szilvafajtát, hogy az folyamatosan virágzik és terem, akár csak az ismert zöldségnövényünk, a paradicsom. Ehhez nagy mértékben túltermeltettek egy a virágzás szabályozásáért felelős gént a gyümölcsfajtában, aminek a hatására a növény állandóan virágzik, hideg, nyugalmi időszak nélkül. Ez a fejlesztés a hosszú távú űrutazások során lesz nagy segítségre, hogy mindig rendelkezésre álljon frissen termelt gyümölcs az asztronauták számára. A jövőben valószínűleg egyre több gyümölcsfa esetében sor fog kerülni a szilvához hasonló genetikai módosításra, ami majd idővel a Földön is alkalmazható lesz (Graham et al. 2015).

A citrusfélék bizonyos tulajdonságai révén a konvencionális nemesítési módszerek nem bizonyultak túl hatékonyak ahhoz, hogy betegségekkel szemben ellenálló, új citrusfajták jöhessenek létre. A hagyományos módszerekkel végzett genetikai módosítás, mint például az *Agrobacterium*, vagy a génpuska használata inkább hatott hátrányosan a fejlődésre. Ezért a már meglévő rendszerek továbbfejlesztése, illetve az új technológiák kifejlesztése, mint amilyen a genomszerkesztés is kulcsfontosságú lesz. A jövőben a nanotechnológián alapuló bejuttatási rendszerek használata képes lehet leküzdeni a jelenleg használt klasszikus technológiák korlátait és fokozni a citrusfélék genetikai módosításának hatékonyságait. Az olyan új genomszerkesztési rendszerek, mint például a CRISPR-Cas9 lehetővé teszik stabilan öröklődő pontmutációk bevezetését az adott növény genomjába. Ez a megközelítés segíthet a termékeny, betegségekkel szemben ellenálló és kiváló minőségű fajták előállításában (Sun et al. 2019).

4. KÖVETKEZTETÉSEK

A genetikai módosítás területén a biotechnológia folyamatos fejlődésének köszönhetően egyre több módszer és eszköz áll a kutatók rendelkezésére ahhoz, hogy egy adott növény esetében - legyen szó akár kertészeti-, akár szántóföldi kultúrában termesztettről - módosításokat eszközöljenek. Teszik mindezt azért, hogy megvédjék az adott fajt egy vírusbetegségtől, vagy kialakuljon valamilyen rezisztencia és ezáltal fokozzák a betakarítható termésmennyiséget.

A génbeviteli módszerek óriási fejlődésen mentek keresztül. Egyre több a korszerű és modern génszerkesztési technológia, mellyel sokkal pontosabb génszerkesztés valósítható meg. Ez arra enged következtetni, hogy a közeljövőben az olyan modern génszerkesztő eszköz, mint például a CRISPR még tovább fog fejlődni, illetve egyre több kultúra esetében fogják ezt a technológiai vívmányt felhasználni.

Az általam feldolgozott tanulmányokból jól kirajzolódik, hogy a kertészeti kultúrában jelen lévő növények esetében a genetikai módosítást egyrészt esztétikai célból teszik, vagyis például egy adott dísnövény esetében annak virágszínét változtatják meg, hogy az még eladhatóbb legyen a kereskedelemben. Ennek eredményeképpen egy új fajta növény is létrejön, vagyis gyarapodik az adott dísnövény tekintetében elérhető termékpaletta. Másrészt, a növényi kórokozók és kártevők kártétele a kertészeti kultúra esetében igen nagy hangsúllyal bír, amik ellen genetikai módosítással sikeresen felvették a kutatók a harcot.

A szántóföldi kultúrában termesztett növények közül ugyan csak négy növénnyel foglalkoztam, de ezekből is jól kirajzolódott számomra az, hogy a gyomnövények ellen - a rizs kivételével - minden növény esetében védekeznek, természetesen herbicidtoleráns fajok létrehozásával. Valószínűsíthető, hogy ez a továbbiakban is jelentős szerepet fog kapni.

5. ÖSSZEFOGLALÁS

Dolgozatomban nagy hangsúlyt fektetve részletesen bemutatásra került a kertészeti kultúrában termesztett gyümölcsök, zöldségek és dísznövények genetikai módosításával kapcsolatos kutatások, fejlesztések és események feldolgozása. A szakomat figyelembe véve a szántóföldi kultúrában művelt növények ismertetésére kisebb hangsúlyt fektettem, ezért abban a fejezetben csak a kukoricával, a rizsszel, a szójával és a gyapottal kapcsolatos génmódosítással összefüggésben álló eseményeket és kutatásokat írtam le.

A génmódosítás hatásai közé tartozik a biofortifikáció is többek között. Ennek hatására a növények tápértékét, vitamintartalmát lehet megnövelni, ami egy pozitívum főleg a világ azon részein, ahol alapvető gondot jelent például az A-vitaminhoz való hozzájutás. Erre jó példa a rizs, melynek az aranyrizsre keresztelt változatában jelentős mértékben megnőtt az említett vitamin szintje.

A szakirodalom áttekintése alapján megállapítható, hogy a genetikai módosítás jelentős hatást gyakorolt mind a kertészeti-, mind pedig a szántóföldi kultúra növényeire. Megállapítást nyert számomra az általam feldolgozott tanulmányok alapján, hogy mind a kertészeti-, mind pedig a szántóföldi kultúra növényeinek tekintetében jelentős hatást gyakorolt a genetikai módosítás felhasználása. Ebben egyrészt nagy szerepet játszott a sokat említett *Agrobacterium* nemzetségbe tartozó baktérium, melyet mind a mai napig gyakran alkalmaznak genetikai transzformációhoz idegen gének célnövénybe való juttatásához. Másrészt, a nem túl rég megjelent és folyamatosan továbbfejlesztett CRISPR-módszer elterjedésével egyre több növény esetében végeznek ennek segítségével kutatásokat és fejlesztéseket annak érdekében, hogy például kikapcsoljanak géneket ahogyan például a burgonya esetében említettem.

Szakedolgozatomban arra a kérdésre kerestem a választ, hogy vajon a genetikai módosítás milyen módon befolyásolta az agrárium világát. Bizonyítást nyert a feltevés, mely szerint komplexen hatott mind a kertészeti, mind pedig a szántóföldi kultúrákra. Ez a komplex hatást megmutatkozik abban, hogy génmódosítás felhasználásával sikeresen lehet rezisztenciát, toleranciát elérni. Bár egyelőre nem ismert teljes bizonyossággal, hogy az emberi egészségre való tekintettel pontosan milyen hatással is bír a génmódosított élelmiszerek fogyasztása, mindazonáltal ez a biotechnológiai folyamat pozitívan befolyásolta a mezőgazdaság fejlődését.

6. IRODALOMJEGYZÉK

1. Aalami, O., Azadi, P., Hadizadeh, H., Wilde, H. D., Karimian, Z., Nemati, H., Samiei, L. (2023). Melatonin strongly enhances the Agrobacterium-mediated transformation of carnation in nitrogen-depleted media. *BMC Plant Biology*, Volume 23: 316. DOI: doi.org/10.1186/s12870-023-04325-5
2. Aragao, F. J. L., Nogueira, E. O. P. L., Tinoco, M. L. P., Faria, J. C. (2013). Molecular characterization of the first commercial transgenic common bean immune to the Bean golden mosaic virus. *Journal of Biotechnology*, Volume 166, Issues 1-2: 42-50. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2013.04.009>
3. Balázs E., Dudits D., (szerk.) (2017). *Precíziós nemesítés: Kulcs az agrárinnovációhoz.* Budapest, Agroinform Kiadó. pp. 71-86.
4. Bashandy, H., Teeri, T. H. (2017). Genetically engineered orange petunias on the market. *Planta*, Volume 246: 277-280. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00425-017-2722-8>
5. Bravo, A., Likitvivatanavong, S., Gill, S. S. Soberón, M. (2011). *Bacillus thuringiensis: A story of a successful bioinsecticide.* *Insect Biochemistry and Molecular Biology*, Volume 41, Issue 7: 423-431. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ibmb.2011.02.006>
6. Brookes, G. (2019). Twenty-one years of using insect resistant (GM) maize in Spain and Portugal: farm-level economic and environmental contributions. *GM Crops & Food*, Volume 10: 90-101. DOI: doi.org/10.1080/21645698.2019.1614393
7. Butelli, E., Titta, L., Giorgio, M., Mock, H-P. Matros, A., Peterek, S., Schijlen, E. G. W. M., Hall, R. D., Bovy, A. G., Luo, J., Martin, C. (2008). Enrichment of tomato fruit with health-promoting anthocyanins by expression of select transcription factors. *Nature Biotechnology*, Volume 26: 1301-1308. DOI: doi.org/10.1038/nbt.1506
8. Cermak, T., Doyle, E. L., Christian, M., Wang, L., Zhang, Y., Schmidt, C., Baller, J. A., Somia, N. V., Bogdanove, A., J., Voytas, D. F. (2011). Efficient design and assembly of custom TALEN and other TAL effector-based constructs for DNA targeting. *Nucleic Acids Research*, Volume 39, Issue 12: 82. DOI: <https://doi.org/10.1093/nar/gkr218>
9. Cermak, T., Starker, C. G., Voytas, D. F. (2014). Efficient design and assembly of custom TALENs using the Golden Gate platform. *Chromosomal Mutagenesis (Methods in Molecular Biology)*, Volume 1239: 133-159. DOI: doi.org/10.1007/978-1-4939-1862-1_7
10. Choudry, M. W., Nawaz, P., Jahan, N., Riaz, R., Ahmed, B., Raza, M. H., Fayyaz, Z., Malik, K., Afzal, S. (2024). RNA based gene silencing modalities to control insect and

- fungal plant pests - challenges and future prospects. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, Volume 130. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pmpp.2024.102241>
11. Clasen, B. M., Stoddard, T. J., Luo, S., Demorest, Z. L., Li, J., Cedrone, F., Tibebu, R., Davison, S., Ray, E. E., Daulhac, A., Coffman, A., Yabandith, A., Retterath, A., Haun, W., Baltés, N. J., Mathis, L., Voytas, D. F., Zhang, F. (2016). Improving cold storage and processing traits in potato through targeted gene knockout. *Plant Biotechnology*, Volume 14, Issue 1: 169-176. DOI: doi.org/10.1111/pbi.12370
 12. Dale, J., James, A., Paul, J-Y., Khanna, H., Smith, M., Peraza-Echeverria, S., Garcia-Bastidas, F., Kema, G., Waterhouse, P., Mengersen, K., Harding, R. (2017). Transgenic Cavendish bananas with resistance to *Fusarium* with tropical race 4. *Nature Communications*, Volume: 8: 1-8. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41467-017-01670-6>
 13. Dill, G. M. (2005). Glyphosate-resistant crops: history, status and future. *Pest Management Science*, Volume 61: 219-224. DOI: doi.org/10.1002/ps.1008
 14. Doudna, J. A., Sternberg, S. H. (2021). *Meghekkelt teremtés*. Budapest, HVG Kiadó Zrt. pp. 156-197.
 15. Dubock, A. (2014). The present status of Golden Rice. *Journal of Huazhong Agricultural University*, Volume 33, No 6: 69-84.
 16. Dudits, D., Györgyey, J. (2013). *Zöld GMO-k a laboratóriumban és a szántóföldön*. Budapest, Akadémiai Kiadó. pp. 11-77.
 17. Dudits, D., Heszky, L. (1990). *Növénybiotechnológia*. Budapest, Mezőgazdasági Kiadó. pp. 13-27.
 18. Fukui, Y., Nomoto, K., Iwashita, T., Masuda, K., Tanaka, Y., Kusumi, T. (2006). Two novel blue pigments with ellagitannin moiety, rosacyanins A1 and A2, isolated from the petals of *Rosa hybrida*. *Tetrahedron*, Volume 62, Issue 41: 9661-9670. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tet.2006.07.068>
 19. García, M., García-Benítez, C., Ortego, F., Farinós, G. P. (2023). Monitoring insect resistance to Bt maize in the European Union: update, challenges, and future prospects. *Journal of Economic Entomology*, Volume 116, Issue 2: 275-288. DOI: <https://doi.org/10.1093/jee/toac154>
 20. Gidi, M. (2023). Detection methods of genetically modified organisms (GMOS). *Open Access Journal of Microbiology & Biotechnology*, Volume 8, Issue 2: 1-8. DOI: <https://doi.org/10.23880/oajmb-16000265>
 21. Glits M., Folk G. (2001). *Növénykórtan*. Budapest, Mezőgazda Kiadó. pp. 167-200.

22. Graham, T., Scorza, R., Wheeler, R., Smith, B., Dardick, C., Dixit, A., Raines, D., Callahan, A., Srinivasan, C., Spencer, L., Richards, J., Stutte, G. (2015). Over-expression of FT1 in plum (*Prunus domestica*) results in phenotypes compatible with spaceflight: a potential new candidate crop for bioregenerative life support systems. *Gravitational and space research*, Volume 3, Issue 1: 39-50. DOI: <https://doi.org/10.2478/gsr-2015-0004>
23. Grotewold, E. (2006). The genetics and biochemistry of floral pigments. *Annual Review of Plant Biology*, Volume 57: 761-780. DOI: doi.org/10.1146/annurev.arplant.57.032905.105248
24. Gupta, R. M., Musunuru, K. (2014). Expanding the genetic editing tool kit: ZFNs, TALENs, and CRISPR-Cas9. *The Journal of Clinical Investigation*, Volume 124, Issue 10: 4154-4161. DOI: doi.org/10.1172/JCI72992
25. Gupta, S., Mishra, P., Mishra, P., Tewari, V., Pandey, S. (2024). Transgenic animals and plants: application and future scope. *Medicinal Biotechnology*, pp. 61-77. DOI: doi.org/10.1016/B978-0-443-22264-1.00004-9
26. Haun, W., Coffman, A., Clasen, B. M., Demorest, Z. L., Lowy, A., Ray, E., Retterath, A., Stoddard, T., Juillerat, A., Cedrone, F., Mathis, L., Voytas, D. F., Zhang, F. (2014). Improved soybean oil quality by targeted mutagenesis of the fatty acid desaturase 2 gene family. *Plant Biotechnology Journal*, Volume 12, Issue 7: 934-940. DOI: doi.org/10.1111/pbi.12201
27. Jia, R., Zhao, H., Huang, J., Kong, H., Zhang, Y., Guo, J., Huang, Q., Guo, Y., Wei, Q., Zuo, J., Zhu, Y. J., Peng, M., Guo, A. (2017). Use of RNAi technology to develop a PRSV-resistant transgenic papaya. *Scientific Reports*, 7: 1-9. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-13049-0>
28. Kamle, M., Kumar, P., Patra, J. K., Bajpai, V. K. (2017). Current perspectives on genetically modified crops and detection methods. *3 Biotech*, Volume 7, Issue 3: 219. DOI: doi.org/10.1007/s13205-017-0809-3
29. Katsumoto, Y., Fukuchi-Mizutani, M., Fukui, Y., Brugliera, F., Holton, T. A., Karan, M., Nakamura, N., Yonekura-Sakakibara, K., Togami, J., Pigeaire, A., Tao, G-Q., Nehra, N. S., Lu, C-Y., Dyson, B. K., Tsuda, S., Ashikari, T., Kusumi, T., Mason, J. G., Tanaka, Y. (2007). Engineering of the rose flavonoid biosynthetic pathway successfully generated blue-hued flowers accumulating delphinidin. *Plant and Cell Physiology*, Volume 48, Issue 11: 1589-1600. DOI: doi.org/10.1093/pcp/pcm131

30. Kim, C. Y., Karthik, S., Kim, H. (2025). Soybean molecular breeding through genome editing tools: recent advances and future perspectives. *Agronomy*, Volume 15, Issue 8: 1983. DOI: doi.org/10.3390/agronomy15081983
31. Kiran, K. (2020). Advanced approaches for biofortification. *Advances in Agri-Food Biotechnology*: 29-55. DOI: doi.org/10.1007/978-981-15-2874-3_2
32. Koetle, M. J., Finnie, J. F., Balazs, E., Van Staden, J. (2015). A review on factors affecting the *Agrobacterium*-mediated genetic transformation in ornamental monocotyledonous geophytes. *South African Journal of Botany*, Volume 98: 37-44. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2015.02.001>
33. Kyndt, T., Quispe, D., Zhai, H., Jarret, R., Ghislain, M., Liu, Q., Gheysen, G., Kreuze, J. F. (2015). The genome of cultivated sweet potato contains *Agrobacterium* T-DNAs with expressed genes: An example of a naturally transgenic food crop. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, Volume 112, No. 18.: 5844-5849. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.1419685112>
34. Lin, H.-Y., Wei, H.-A., Lin, F.-P., Shih, D. Y.-C. (2006). Study of PCR detection methods for genetically modified soybeans with reference molecules. *Journal of Food and Drug Analysis*, Volume 14, No. 2.: 194-202. DOI: <https://doi.org/10.38212/2224-6614.2490>
35. Liu, W., Meng, L., Liu, X., Liu, C., Jin, W. (2022). Establishment of an ELISA method for quantitative detection of PAT/pat in GM crops. *Agriculture*, Volume 12, Issue 9: 1400. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture12091400>
36. Lobato-Gómez, M., Hewitt, S., Capell, T., Christou, P., Dhingra, A., Sarai, P. (2021). Transgenic and genome-edited fruits: background, constraints, benefits, and commercial opportunities. *Nature Horticulture Research*, 8: 1-16. <https://doi.org/10.1038/s41438-021-00601-3>
37. Martin, C., Butelli, E. (2024). The purple tomato story; from laboratory bench to the consumer. *ACS Food Science & Technology*. Volume 5, Issue 1: 19-28. DOI: doi.org/10.1021/acsfoodscitech.4c00692
38. Meyer, P., Heidmann, I., Forkmann, G., Saedler, H. (1987). A new petunia flower colour generated by transformation of a mutant with a maize gene. *Nature*, Volume 330: 677-678. DOI: doi.org/10.1038/330677a0
39. Morelli, L., Perez-Colao, P., Reig-Lopez, D., Di, X., Llorente, B., Rodriguez-Concepcion, M., (2024). Boosting pro-vitamin A content and bioaccessibility in leaves by combining engineered biosynthesis and storage pathways with high-light treatments. *The Plant Journal*, Volume 119, Issue 6: 2951-2966. DOI: <https://doi.org/10.1111/tpj.16964>

40. Niraula, P. M., Fondong, V. N. (2021). Development and adoption of genetically engineered plants for virus resistance: advances, opportunities and challenges. *Plants*, Volume 10, Issue 11: 2339. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants10112339>
41. Nishihara, M., Hirabuchi, A., Teshima, T., Uesugi, S., Takahashi, H. (2024). Flower color modification in *Torenia fournieri* by genetic engineering of betacyanin pigments. *BMC Plant Biology*, 24:614. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12870-024-05284-1>
42. Nonaka, S., Arai, C., Takayama, M., Matsukura C., Ezura, H. (2017). Efficient increase of γ -aminobutyric acid (GABA) content in tomato fruits by targeted mutagenesis. *Scientific Reports*, Volume 7: 7057. DOI: doi.org/10.1038/s41598-017-06400-y
43. Palma, L., Munoz, D., Berry, C., Murillo, J., Caballero, P. (2014). *Bacillus thuringiensis* toxins: an overview of their biocidal activity. *Toxins*, Volume 6, Issue 12: 3296-3325. DOI: <https://doi.org/10.3390/toxins6123296>
44. Palmer, A. C. (2025). Golden rice: A quarter-century of innovation, challenges, and the promise of better nutrition. *The Journal of Nutrition*, Volume 155, Issue 9: 2846-2853. DOI: doi.org/10.1016/j.tjnut.2025.06.025
45. Paul, M., Thriveni, V., Niharika, M., Upadhyay, D. K., Kiro, D., Verma, A., Patil, S. (2024). A review on biofortification of crops: a nutritional strategy for combating malnutrition. *European Journal of Nutrition & Food Safety*, Volume 16, Issue 11: 63-77. DOI: doi.org/10.9734/ejnfs/2024/v16i111577
46. Pigott, C. R., King, M. S., Ellar, D. J. (2008). Investigating the properties of *Bacillus thuringiensis* cry proteins with novel loop replacements created using combinatorial molecular biology. *Applied and Environmental Microbiology*, Vol. 74, No. 11: 3497-3511. DOI: <https://doi.org/10.1128/AEM.02844-07>
47. Polák, J., Kundu, J. K., Krska, B., Beoni, E., Komínek, P., Pívalova, J., Jarosová, J. (2017). Transgenic plum *Prunus domestica* L., clone C5 (cv. HoneySweet) for protection against sharka disease. *Journal of Integrative Agriculture*, Volume 16, Issue 3: 516-522. DOI: [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(16\)61491-0](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(16)61491-0)
48. Pusztai Á., Bardócz Zs. (2004). A genetikailag módosított élelmiszerek biztonsága. Budapest, Kölcsey Intézet. pp. 34-36.
49. Pócs, V., Szegő, A. (2018): A GMO-k kimutatása. In: Lukács, N.: Növényi biotechnológia egyetemi jegyzet. Budapest, Szent István Egyetem, pp. 120-142.
50. Quamruzzaman, A. (2021). The first GM crop in Bangladesh - Bt Eggplant. *European Journal of Agriculture and Food Sciences*, 3(2): 45-55. DOI: doi.org/10.24018/ejfood.2021.3.2.237

51. Quintela, E. D., Oliveira de Souza, T. L. P., Faria, J. C., Lima Aragao, F. J., Arruda e Silva, J. F., Del Peloso, M. J., Arthurs, S. P. (2023). Comparison of Bemisia tabaci infestation, virus infection, and yield in conventional and transgenic bean golden mosaic virus-resistant common bean elite lines. *Florida Entomologist*, Volume 106, No. 1: 29-37. DOI: <https://doi.org/10.1653/024.106.0105>
52. Shea, Z., Singer, W. M., Zhang, B. (2020). Soybean production, versatility, and improvement. *Legume Crops – Prospects, Production and Uses*. pp 1-23. DOI: <https://doi.org/10.5772/intechopen.91778>
53. Shi, M., Gu, J., Wu, H., Rauf, A., Rmran, T. B., Khan, Z., Mitra, S., Aljohani, A. S. M., Alhumaydhi, F. A., Al-Awthman, Y. S., Bahattab, O., Thiruvengadam, M., Suleria, H. A. R. (2022). Phytochemicals, nutrition, metabolism, bioavailability, and health benefits in lettuce - a comprehensive review. *Antioxidants*, Volume 11 (6): 1158. DOI: <https://doi.org/10.3390/antiox11061158>
54. Sukla, V. K., Doyon, Y., Miller, J. C., DeKolver, R. C., Moehle, E. A., Worden, S. E., Mitchell, J. C., Arnold, N. L., Gopalan, S., Meng, X., Choi, V. M., Rock, J. M., Wu, Y-Y., Katibah, G. E., Zhifang, G., McCaskill, D., Simpson, M. A., Blakeslee, B., Greenwalt, S. A., Butler, H. J., Hinkley, S. J., Zhang, L., Rebar, E. J., Gregory, P. D., Urnov, F. D. (2009). Precise genome modification in the crop species *Zea mays* using zinc-finger nucleases. *Nature*, Volume 459: 437-441. DOI: [10.1038/nature07992](https://doi.org/10.1038/nature07992)
55. Sun, L., Nasrullah, Ke, F., Nie, Z., Wang, P., Xu, J. (2019). Citrus genetic engineering for disease resistance: past, present and future. *International Journal of Molecular Sciences*, Volume 20, Issue 21: 5256. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms20215256>
56. Séralini, G-E., Clair, E., Mesnage, R., Gress, S., Defarge, N., Malatesta, M., Hennequin, D., Spiroux de Vendomois, J. (2014). Long-term toxicity of a Roundup herbicide and a Roundup-tolerant genetically modified maize. *Environmental Sciences Europe*, Volume 26: 14. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12302-014-0014-5>
57. Tanaka, Y., Brugliera, F., Chandler, S. (2009). Recent progress of flower colour modification by biotechnology. *International Journal of Molecular Sciences*, 10: 5350-5369. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms10125350>
58. Tilocca, M. G., Serratrice, G., Oggiano, M. A., Mancuso, M. R., Mascia, I., Marongiu, E., Vodret, B. (2014). Monitoring the presence of genetically modified potato EH92-527-1 (BPS-25271-9) in commercial processes food. *Italian Journal of Food Safety*, Vol. 3, No. 1: 1628. DOI: <https://doi.org/10.4081/ijfs.2014.1628>

59. Tiwari, J. K., Singh, A. K., Behera, T. K. (2023). CRISPR/Cas genome editing in tomato improvement: advances and applications. *Frontiers in Plant Science*, Volume 14. DOI: doi.org/10.3389/fpls.2023.1121209
60. Toevs, E. A., Guenthner, J. F., Johnson, A. J., McIntosh, C. S., Thornton, M. K. (2011). An industry perspective of all-native and transgenic potatoes. *AgBioForum*, 14: 14-19. DOI: doi.org/10.3355/10726
61. Tucker, T. (2018). Cases and tools in biotechnology management. pp. 490-503.
62. Tóth, G. (2004). Génhábóru. A genetikailag módosított élelmiszerek kockázatai. Pilisvörösvár, Pilis-Vet Kiadó. pp. 35-40.
63. Urnov, F. D., Rebar, E. J., Holmes, M. C., Zhang, H. S., Gregory, P. D. (2010). Genome editing with engineered zinc finger nucleases. *Nature Reviews Genetics*, Volume 11: 636-646. DOI: doi.org/10.1038/nrg2842
64. Vainio, J., Mattila, S., Abdou, S. M., Sipari, N., Teeri, T. H. (2023). Petunia dihydroflavonol 4-reductase is only a few amino acids away from producing orange pelargonidin-based anthocyanins. *Frontiers in Plant Science*, Volume 14: 1-9. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1227219>
65. Velez, A. M., Darlington, M., Jurat-Fuentes, J. L., Kogel, K-H., Rathore, K., Smagghe, G., Whyard, S. (2024). RNA Interference in agriculture: methods, applications, and governance. *Council for Agricultural Science and Technology*, No. 72.: 1-20. DOI: [10.62300/IRNE9191](https://doi.org/10.62300/IRNE9191)
66. Velich, I. (szerk.) (2001). Növénygenetika. Budapest, Mezőgazda Kiadó. pp. 394-395.
67. Waltz, E. (2015). Nonbrowning GM apple cleared for market. *Nature Biotechnology*, Volume 33, Issue 4: 326-327. DOI: doi.org/10.1038/nbt0415-326c
68. Waltz, E. (2016). Gene-edited CRISPR mushroom escapes US regulation. *Nature Magazine*, Volume 532: 293. DOI: [10.1038/nature.2016.19754](https://doi.org/10.1038/nature.2016.19754)
69. Wang, J., Liu, S., Ma, H., Tao, Y., Feng, S., Gong, S., Thang, J., Zhou, A. (2020). Reliable and efficient *Agrobacterium tumefaciens*-mediated genetic transformation of *Dianthus spiculifolius*. *Horticultural Plant Journal*, Volume 6, Issue3: 199-204. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.hpj.2020.03.004>
70. Wani, S., Iralu, N., Meghanath, D., Hamid, A. (2025). Double antibody sandwich enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA) for detection of plant viruses. *Detection of Plant Viruses*, pp. 47-50. DOI: doi.org/10.1007/978-1-0716-4390-7_11
71. Yin, M., Wei, C., Du, H., Lyu, T., Luo, F., Zhang, W., Zhou, X., Wang, C., Chen, L., Lee, D. (2025). Comprehensive analysis of R2R3-MYB transcription factors reveals OsMYB1

as a key regulator of anthocyanin biosynthesis in rice. *Plant Science*, Volume 360. DOI: [10.1016/j.plantsci.2025.112732](https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2025.112732)

72. Zhang, B. (2012). Transgenic cotton: from biotransformation methods to agricultural application. *Methods in Molecular Biology*, Volume 958: 3-15. DOI: [10.1007/978-1-62703-212-4_1](https://doi.org/10.1007/978-1-62703-212-4_1)

Hivatkozott weboldalak:

http 1. USDA: USDA honlapja: 2025.10.01. forrás:

http://www.usda.gov/wps/portal/usda/usdahome?navid=BIOTECH_GLOSS&navtype=RT&parentnav=BIOTECH?

http 2. MTA: MTA honlapja: 2025.10.09. forrás:

https://mta.hu/tudomany_hirei/a-genomszerkesztes-svajci-bicskaja-a-crisprcas9-rendszer-111113

http 3. Live Science: Live Science honlapja: 2025.10.18. forrás:

https://www.livescience.com/planet-earth/plants/pink-pineapples-are-in-high-demand?fbclid=IwAR0nvUTEh25s3cHdXxo88bMO__Wn3jdwqrH_tBU-mHWYpeaK6EY6x_5wLmM_aem_AaRcC9LzEf_vQvwKhx6O6LNzQVDnNxp-LXJsFxfpjbEDHgiVonDbQW3onU-DvaPuRHo&mibextid=Zxz2cZ#lm6n1u4qz74kc8gb151

http 4. The Science Times: The Science Times honlapja: 2025.10.18. forrás:

<https://www.sciencetimes.com/articles/45794/20230905/genetically-engineered-pinkglow-pink-pineapples-hitting-market-what-makes.htm>

http 5. BASF: BASF honlapja: 2025.10.18. forrás: [https://www.agro.basf.hu/hu/AgroKnow-](https://www.agro.basf.hu/hu/AgroKnow-Szolg%C3%A1ltat%C3%A1sok/K%C3%A1ros%C3%ADt%C3%B3lexikon/Nem-gomb%C3%A1s-megbeteged%C3%A9sek/V%C3%ADrusok/Szilvahiml%C5%91-vagy-sarka-betegs%C3%A9g/)

[Szolg%C3%A1ltat%C3%A1sok/K%C3%A1ros%C3%ADt%C3%B3lexikon/Nem-gomb%C3%A1s-megbeteged%C3%A9sek/V%C3%ADrusok/Szilvahiml%C5%91-vagy-sarka-betegs%C3%A9g/](https://www.agro.basf.hu/hu/AgroKnow-Szolg%C3%A1ltat%C3%A1sok/K%C3%A1ros%C3%ADt%C3%B3lexikon/Nem-gomb%C3%A1s-megbeteged%C3%A9sek/V%C3%ADrusok/Szilvahiml%C5%91-vagy-sarka-betegs%C3%A9g/)

7. ÁBRÁK JEGYZÉKE

1. ábra: Agrobacterium fertőzés növényi részen. 8. oldal
2. ábra: Génpuska működési elve. 9. oldal
3. ábra: Aranyrizs 25. oldal