

Géntechnológia a mezőgazdaságban

Mészáros Klára

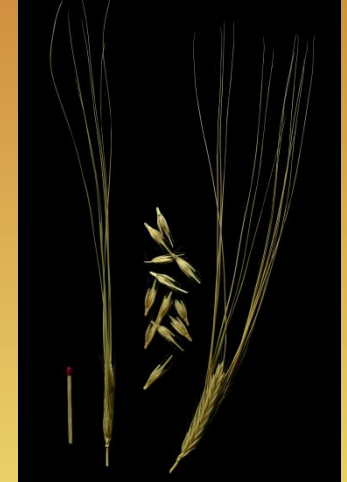
Magyar Tudományos Akadémia Agrártudományi Kutatóközpont



Mezőgazdaság kialakulása (ie. 8000)



- Közel-Kelet
Búza
Árpa



- Kelet- Ázsia:
Köles, (ie. 4000)
Rizs (ie. 3000)
- Délkelet-Ázsia:
Lóbab, borsó (ie. 7000)
- Mexikó, Peru:
Kukorica
(ie. 5200-3400)



Mezőgazdaság kialakulása

(ie. 8000)



➤ Közel-Kelet



A mezőgazdasági termelés már célirányos, tudatos tevékenység, ami eleinte csak kiegészítette a természetből nyert táplálékokat. A házasítás során az eleinte termesztett vad formákat az ember szükségleteinek megfelelően átalakította.

LODAB, DORSO (ie.
7000)

➤ Mexikó, Peru: Kukorica (ie. 5200-3400)



Milyen elvárásoknak kell megfelelni az új fajtáknak?

➤ Környezeti adaptáció:

Abiotikus stressz rezisztencia

Biotikus stressz rezisztencia

➤ Termőképesség

➤ Minőségi beltartalmi értékek

Mennyiségi tulajdonságok



Hagyományos, keresztezéses növénynevelés

➤ **A genetikai variációk felkutatása:**

Nemzetközi együttműködés, alapanyag csere: egzotikus források

Saját törzsek és fajták

Génbank: tájfajták, régi fajták. Vad és természetesen rokon fajok

➤ **Szülők kiválasztása:**

Fajta előállítás: Adaptábilis törzsek kiválasztása

Forrás előállítás: Extrém genotípusok kiválasztása

➤ **Új genetikai variáció létrehozása:** az utódok között a transzgresszív segregáció vizsgálata, új tulajdonságokat hordozó genotípusok szelektálása

Szaporodásbiológia

Genetikai



A növénynevelés szakaszai

1. Genetikai variabilitás létrehozása:

Keresztezés

2. Szelekció: Fenotípusos tulajdonságok alapján Klasszikus genetikai módszerekkel

3. Kipróbálás: Termőképesség vizsgálata több termőhelyen

4. Fajta minősítése

5. Fajta fenntartás:

Vegetatív szaporítás

Maggal: Öntermékenyülő

Idegen termékenyülő: hibrid előállítás



A növénynevelés szakaszai

1. Genetikai variabilitás létrehozása:

Keresztezés

2. Szelekció: Felvétel
Kiválasztás

3. Kipróbálás: Tükrözés

4. Fajta minősítés

5. Fajta fenntartás

Vegetatív

Maggal:



alapján
erékkel

őbb termőhelyen

Öntermékenyülő

Idegen termékenyülő: hibrid előállítás



A növénynevelés szakaszai

1. Genetikai variabilitás létrehozása:

Keresztezés

2. Szelekció: Fenotípus alapján

Klasszikus genetikai módszerekkel

3. Kipróbálás: Termőképesség vizsgálata több termőhelyen

4. Fajta minősítése

5. Fajta fenntartás:

Vegetatív szaporítás

Maggal: Öntermékenyülő

Idegen termékenyülő: hibrid előállítás





2015. 11. 19.
Mészáros Klára

A növénynevelés szakaszai

1. Genetikai variabilitás létrehozása:

Keresztezés

2. Szelekció: Fenotípus alapján

Klasszikus genetikai módszerekkel

3. Kipróbálás: Termőképesség vizsgálata több termőhelyen

4. Fajta minősítése

5. Fajta fenntartás:

Vegetatív szaporítás

Maggal : Öntermékenyülő

Idegen termékenyülő: hibrid előállítás

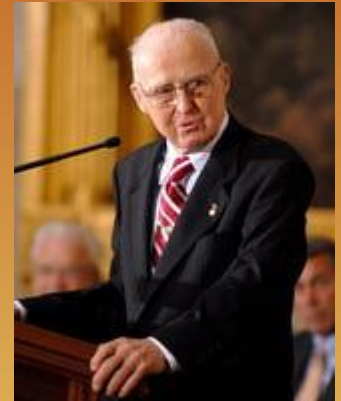


A növénynevelés szakaszai



Zöld forradalom

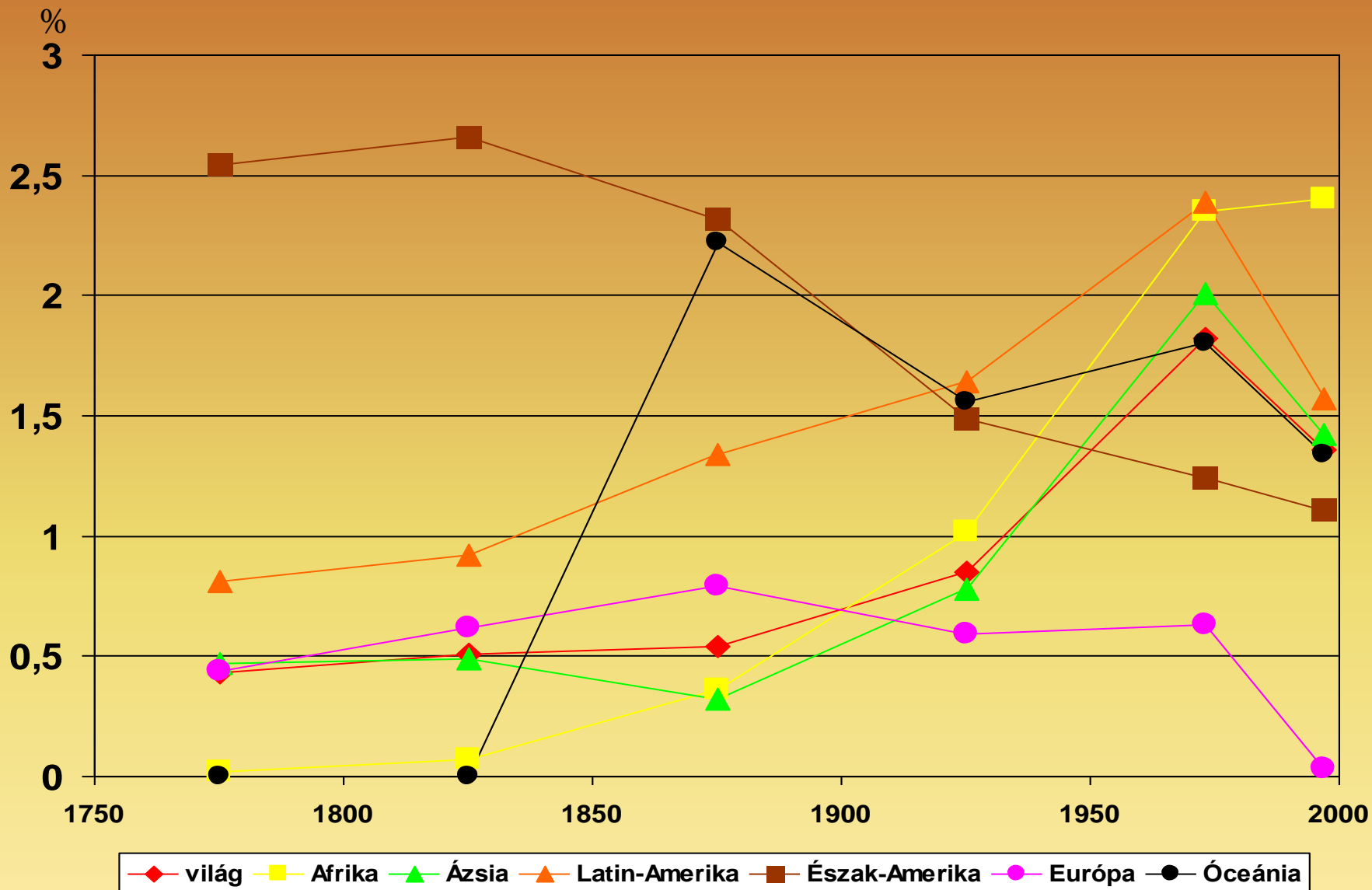
Dr. Norman E. Borlaug
(1914-2009)

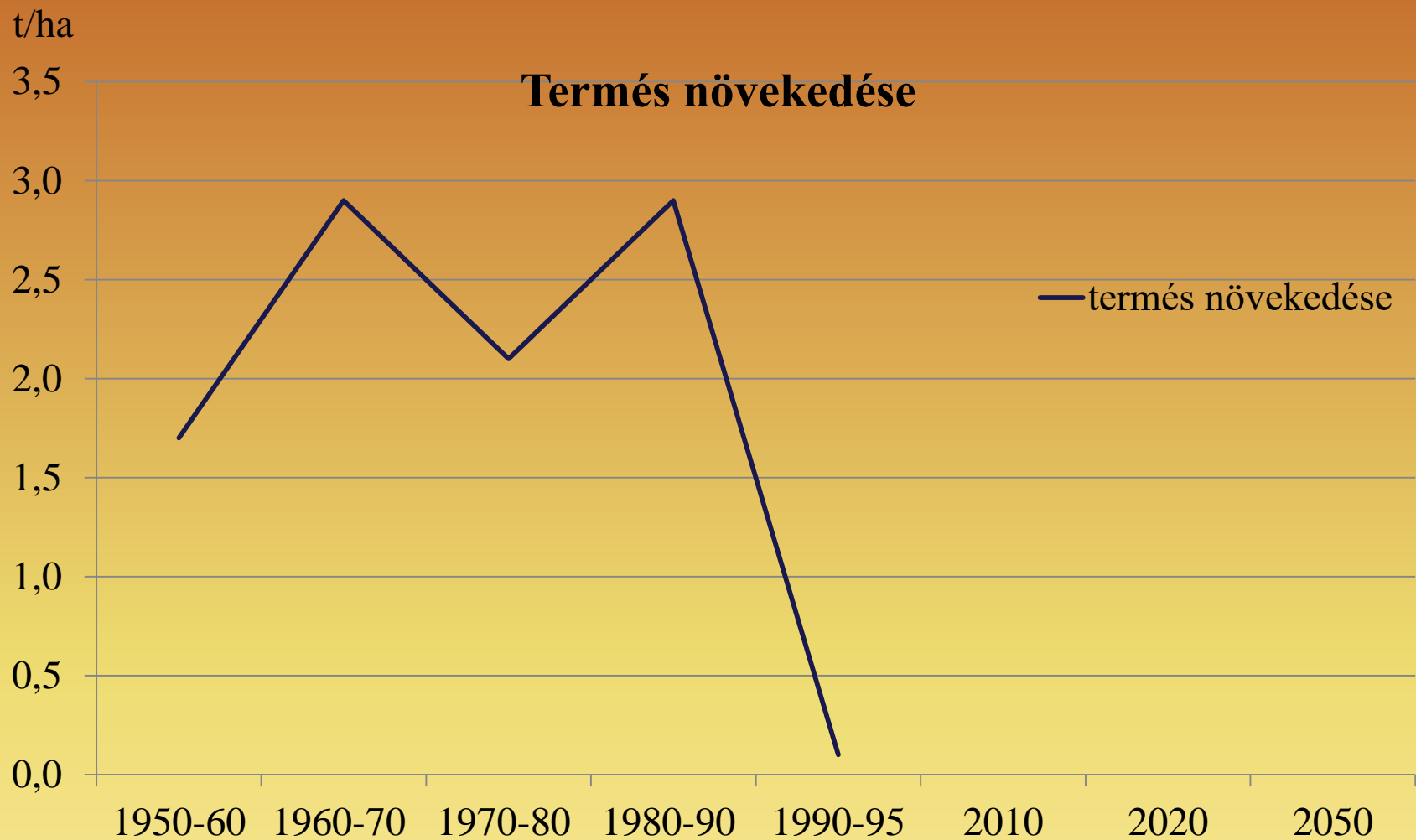


- **Modern nagy termőképességű, alacsony, betegségeknek ellenálló, intenzív fajták nemesítése.**
- **Nőtt a növények genetikailag meghatározott produktivitása a zöld forradalom hatására.**
- **Nagyarányú kemizálás, gépesítés, öntözéses gazdálkodás**



Világ népességének átlagos éves növekedési rátája %-ban





A termésnövekedés lassulásának okai

- Instabil produktivitás
- Kevesebb kémiai anyag felhasználás
- Klímaváltozás hatásai
- Új betegségek megjelenése és gyors terjedése
- Élelmiszerbiztonság jelentősége nő



Növénynevelés új feladatai

- Növénytermesztés hatékonyságának és a termékbiztonság növelése
 - speciális termesztési rendszerek biztosítása (herbicidek tolerancia)
 - biotikus stressz tolerancia növelése
 - környezeti adaptáció és abiotikus stressz tolerancia javítása. Fagyállóság, hő- és szárazságtűrés javítása
 - Víz (WUE) és nitrogén hasznosítás (NUE) javítása,
- Funkcionális élelmiszer alapanyag előállítására alkalmas növényfajta
- Bioenergetikai célra alkalmas növények nevelése
- Technológiai rendszerekre adaptált és/vagy nevelített fajták (gyógyszer alapanyag, oltóanyag)
 - sejt fermentorokban
 - szántóföldi növénytermesztésben



2019. 11. 19.

Mészáros Klára



Hagyományos nemesítés korlátai

- Keresztezhetőség határai
- Genetikai kapcsoltság hátrányos tulajdonsággal
- Több évtizedig tartó nemesítés
- A termesztett növények és tenyésztett állatok csak azokkal a tulajdonságokkal rendelkeznek melyek génjeikben kódoltak.

Új módszerek keresése: BIOTECHNOLÓGIA



Biotechnológia

Olyan eljárások, melyben az ember által bizonyos célból megváltoztatott, genetikailag módosított élőszervezetek vesznek részt. Ezek lehetnek mikroorganizmusok, növényi vagy állati sejtek, de akár teljes növény vagy állat is.

Növényi biotechnológia

A növények, növényi sejtek, sejtorganellumok genetikai programjának megváltoztatását és az így kialakított új képességek technológiai alkalmazását jelentik.



Növényi biotechnológia fő területei

➤ Ivaros és ivartalan szaporodás biotechnológiája:

In vitro sejt és szövettenyésztési módszerek

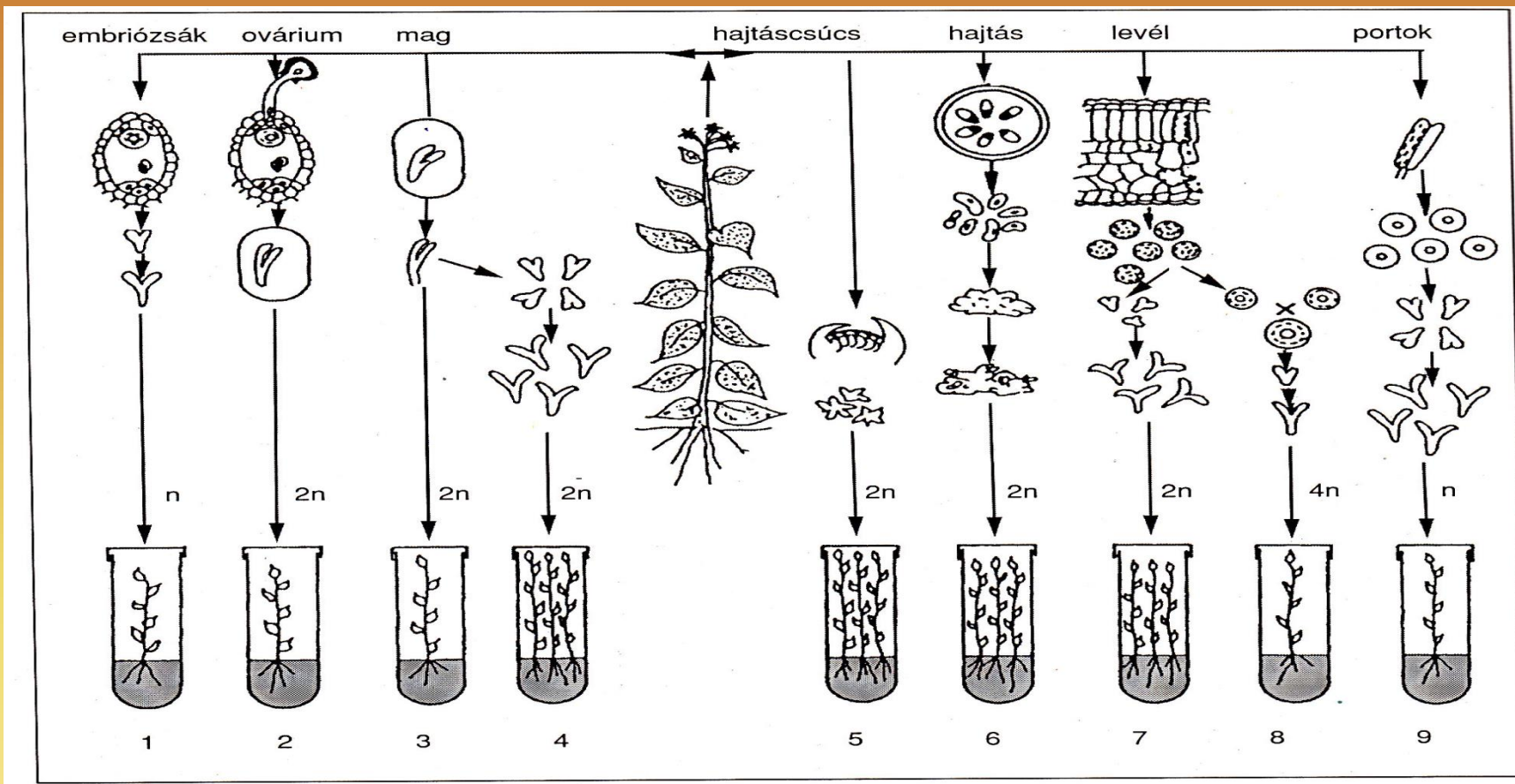


In vitro sejt- és szövettenyésztési technikák

Azokat a sejt és szövettenyésztési technikákat jelentik, melyekkel a növényi izolátumok *in vitro* életben tarthatók, szaporíthatók és belőlük új növény regenerálható



Sejt- és szövettenyésztés technikái



In vitro gynogenezis
 In vitro termékenyítés
 Embriótenyésztés
 Vegetatív szaporítás

Kalluszkultúra
 Vegetatív szaporítás
 Szomatikus hibridek
 Protoplaszt tenyésztés
 Portok tenyésztés

Forrás: Duduits Dénes- Heszky László_ Növényi biotechnológia és géntechnológia



Növényi biotechnológia fő területei

➤ Ivaros és ivartalan szaporodás biotechnológiája:

In vitro sejt és szövettenyésztési módszerek

Sejtszintű mutáns izolálás: herbicid rezisztens kukorica és napraforgó hibridek

Dihaploid növény előállítás: fajta és hibridszülő és speciális populációk előállítás

In vitro génbank: burgonya

Steril vegetatív mikroszaporítás: vírusmentes szaporító anyag

Mesterséges zigóta előállítása

Embrió kultúra: távoli fajkereszteзések

Protoplaszt tenyészet

Mesterséges mag



Növényi biotechnológia fő területei

➤ **Molekuláris biológiai és genetikai technikák:**

Strukturális és funkcionális genom analízis

Pedigree analízis

Molekuláris ujjlenyomat készítése

Markerszelekció (MAS):

Génpiramidálás

BC a rekurrens szülői tulajdonság szelektálásának felgyorsítása

Fenotípusosan ritkán vizsgálható tulajdonság esetén

QTL-analízis

Genom szekvenálás:

Arabidopsis thaliana 800 millió nukleotid

Kukorica 3,9 milliárd nukleotid

Búza 17,0 milliárd nukleotid

Gén expressziós vizsgálatok

➤ **Transzgenikus technikák vagy GÉNTECHNOLÓGIA**



<http://www.illumina.com>

Bead Array leolvasó
(SNP-re)



Géntechnológia

- Géntechnológia: a sejtmagban vagy a sejtorganellumokban (mitokondrium, plasztiszok) meglévő genetikai program megváltoztatása molekuláris genetikai módszerekkel. ***in vitro* DNS-rekombináció**
- Genetikai transzformáció: idegen származású DNS bevitele a növényi genomba hagyományos szexuális út kikerülésével, génátviteli módszerek alkalmazásával.
- Transzgénikus vagy genetikailag módosított (GM) élőlény: a genomjába idegen származású gén bejuttatása géntechnológiai módszerrel, amely a genomba integrálódik, működik és öröklődik. Ezáltal a GM élőlény idegen származású fehérjét termelnek.
- Ciszgénikus növény: saját vagy rokon fajból származó gén bejuttatása géntechnológiai módszerrel.



Növények genetikai transzformációja

Transzformációs technika:

Közvetlen:

A DNS-t közvetlenül juttatjuk be a befogadó szervezet sejtjeibe

Közvetett:

A DNS bejuttatása közvetítő organizmusok segítségével történik

Vektorok: riporter, szelekciós, hasznos, a beépüléshez és működéshez szükséges szekvenciák



Transzformálás
transzgénikus növény regenerálása

Transzgén beépülésének és működésének kimutatása
Transzgénikus növény felhasználása

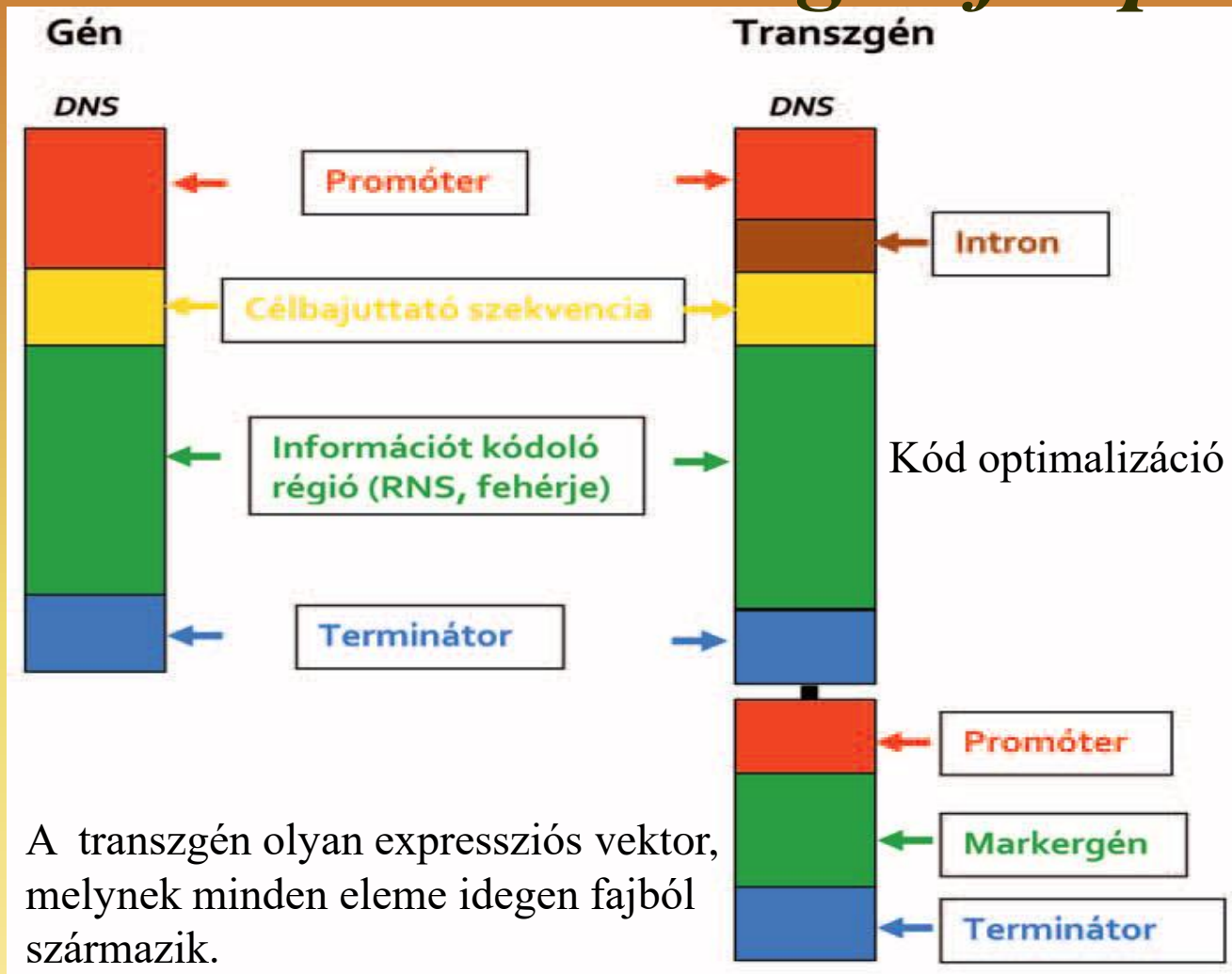
Transzformálható fajták:

Célpont: sejt, protoplaszt, szövet, növény

Hatékony *in vitro* regenerációs rendszer



A természetes és a transzgén felépítése



Forrás: Heszky László Agroforum: Biotechnológia



Transzformációs módszerek

Közvetlen (direkt) transzformáció

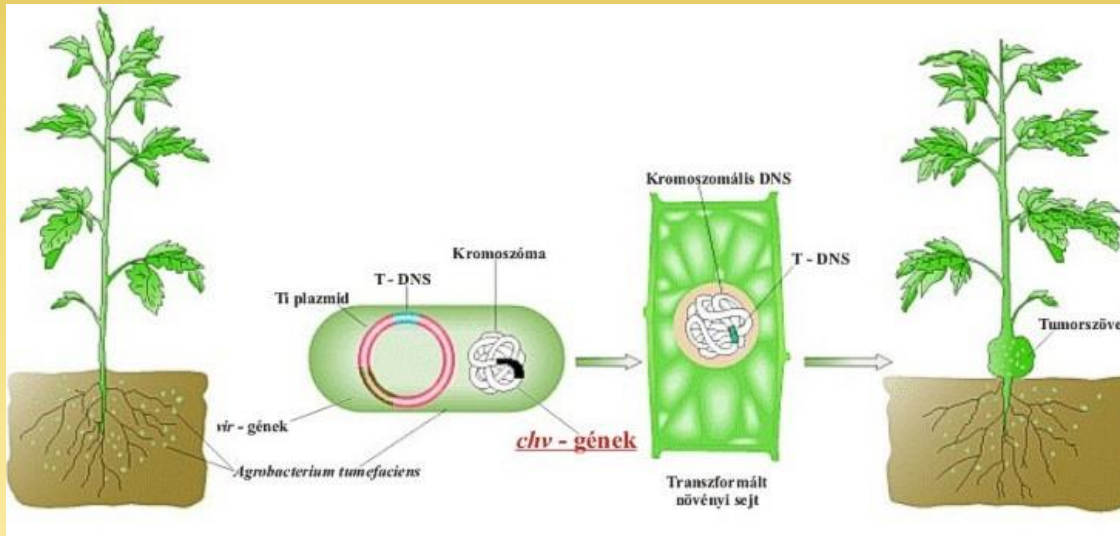
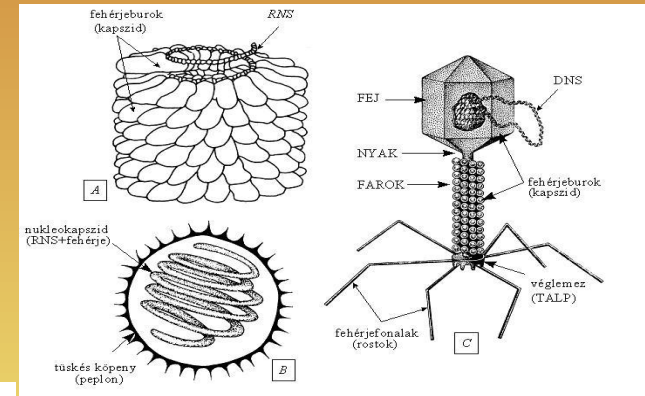
- **Kémiai hatásra**
- **Elektromosság vagy ultrahang hatására**
- **Mechanikai hatás**



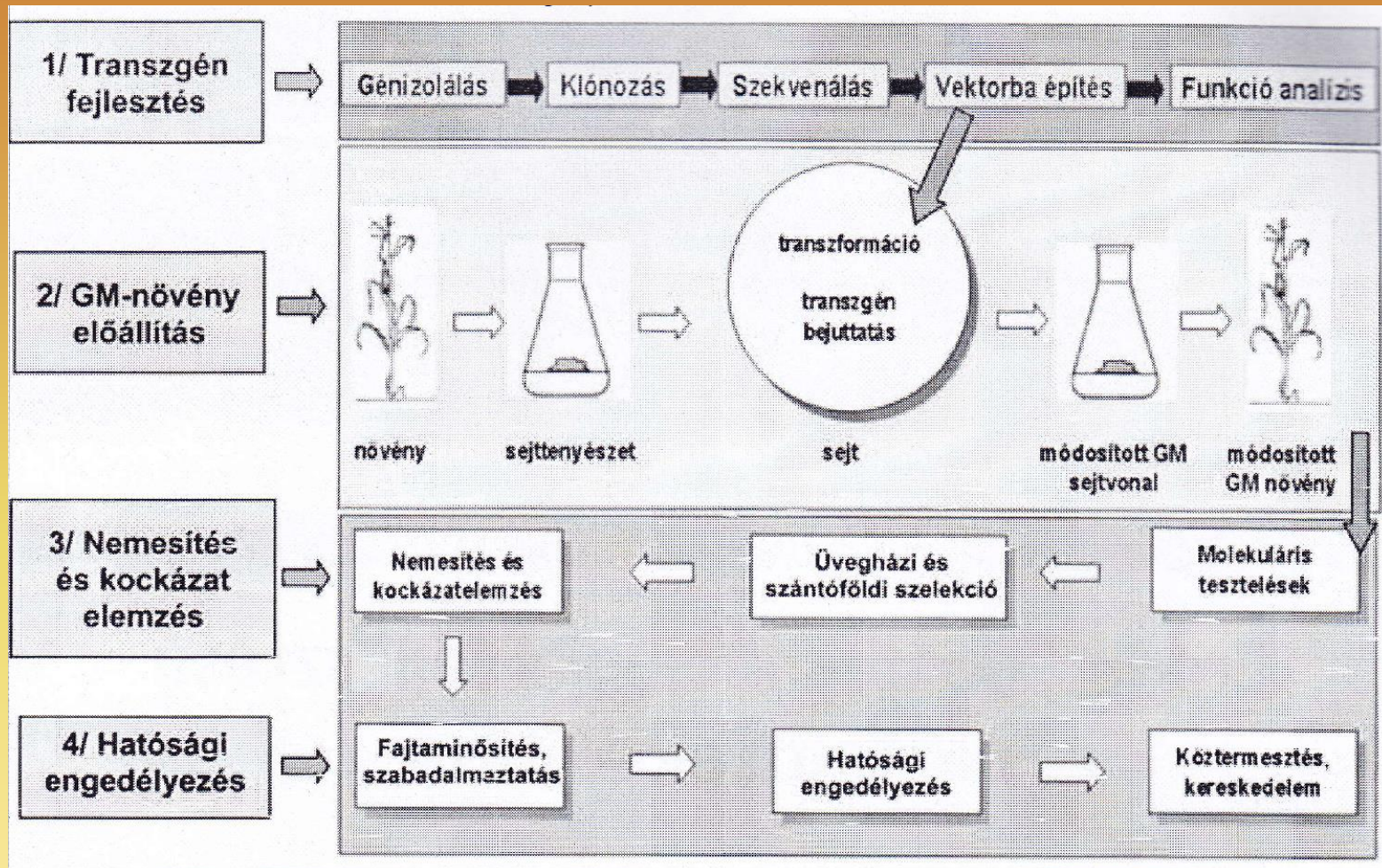
Transzformációs módszerek

Közvetett (indirekt) transzformáció

- Vírus által közvetített
- Baktérium által közvetített



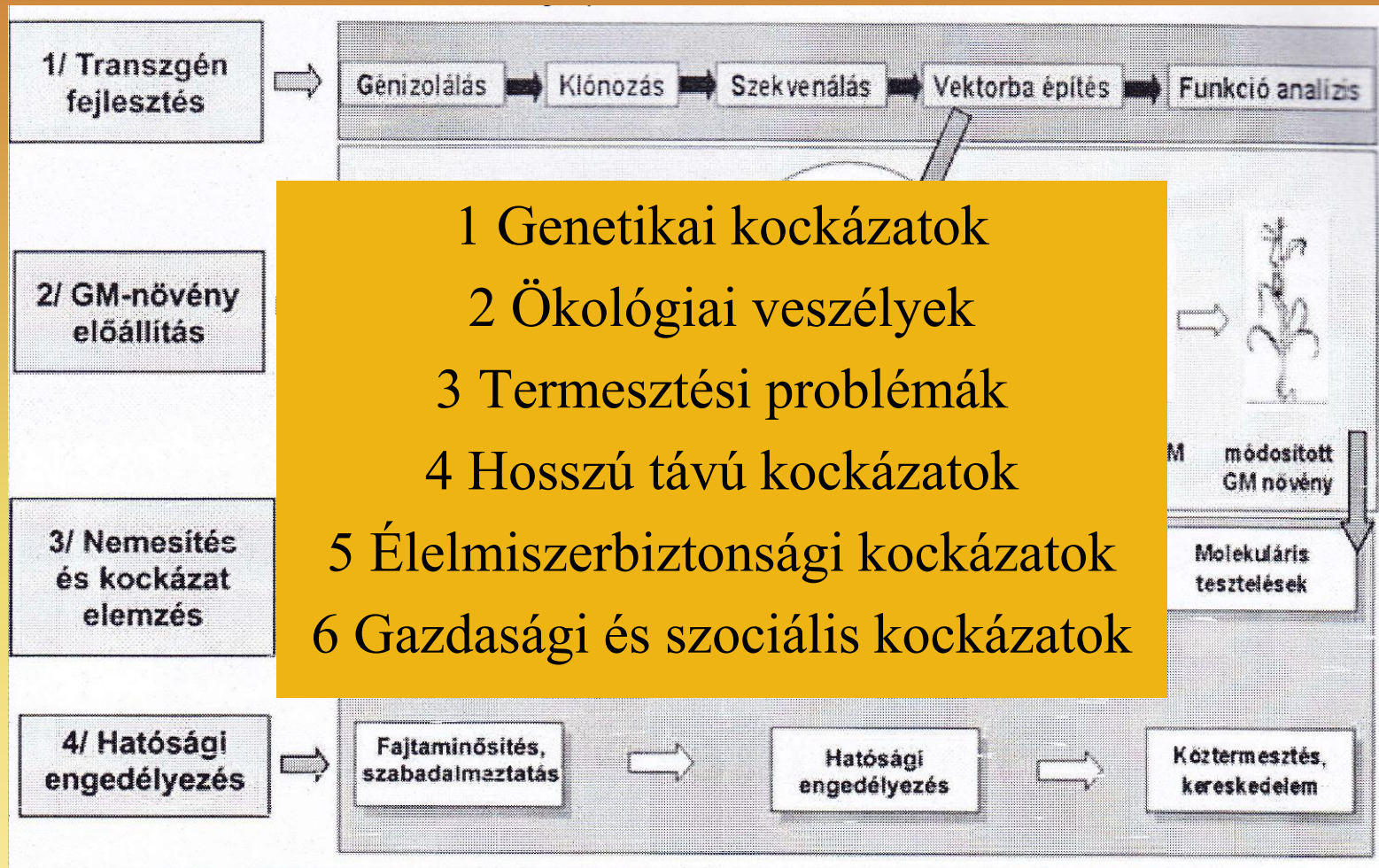
Transzgenikus növények előállítása



Forrás: Dr. Heszky László: „Tanuljunk géntechnológiául”



Transzgénikus növények előállítása



Forrás: Dr. Heszky László: „Tanuljunk géntechnológiául”



Géntechnológiai fejlesztések

➤ Technológiát javító módosítások:

Herbicid rezisztens GM növények

Hímsteril GM növények (repce)

Abiotikus stresszekkel szemben ellenálló GM
növények



Herbicide toleráns GM növények

Herbicide tolerancia típusai

Mutáns gén: Nem érzékeny a herbicide. A herbicide célenzimjének egy mutáns változatát termeli a GM növény.

Pl: Glyphosate toleráns növények: enolpiruvilsikinsav-3-foszfátszintetáz (epsp) enzim bakteriális eredetű mutáns génjét tartalmazza. Glifozát rezisztens cukorrépa és repce (2007, Kanada)

Detoxifikáló gén: Hatástalanítja a herbicide.

Glufosinate tolerancia: baktérium eredetű *pat* gén acetilálja a hatóanyagot. Pl: GM gyapot bromoxymil toleráns (1995)

Herbicide toleráns és rovarrezisztens kukorica, szója, repce és gyapot fajták (1996, USA)

Többgénés hibridkukorica (2000, USA): glifozát, glufozinát, kukoricabogár, kukoricamoly „SmartStax” (2010) 9 gént tartalmaz

Glifozát rezisztens cukorrépa és lucerna (2007)



Géntechnológiai fejlesztések

➤ Technológiát javító módosítások:

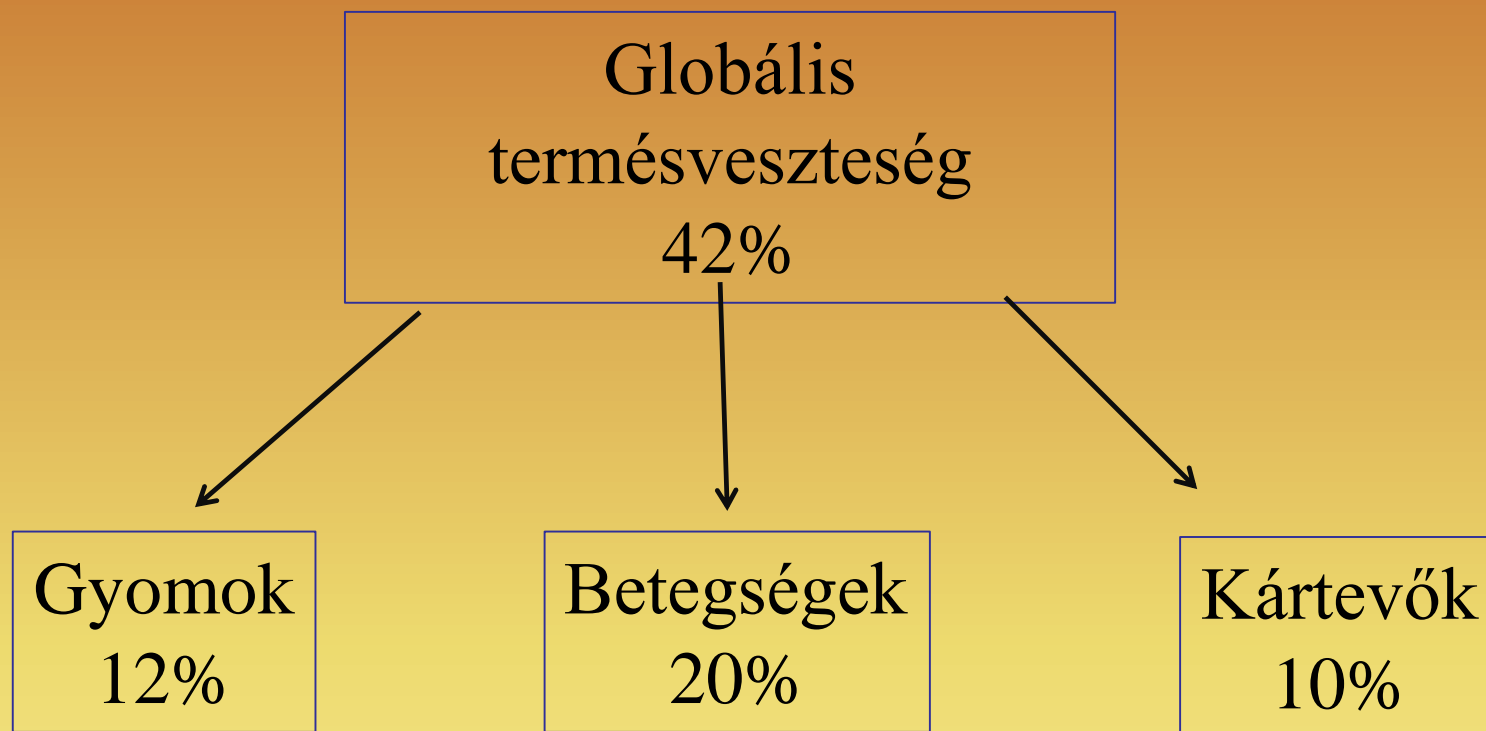
Herbicid rezisztens GM növények

Hímsteril GM növények (repce)

Abiotikus stresszekkel szemben ellenálló GM növények:

<i>Hidegtűrés/fagyűrés</i>	fagyásvédő fehérjék, AFP gének, hősokk fehérjék (HSF) génjei stb.
<i>Nehézfém tűrés</i>	metallotionein gén stb.
<i>Szárazság- és sóűrés</i>	ozmoprotektív fehérjék génjei, ABA, jelátvitel módosítása stb.





➤ Környezetbarát célok:

Rovar, baktérium, vírus és gomba rezisztens növények:

➤ Burgonyabogár és Y vírus rezisztens burgonya (NewLeaf potato) (1996-2001): 70%-os termésveszteség.

➤ Kukoricamoly és kukoricabogár rezisztens hibridek: *Bacillus thuringiensis* (**Bt**) baktérium által termelt **delta-endotoxint** kódoló génszakaszt építették be. Bt baktérium különböző törzsei többféle kristályos toxint termelnek, melyek más és más rovarfajokra hatnak. 1999-ig 130-féle gént, ill. fehérjét azonosítottak, melyek mindegyike csak egy, vagy csak néhány rovarfajra toxikus.

➤ Vírus rezisztens papaya, paradicsom és paprika:
Vírus szatellit szekvencia, vírus antiszensz RNS
Vírus burokfehérje gén
Ribozim



➤ Környezetbarát célok:

Rovar, baktérium és gombarezisztens növények

Bioremediáció GM növényekkel:

Speciálisan erre a célra kiválasztott növények méregtelenítő képességei

- szennyvízkezelés
- izotóp kivonás
- nehézfém kivonás



➤ Fogasztókat szolgáló módosítások:

Színben módosított növények: Váza élettartamban növelt szegfű, kék szegfű, lila szegfű, kék rózsza

Ízben módosított növények (pl: cukortartalom)

Magnélküli gyümölcs

Lassan érő és puhuló gyümölcsök



Lassan érő és puhuló gyümölcsök

➤ Első forgalomba került GM növények:
„Flavr-Savr” paradicsom (1994 , USA) :
poligalakturonáz gén antiszensz gátlása
(ciszgénikus)



➤ „Endless Summer” paradicsom (1995,
USA): etilén termelés gátlása az ACC-
oxidáz antiszensz gátlása révén.



➤ Egészség megőrző módosítások (Biofortifikáció):

Tápérték javítása:

Vitaminokat termelő növények:

arany rizs  A béta-karotin bioszintézisét szabályozó 3 enzim génjének bevitele

Fehérje és aminosav-tartalomban javított élelmiszerek

Beltartalmi értékben javított növények (omega-3-zsír, fitoszterol, flavonoidok, lycopin, fruktán, trehalóz, vas)

Allergén fehérjék termelésében gátolt növények:

Anyagcsere-betegségben szenvedőknek megfelelő táplálék.



➤ Ipari felhasználást biztosító:

Gyógyászati fehérjéket termelő növények

Ehető vakcinák: GM banán (fogyasztható vakcina)

Alfa-amilázt termelő növények (üdítő- és szeszgyártás)

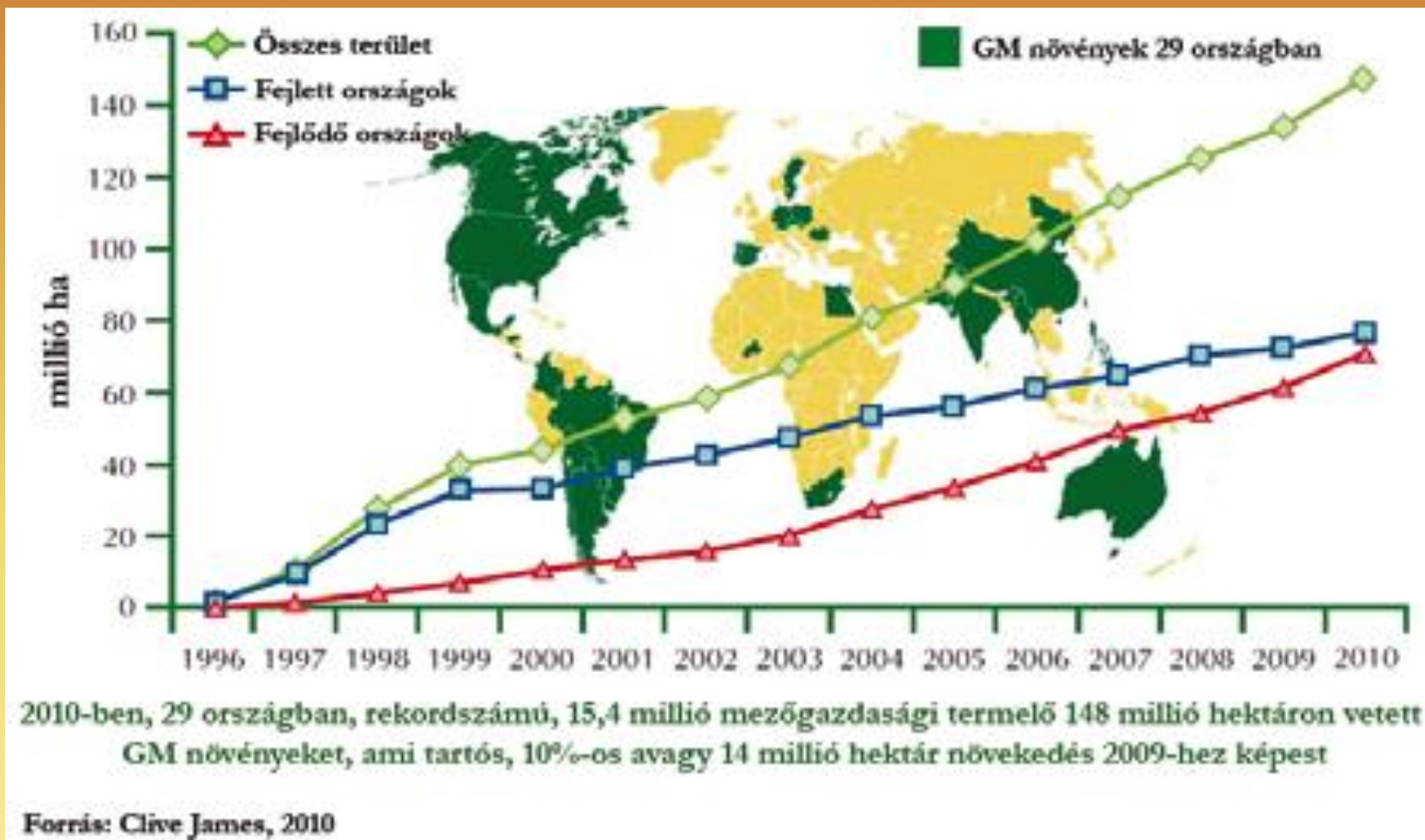
Nagy olajsav tartalmú növények (biodízel, növényolajipar)

Nagy keményítő és cukortartalmú növények

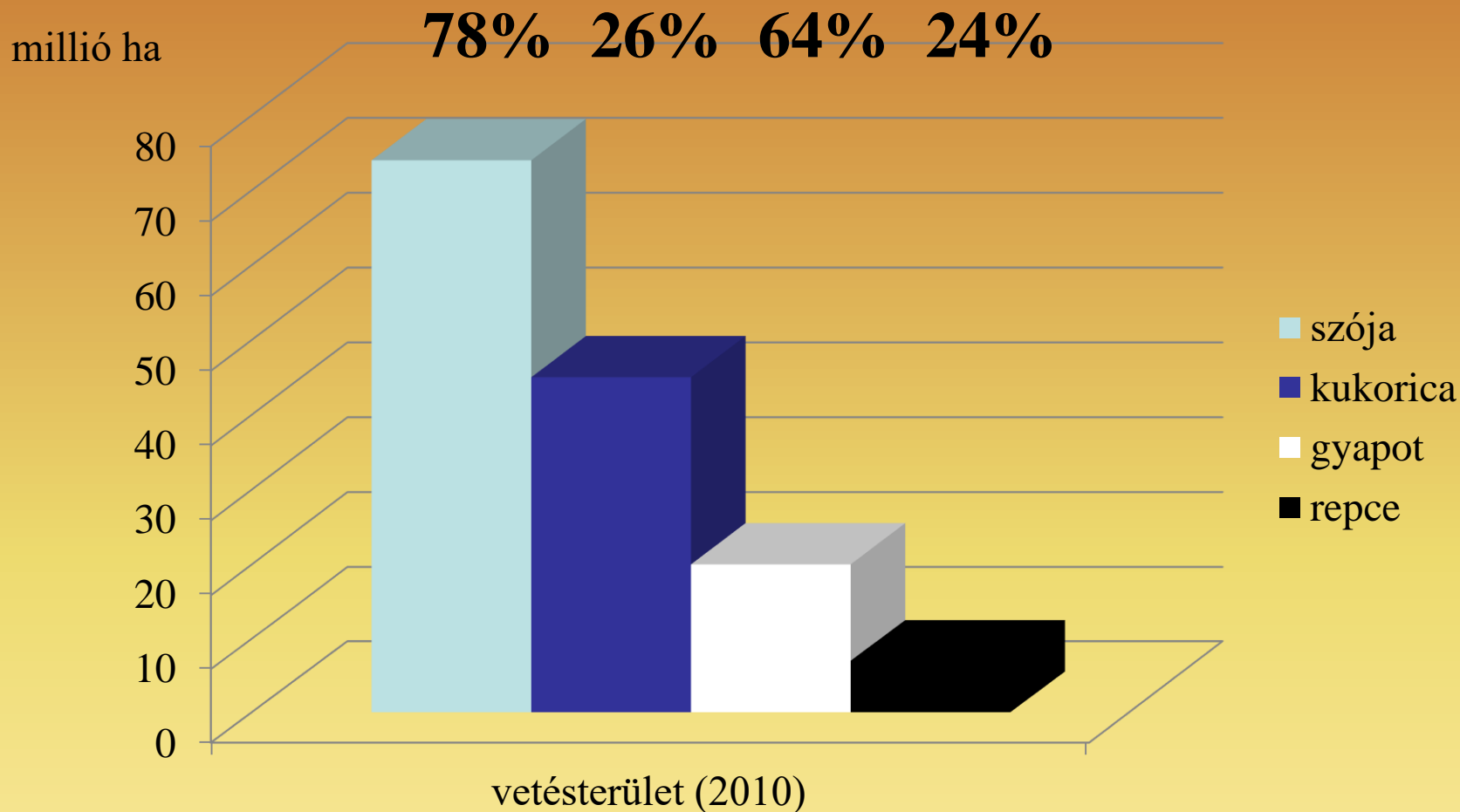
„Amflora” burgonya csak amilopektint tartalmaz Eu-ban engedélyezett.



GM növények termesztése

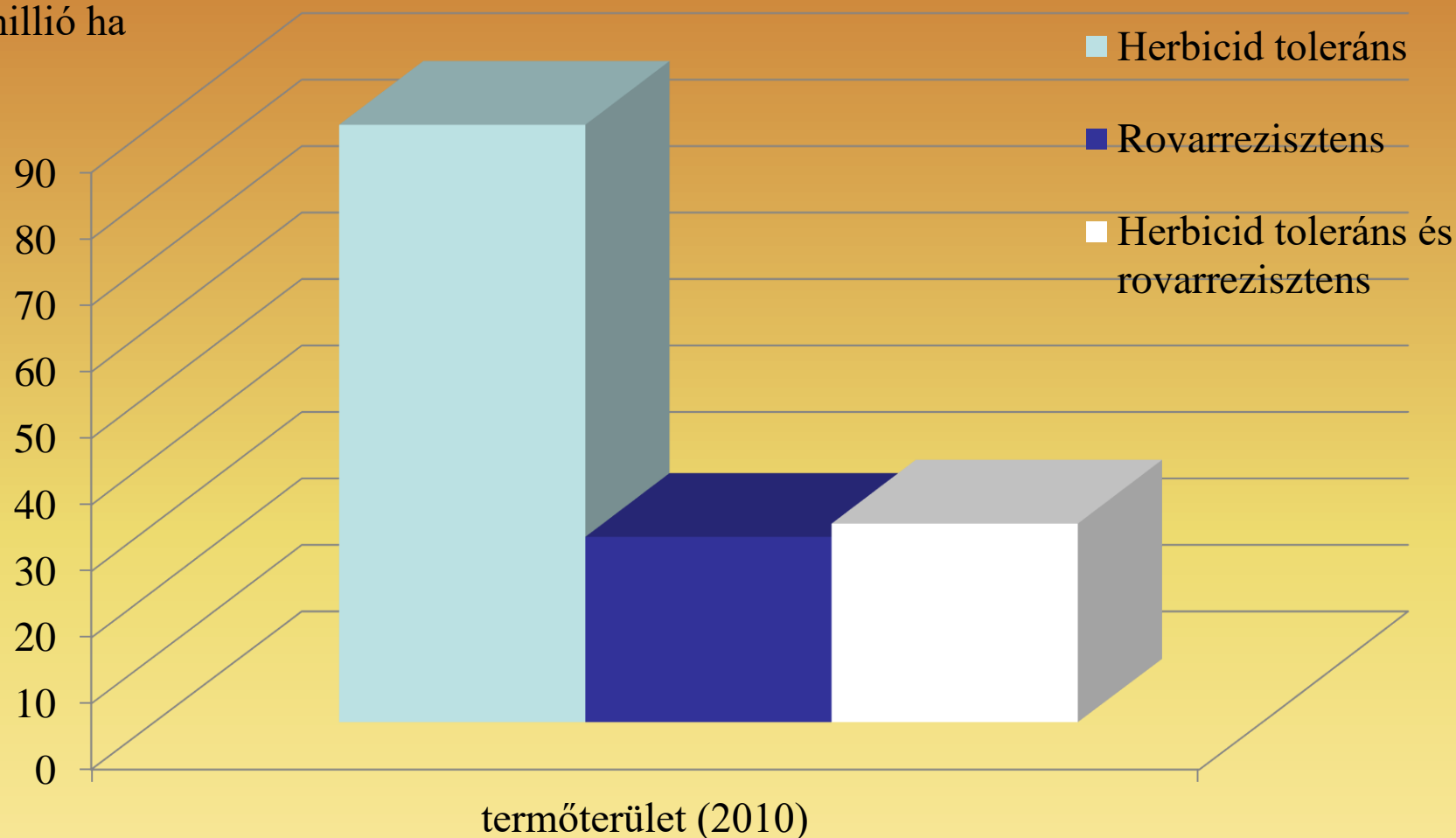


GM növények termesztése 2016-ban



GM növények termesztése

millió ha



Forrás: Clive James, 2010



GM növények termesztése

2016-ban megjelent új GM növények

2017-ben a vizsgálatok végső

- Cukorrépa szakaszában vannak
- Papja
 - Banán ➤ vírus és fuzárium rezisztens
- Tök
 - Burgonya ➤ Vírus, gomba rezisztens
- Padlizsán
 - Rizs ➤ β -karotinoiddal dúsított
- Burgonya
 - Búza ➤ Vírus, fuzárium ellenálló,
Szárzságtűrő,
beltartalomban módosított
- Alma
 - Csicserborsó ➤ Rovarrezisztens
 - Kajánborsó ➤ Rovarrezisztens
 - Mustár ➤ Rovarrezisztens
 - Cukornád ➤ Szárzságtűrő

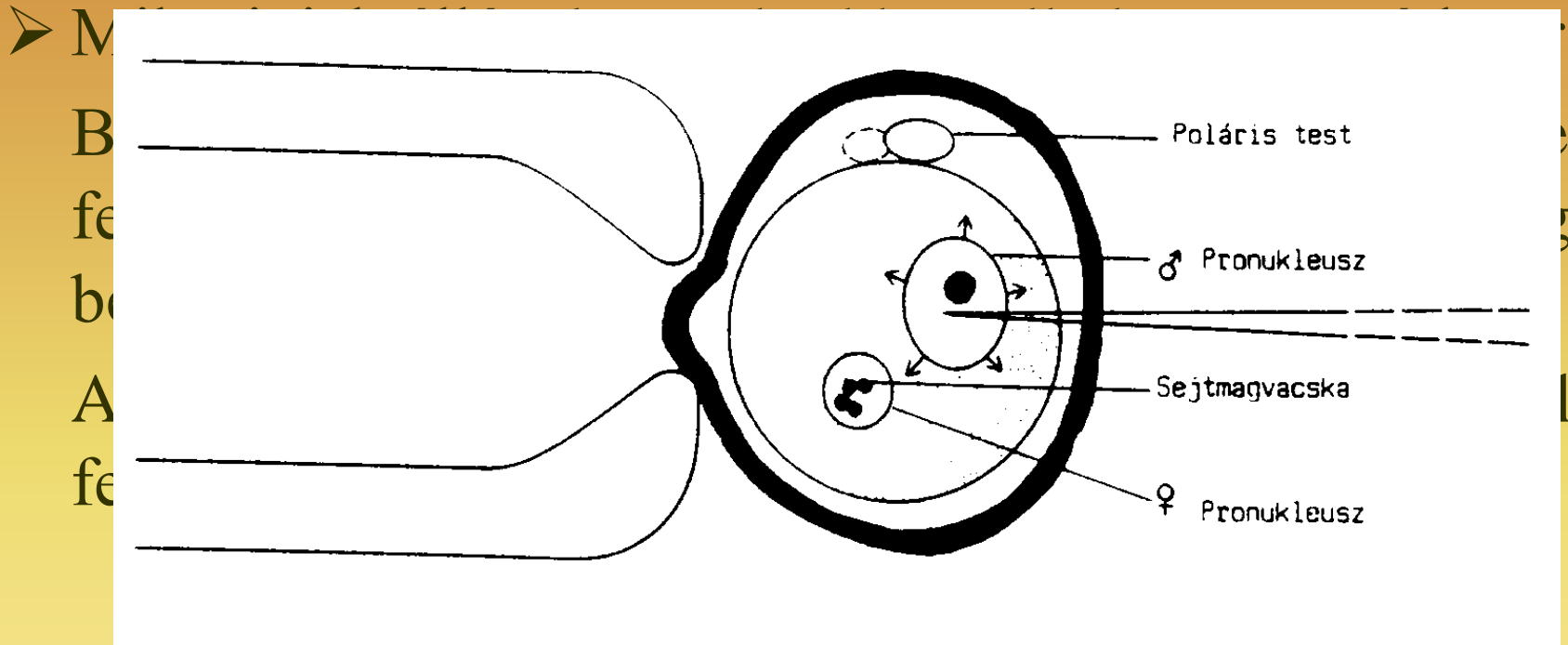


GM növények termesztése

Ország	Vetésterület (millió ha)	Főbb GM növények
USA	62,5	Szója, kukorica, gyapot, cukorrépa repce, lucerna, tök, papaya
Argentína	21,0	Szója, kukorica, gyapot
Brazília	15,8	Szója
India	7,6	Gyapot
Kanada	7,6	Repce, kukorica, szója, cukorrépa
Kína	3,8	Gyapot, paradicsom, nyár, petúnia, papaya, paprika
Paraguay	2,7	Szója
Dél-Afriai Köztársaság	1,8	Kukorica, szója, gyapot
Uruguay	0,7	Szója, kukorica
Bolívia	0,6	Szója
Fülöp-Szigetek	0,4	Kukorica
Ausztrália	0,2	Gyapot, repce, szegfű
Mexikó	0,1	Gyapot, szója
Spanyolország	0,079	Kukorica
Chile	<0,1	Szója
Kolumbia	<0,1	Kukorica, szegfű
Honduras	<0,1	Kukorica
Burkina Faso	<0,1	Gyapot
Cseh Köztársaság	0,008	kukorica
Románia	0,007	Kukorica
Portugália	0,004	Kukorica
Németország	0,003	Kukorica
Lengyelország	0,003	Kukorica
Szlovákia	0,001	Kukorica
Egyiptom	<0,1	Kukorica



Transzsgénikus állatok létrehozásának módszerei



➤ Elektroporáció

Transzgénikus állatok létrehozásának módszerei

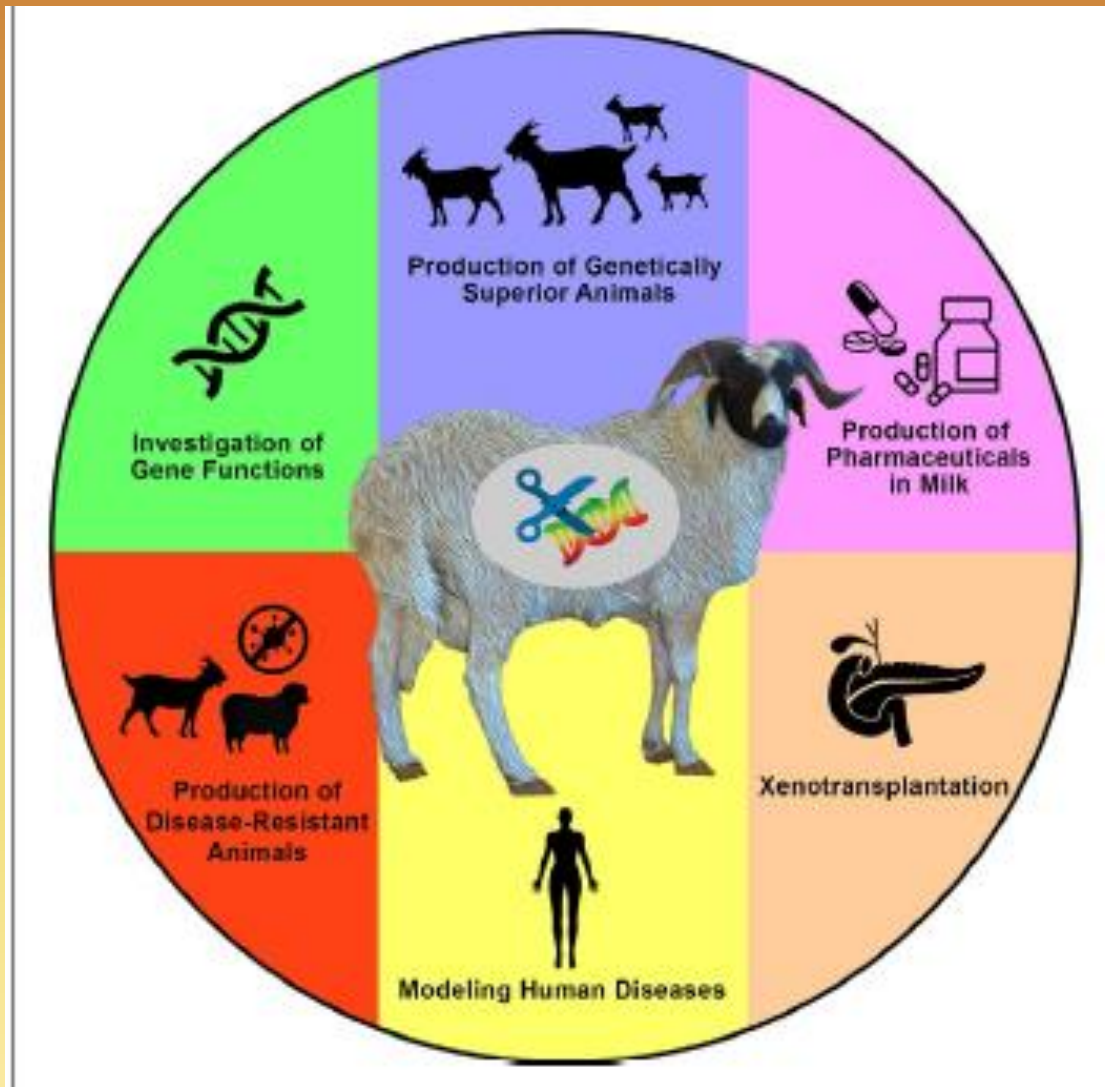
- Mikroinjektálás: leggyakrabban alkalmazott módszer:
 - Nyúl, egér, juh, szarvasmarha, tyúk,
 - Belső elválasztású mirigyek, a tej és gyapjú szerkezeti fehérjéi, az immunrendszer megváltoztatását vagy betegségrezisztencia létrehozását célozták.

A transzgénikus haszonállatok bioreaktorként való felhasználása a gyakorlatban is alkalmazásra került

- Elektroporáció



Transzgénikus állatok



GM állatok

Orvosbiológiai alkalmazás

- **Orvosi modellkísérletek** transzgénikus technológiával, melyek a betegségek kialakulásának és gyógykezelésének tanulmányozására adnak gyakran egyedülálló lehetőséget.
- **Xenotranszplantáció**, állati szervdonorok alkalmazása emberi szervátültetések során.
- **Biofarming** (élő bioreaktorok) gyógyászatilag fontos fehérjék termeltetésére: Gyógyászati célokból előállított transzgénikus haszonállatok: juh, kecske, szarvasmarha, csirke stb . Eredetileg nem termelődő, emberre gyógyhatású fehérjéket (szöveti plazminogén aktivátor, α 1-antitripszin, α -laktalbumin, α -glukozidáz stb.) választanak ki tejbe, illetve tojásfehérjébe.



Rekombináns fehérjék előállítása különböző rendszerekben (Houdebine, 1994)

	Protein mennyisége	Kivonhatóság	Posz-transzlációs módosítás
Baktériumok	++++	++	+
Élesztők	++++	+++	++
Gombák	++++	+++	+
Transzgénikus növények	++++	++	++
Emlős sejtkultúrák	+	++++	++++
Transzgénikus állatok	++++	++++	++++

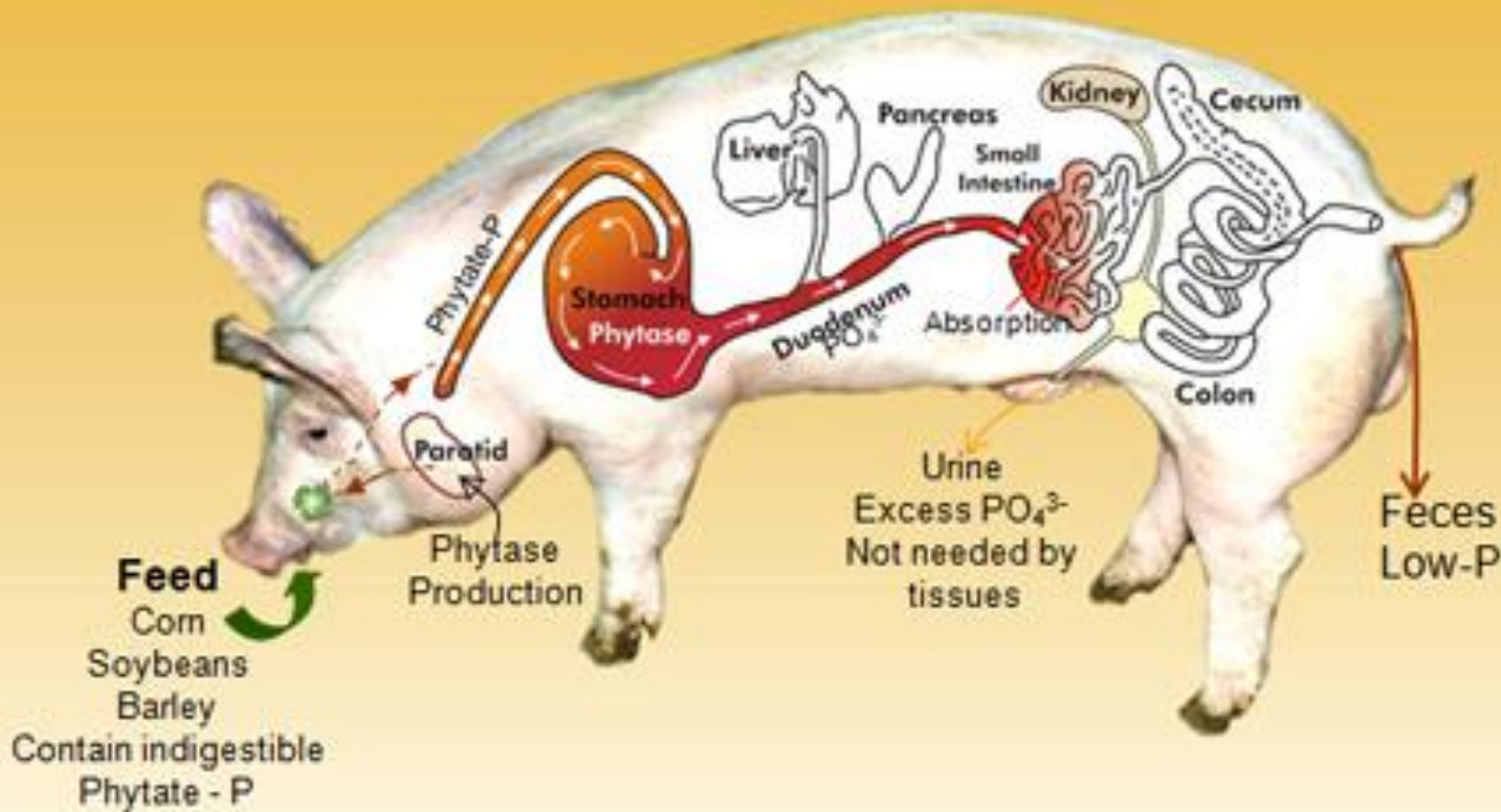


GM állatok

A mezőgazdasági alkalmazások

- Termék előállítás hatékonyságának növelése: GM lazac a Chinook lazacból származó gén bevitele következtében több növekedési hormont termel.
Gyorsabb és nagyobb növésű, de terméketlen.
- Állati egészség és jólét fokozása:
Tőgygyulladásal szemben ellenálló szarvasmarha.
RNS interferencia alkalmazása vírus okozta betegségek megelőzésére.
Madárinfluezával szemben ellenálló csirke.
- Élelmiszerbiztonság- és minőség javítása: Funkcionális élelmiszerek:
GM kecske: antibakteriális hatású lizozim tartalmú kecsketej, egyszeresen telített zsírsavat termeltető enzimben gazdag
GM szarvasmarha: nagy kazein tartalmú tej, esszenciális aminosavban és bioaktív peptidben gazdag.
GM nyúl: fenilalanin diéta
- Ökológiai lábnyom csökkentése.
Stressz hatására jelzőfehérjét termelő halak ökotoxikológiai alkalmazás.
„Enviropig”: fitáz enzim termelés.





Bioacél

- Ötször nagyobb szakítószilárdságú mint az acél
- Rugalmasabb
- Könnyebb



Felhasználás:

- Autóipar
- Ejtőernyő készítés
- Speciális védőöltözet
- Műbőr
- Műinak
- Sebek összevarrása (pl szem műtéteknél)



Géntechnológia tökéletesítésének főbb irányai

- Transzgén célzott integrációja
- Transzgén szerv és szövetspecifikus expressziója
- Transzgén expressziójának időbeni szabályozása
- Markergén eltávolítása
- „Clean gene” technológia
- Biológiai génáramlás megakadályozása
- Környezetben élő gyomok és kártevők rezisztenciájának kialakulásának megakadályozása
- Több transzgént hordozó fajták előállítása
- Plasztisz transzformáció tökéletesítése
- Ciszgénikus fajták előállítása



Precíziós nemesítés- célzott mutagenézis

Vezető RNS → mutációt hordozza

Nukleázok → *Cas9*

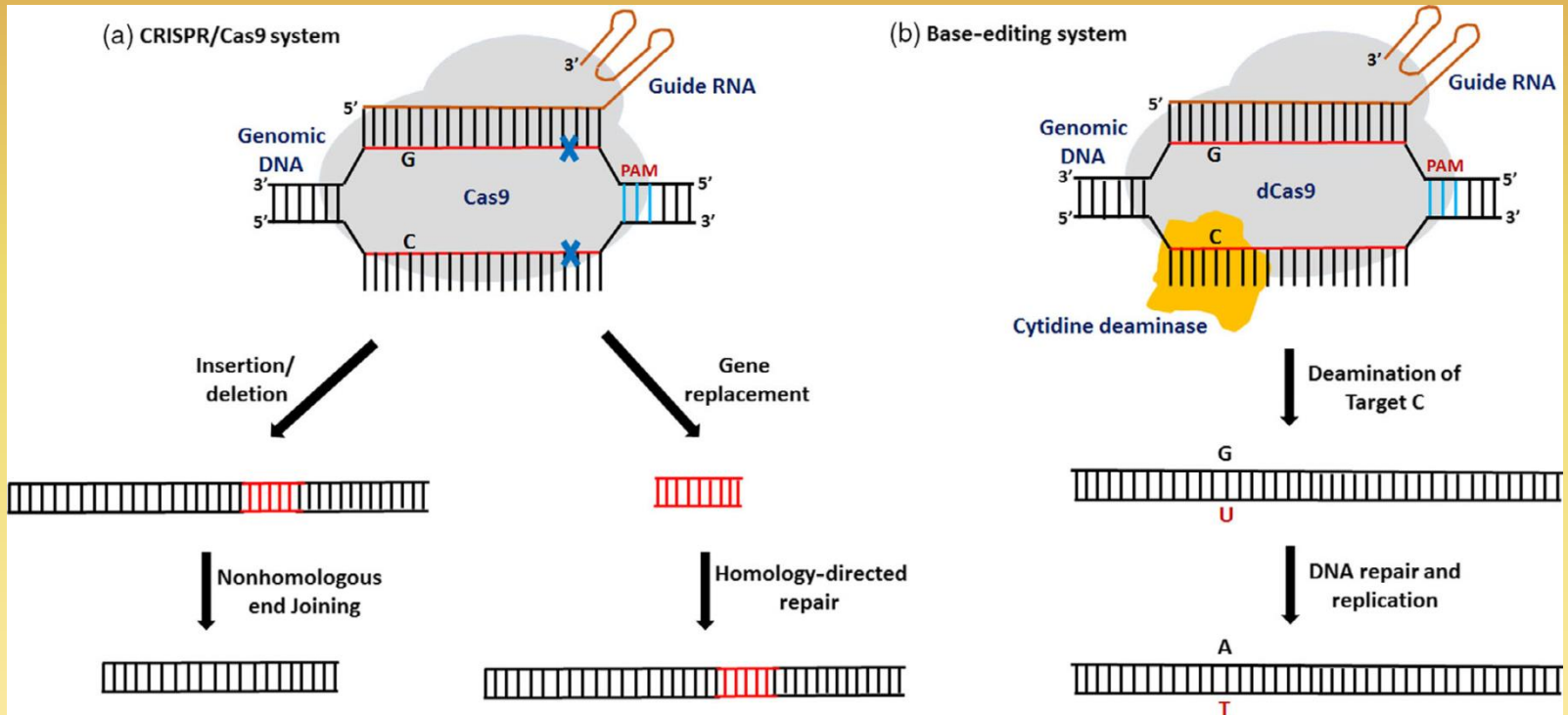


Table 1 Crop traits that have been improved by genome-editing techniques

Crop species	Gene editor	Target gene	DNA repair type	Target trait
Millet	ZFNs	ZmIPK1	HR	Herbicide tolerant and phytate reduced millet
Millet	ZFNs	ZmTLP	HR	Trait stacking
Rice	ZFNs	OxQQR	HR	Trait stacking
Rice	TALENs	OxSWEET14	NHEJ	Bacterial blight resistance
Wheat	TALENs	TaMLO	NHEJ	Powdery mildew resistance
Millet	TALENs	ZmGL2	NHEJ	Reduced epicuticular wax in leaves
Sugarcane	TALENs	CDME	NHEJ	Improved cell wall composition
Sugarcane	TALENs	CDME	NHEJ	Improved saccharification efficiency
Soybean	TALENs	FAD2-1A, FAD2-1B	NHEJ	High oleic acid contents
Soybean	TALENs	FAD2-1A, FAD2-1B, FAD5A	NHEJ	High oleic; low linoleic contents
Potato	TALENs	Vivv	NHEJ	Minimizing reducing sugars
Rice	TALENs	OxBADH2	NHEJ	Fragrant rice
Millet	TALENs	ZmMTL	NHEJ	Induction of haploid plants
<i>Besleria oleracea</i>	TALENs	FRGDA	NHEJ	Flowering earlier
Tomato	TALENs	AN1	HR	Purple tomatoes with high anthocyanin
Rice	CRISPR/Cas9	LZY1	NHEJ	Tiller-spreading
Rice	CRISPR/Cas9	Gn1a, GSS, DBP1	NHEJ	Enhanced grain number, larger grain size and dense erect panicles
Wheat	CRISPR/Cas9	GW2	NHEJ	Increased grain weight and protein content
<i>Camelina sativa</i>	CRISPR/Cas9	FAD2	NHEJ	Decreased polyunsaturated fatty acids
Rice	CRISPR/Cas9	SBE3b	NHEJ	High amylose content
Millet	CRISPR/Cas9	Wx1	NHEJ	High amylopectin content
Potato	CRISPR/Cas9	Wx1	NHEJ	High amylopectin content
Wheat	CRISPR/Cas9	EDR1	NHEJ	Powdery mildew resistance
Rice	CRISPR/Cas9	OxERF922	NHEJ	Enhanced rice blast resistance
Rice	CRISPR/Cas9	OxSWEET15	NHEJ	Bacterial blight resistance
Tomato	CRISPR/Cas9	SIMLO1	NHEJ	Powdery mildew resistance
Tomato	CRISPR/Cas9	SlJA22	NHEJ	Bacterial speck resistance
Capefruit	CRISPR/Cas9	CaLOB1 promoter	NHEJ	Allelic citrus canker
Orange	CRISPR/Cas9	CaLOB1 promoter	NHEJ	Citrus canker resistance
Capefruit	CRISPR/Cas9	CaLOB1	NHEJ	Citrus canker resistance
Cucumber	CRISPR/Cas9	wf4E	NHEJ	Virus resistance
Mushroom	CRISPR/Cas9	PPQ	NHEJ	Anti-browning phenotype
Tomato	CRISPR/Cas9	SP5G	NHEJ	Earlier harvest time
Tomato	CRISPR/Cas9	SlAQ.6	NHEJ	Parthenocarp
Millet	CRISPR/Cas9	TM25	NHEJ	Thermo sensitive male-sterile
Rice	CRISPR/Cas9	OxMATE	NHEJ	Induction of haploid plants
Tomato	CRISPR/Cas9	Sl, SP5G, ClVO, WUS, GGP1	NHEJ	Tomato domestication
Rice	CRISPR/Cas9	ALS	HR	Herbicide resistance
Rice	CRISPR/Cas9	ALS	HR	Herbicide resistance
Rice	CRISPR/Cas9	EPSPS	NHEJ	Herbicide resistance
Rice	CRISPR/Cas9	ALS	HR	Herbicide resistance

Zhang et al. Genome Biology (2018) 19:210
<https://doi.org/10.1186/s13059-018-1586-y>



Species	Target gene*	Trait of interest	Notable features
Atlantic salmon, <i>Salmo salar</i>	<i>tyr/bcl-4b</i> <i>cd</i>	Pigmentation	
	<i>dnd</i>	Sterility	
	<i>elc-w2</i>	Omega-3 metabolism	
Tilapia, <i>Oreochromis niloticus</i>	<i>dmat1/hesox2-3/fox2</i>	Reproduction	Germine transmission
	<i>grd1</i>	Reproduction	
	<i>aldh1a2/cyp26a1</i>	Reproduction	
	<i>zf-1</i>	Reproduction	Germine transmission
	<i>dmat5</i>	Reproduction	
	<i>amhy</i>	Reproduction	
	<i>wf1/wf1b</i>	Reproduction	
Sea bream, <i>Sparus aurata</i>	<i>mtln</i>	Growth	
Channel catfish, <i>Ictalurus punctatus</i>	<i>mtln</i>	Growth	Germine transmission
	<i>tlcam1/tb1</i>	Immunity	
	LH	Sterility	
Southern catfish, <i>Silurus meridionalis</i>	<i>cyp26a1</i>	Germ cell development	
Common carp, <i>Cyprinus carpio</i>	<i>sp7a/sp7b/msh7a/j</i>	Muscle development	
Rohu carp, <i>Labeo rohita</i>	TLR22	Immunity	Homology-directed repair
Glass carp, <i>Ctenopharyngodon idella</i>	<i>gqjmta</i>	Diseases resistance	<i>in vitro</i>
Northern Chinese lamprey, <i>Lepidion macul</i>	<i>slc24a5/foxd7/Glee1/sox2/wnt7b</i>	Pigmentation/development	
Rainbow trout, <i>Oncorhynchus mykiss</i>	<i>igfbp-3b1.8/b2</i>	Growth	
Pacific oyster, <i>Crassostrea gigas</i>	<i>mtln</i>	Growth	



Felhasznált irodalom

Heszky László Agrofórum: Biotechnológia: Tanuljunk géntechnológiául

Dudits Dénes- Heszky László_ Növényi biotechnológia és géntechnológia

Balázs Ervin, Dudits Dénes, Sági László: Genetikailag módosított élőlények (gmo-k) a tények tükrében



Köszönöm a figyelmet!

meszaros.klara@agrar.mta.hu

