



Ledóné Dr. Darázi Hajnalka
Főiskolai docens

Nemesítés és fajtahasználat

A rezisztencianemesítés módszerei és eredményei

Jelen tananyag a Szegei Tudományegyetemen készült az Európai Unió támogatásával.

Projekt azonosító: EFOP-3.4.3-16-2016-00014

Olvasási idő: 35 perc

Összefoglalás

A rezisztencia nemesítés a növényfajta ellenálló képességét fokozza, az ellenállóság az abiotikus és biotikus tényezőkkel szemben örökletes. A nemesítési munka hosszú és költséges folyamat, eredményessége függ a tényezők (kártévők, kórokozók) ismeretétől, az ellenállóság örökletes hátterétől.

Tartalom

- *Rezisztencia nemesítés abiotikus és biotikus tényezőkkel szemben*
- *A rezisztencia formák*
- *Rezisztencia öröklődése*
- *Rezisztencia nemesítési eljárások*
- *Növénypatogén Vírusok, baktériumok, gombák elleni rezisztencia nemesítés*
- *A rezisztencia gyakorlati jelölése.*

A rezisztencia nemesítés fontossága

A rezisztencia nemesítésnek egyre nagyobb a jelentősége a biztonságos termesztés megvalósítása érdekében. A szélsőséges időjárás, környezeti változás a fajtáktól mind szélesebb alkalmazkodó képességet kíván.

A újabb növényi kártevők, kórokozók jelenhetnek meg, a korábban ismertek pedig új változatot képeznek. EU növényvédőszer politikája hatóanyagok tömegét tiltja ki a köztermesztésből, így a védekezésben a rezisztencia központi jelentőségű.

Azonban tudnunk kell, hogy a növényfajta kórokozókkal, kártevőkkel szembeni rezisztenciája önmagában termés semleges; a rezisztenciagének járvány esetében nem többletterményt adnak, hanem termést mentenek. Járványmentes tenyészidőszakban nem csökkentik a termést, gyengébb termőképességű fajta, ha ellenálló is, nem fog nagy mennyiségű termést adni. A rezisztencia nemesítés hosszú és költsége folyamatos, a rokon fajokból átvitt rezisztencia gének előnemesítési eljárást igényel.

A rezisztencia nemesítés két fő típusát különböztetjük meg

- az abiotikus
- a biotikus tényezőkkel szemben

Rezisztencia nemesítés abiotikus tényezőkkel szemben

- **Stressz rezisztencia**- a növény a kedvezőtlen környezeti tényezőket azonosítja, reagál → anyagcsere átalakításával optimalizálja termését.
- **Stressztényezők:**
 - Szárazság – pangó víz
 - Hő, hideg- forróság
 - UV-B sugárzás
 - Kedvezőtlen talajok- magas sótartalom, kedvezőtlen kémhatás,
 - Tápanyag hiány,
 - Nehézfémek,
 - Herbicidek, növényvédő szerek

Különböző szélsőséges hőhatások esetén alkalmazott rezisztencia nemesítési lehetőségek, módok.

Télállóság

- Hótakaró nélküli tél – elfagyás, talajmozgás- gyökérszakadás
- Hóval borított – oxigén hiány- fulladás
- Nedves, csapadékos tél- hópenész- *Fusarium nivale* fertőzése
- A télállóságot befolyásolja a talaj minősége, tápanyag-ellátottsága, a vetés mélysége, a növény fejlettsége, a gabona tulajdonsága.

Fagyállóság vagy fagyűrész- a fagypontra alatti hőmérsékletet képes károsodás nélkül elviselni. Mennyiségi tulajdonság, QTL analízis szükséges.

Példa

Búzánál 5A, 2D, 5D kromoszómák- fagyűrész, 7A, 1B kromoszómák a fagyérzékenység génei. Mérése:

- szántóföldi felmérés hó mentes tél után,
- klímakamrában, *in vitro* kultúrában- fagyálló kallusok ABA tartalma magasabb-,
- fruktán tartalom meghatározásával – csökken a növény fagyérzékenysége.



<https://www.agronaplo.hu/termekinformatiok/fagykar-a-szantofoldon>

Szélsőséges vízellátás jelensége

- A szárazság vízhiányt okoz a növényben: csökkenti az edénnyalábok átmérőjét, módosítja a transpirációt, befolyásolja a fiziológiai folyamatokat. (levelek kiterülése – gázcsere- fotoszintézis → növekedés és termés hozam csökken)
- Talajban rendelkezésre álló víz
$$\Psi_w = \Psi_s + \Psi_m + \Psi_p$$

Ψ_w -vízpotenciál= Ψ_s -az ozmotikus potenciál(-), Ψ_m - a víz kötődési képessége (-) a kolloidokhoz, és a sejtek felszínéhez, Ψ_p -turgor nyomás (+)
- Vízegyensúly képlet:
$$\Delta W = (P+I) - (O+U+ET)$$

csapadék(P) + öntözés (I) vízvesztés: elfolyás (O) beszívás (U) és evapotranspiráció (ET)
- Csökken a levélfelület index (LAI)
- Gyökérnövekedés felgyorsul
- Késik a virágzás, száma csökken
- Legérzékenyebb a reprodukív fázis kori időszakában; 3-4 napos aszály akár 50% termésvesztés (pl. kukorica- nővirágzás, szója szemek kifejlődése, szemtelítődés)

Szárazságtűrő a növény, ha aszályos években csak kis mértékben csökkenti a termését. A **szárazságtűrés formái**:

- *Menekülő*- rövid tenyészidő
- A *vízvesztést kerülő*- tartalékolják, hatékonyan hasznosítják a vizet
- A *vízvesztést toleráló*- sejt szinten, ozmoregulációval fenntartják a turgort.

Összetett tulajdonság- szelektálás

- *morfológiai bélyegekre*- búza levél viaszossága, szőrözöttség, kalász szálkázottsága, bokrosodó képesség stb.

- **fenológiai tulajdonságokra**, - gyors kelés és kezdeti fejlődés, korai kalászás, virágzás és érés.
- **stressz tünetekre**- levelek sárgulása, antociános elszíneződése, csúcsszáradás, alsó levelek felszáradása

Lépések

- szárazságtűrő génforrások begyűjtése
- más földrajzi régióból
- tesztelése szárazságtűrésre,
- nemesítési program- gének beépítése

- *Welwitschia mirabilis*
- Csak a namibiai sivatagban nő, Namibia nemzeti növénye



Szárazságtűrésre nemesítés fontossága a kertészeti fajok esetében

A nagyváros klímája (mezoklíma) melegebb és szárazabb, mint a környék makroklímája. A felmelegedés elsősorban két tényezőre vezethető vissza; a beépítettségre és a szennyezett levegőre. A nagyvárosok belsejében szélcsendes időben 2–5 °C-kal, de még szeles időben is 0,5–2 °C-kal melegebb van, mint a városon kívül. Ilyen viszonyok között a levegő relatív páratartalma alacsonyabb lesz, a növényzet többet párologtat, és ezért a természetes csapadék kevésbé elég számára, a klímát száraznak érzi. A zöldfelületek kialakításánál előnybe kell részesíteni a szárazságtűrő fásszárú fajokat.

A **Pannon Breeding Program** egyik célkitűzése a fásszárú, évelő lágyszárú és egynyári dísnövényfajták nemesítése magas ökológiai tűrőképességgel, urbánus környezetben alkalmazva.

Rezisztencia nemesítés biotikus tényezőkkel szemben

Alapfogalmak

Gazdanövény és patogén kapcsolata

Kompatibilis- a növény fogékony, a kórokozó patogén képességű, virulens szervezet.

Inkompatibilis- a gazdanövény rezisztens, a fertőző ágens apatogén, avirulens.

A patogenitás és virulencia fogalma

A kórokozó **patogén**, ha megfertőzi a gazdanövény **fajt**

apatogén, ha a növényfajt egyáltalán **nem képes megfertőzni**.

Virulens egyes **növényfajtákkal szemben és avirulens más fajtákkal szemben**.

Virulencia- a kórokozó patogenitását és szaporodó képességét **összetetten** fejezi ki.

Virulens

- nagyfokú patogenitás + nagy szaporodóképesség,
- kismértékű patogenitás + kis szaporodóképesség,
- kismértékű patogenitás + nagy szaporodóképesség.

Avirulens- kismértékű patogenitás + kis szaporodóképesség.

A járványok kialakulásának feltételei

- A **kórokozó patogenitása** (megbetegítő képessége) virulencia (kvalitatív tulajdonság) mérhető a léziók méretével, a szaporító képletek mennyiségével, általában recesszíven és oligogénesen öröklődik. agresszivitás(kvantitatív tulajdonság) a fertőzés gyorsasága.
- A **gazdanövény fogékonysága**.
- **Környezeti feltételek**.
- **Emberi** tevékenység (pld. Agrotechnika).

Rezisztencia elméletek

- *Vavilov* és *Zsukovszkij* koevolúciós elmélete- a géncentrumokban a kórokozók formagazdagsága is nagy.
- *Flor* (1956) – gén-génnel szemben elmélete (gene-for -gene)- a rezisztencia gén csak akkor tud működni, ha a kórokozó is hordoz egy annak megfelelő avirulencia gént.
- Az ellenállóság (kórokozó avirulens) és a fogékonyság (kórokozó virulens) között egy tájpopulációban átmeneti állapotok is léteznek.
- *De Wit* - molekuláris hipotézis, a domináns rezisztencia allél és a domináns avirulencia allél géntermékek révén képesek egymást azonosítani: „gene- for-gene”

Rezisztencia mechanizmusok

A növényekben nincs humorális immunitás, azaz a növényeknek nincs a magasabb rendű állatokéhoz hasonló keringési rendszerük. Minden sejt lokálisan képes a védekezésre!

Aktív- azonnal aktiválódik, amint a kórokozó megpróbál parazita kapcsolatot teremteni. A rezisztenciagének (R) termékei, mint receptorok felismerik a kórokozók avirulencia (Avr)-géntermékeit, aminek következtében ún. szignál-transzdukciós lánc indul be. Ez a lánc védekezési mechanizmusok kialakításában kulminál, amelyeknek lényege a patogén gátlása vagy elölése. A fertőzés hatására felszaporodnak a szabad gyökök, a $O_2\cdot Z$, $OH\cdot$, $NO\cdot$ és a reaktív H_2O_2 . Ezek a reaktív káros gyökök és vegyületek gátolhatják vagy ölik a patogéneket.

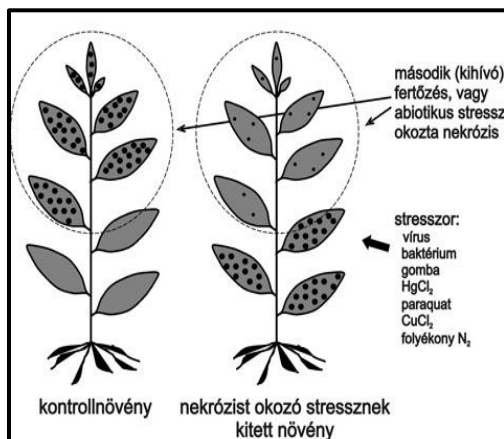
- fitoalexin termelés nő
- hiperszenzitív reakció- nekrotikus folt.

Passzív- a kórokozó jelenlététől függetlenül jelen van- pld. Anatómiai természetű- sejtfa megvastagodás, mirigyszőrösség.

Az ellenállóság formái

- Helyi rezisztencia
 - Általános (nem specifikus) rezisztencia –több patotípussal szemben
 - Specifikus – növény-patogén kapcsolat
 - Hiperszenzitív reakció – rezisztencia gén „R”
- Szisztémikus rezisztencia

Előkezelések hatására (vegyület vagy avirulens kórokozó) az aktív rezisztencia mechanizmusai hatékonyabban lépnek működésbe, ez átmeneti jelenség, hatása néhány hétig érvényesül. Az így kialakult rezisztenciát szerzett vagy indukált rezisztenciának nevezik. Ha a rezisztencia az indukció helyétől távolabb is jelentkezik, szisztémikus a szerzett rezisztencia. (1. ábra)



1. ábra Szisztémikus szerzett rezisztencia demonstrálása (Gáborjányi-Király, 2007)

A rezisztencia típusai a nemesítés szempontjából

- **Vertikális- rassz-specifikus** rezisztencia, fő gének határozzák meg (többnyire domináns), új rassz fellépésekor megszűnik. **Hiperszenzitív reakció** jellemzi.
- **Horizontális- nem rassz-specifikus**, hatékony valamennyi rasszal szemben, minor gének határozzák meg, poligénesen öröklődik. Hatása, **lassítja a betegség tünetek kialakulását**, csökkenti a kórokozó szaporodását.
- **Tartós rezisztencia- több gén** határozza meg.
- **Komplex rezisztencia-** egy fajta egyidejűleg **több betegséggel szemben is ellenálló**.
- **Tolerancia** (tűrőképesség)- a növény fertőződik, **betegség tünetek nincsenek vagy gyengék**, a termés jelentősen nem csökken.

A rezisztencia öröklődése

A rezisztencia öröklődését **keresztelési kísérletekben** vizsgáljuk:

Rezisztens (R) X Fogékony szülők (S) → F1 és F2 nemzedékek vizsgálata mesterséges fertőzéssel vagy megfelelő molekuláris markerekkel (MAS) → R/S szegregáció alapján.

- **Monogénes, domináns** - F2- R/S =3/1 – pld. burgonya *Phytophthora infestans*- R1 gén
vagy **recesszív** F2- R/S =1/3
- **Oligogénes, digénikus**- F2-9:3:3:1= R₃ R₄: R₃ r₄: r₃ R₄: r₃ r₄

pld. burgonya *Phytophthora infestans*- rasszai R_3 és R_4 gén

- **Poligénes** – a fertőzöttség mértéke alapján nem lehet diszkrét osztályokat elkülöníteni R/S, értékelése variancia-analízissel

Példa

A paprika (*Capsicum annuum*) dohány mozaik vírus (*Tobacco mosaic virus*, TMV) fertőzését négy patotípus okozza, ennek megfelelően az L rezisztencia gén négy allélját azonosították különböző *Capsicum* fajokban (1. táblázat).

Faj, fajta, vonal	Genotípus	Tobamovírus patotípusok*			
		P ₀	P ₁	P _{1,2}	P _{1,2,3}
<i>Capsicum annuum</i> 'Early Calwonder'	L ⁺ L ⁺	+	+	+	+
<i>Capsicum annuum</i> 'Bruinsma Wonder'	L ¹ L ¹	-	+	+	+
<i>Capsicum frutescens</i> 'Tabasco'	L ² L ²	-	-	+	+
<i>Capsicum chinense</i> PI 159236	L ³ L ³	-	-	-	+
<i>Capsicum chacoense</i> PI 260429 és SA 185	L ⁴ L ⁴	-	-	-	-

* ,+' szisztémikus mozaik- fogékony; '- Lokális léziók fertőzött levélen- rezisztens

1. táblázat A paprika tobamovírus rezisztenciája, (forrás: Gáborjányi-Király, 2007)

Rezisztencia-nemesítési eljárások

Hagományos növénynemesítés- szelekció, ivaros keresztezés

- Rezisztencia forrás azonosítása- vad fajok
- „Pre-breeding” – a termesztett fajjal már keresztezhető, a rezisztencia tulajdonságokat hordozó vonalak létrehozása.
- Ivaros vagy ivartalan keresztezés (protoplaszt fúzió) *Solanum brevidens* - vad burgonya fajból az Y levélsodró vírus elleni gén bevitele a termesztett burgonyába
- Back-cross program
- Indukált mutáció

In vitro szelekció (pld. szövettenyészetekben)

Protoplaszt fúzió (nem ivaros keresztezés)

Transzgénikus növények előállítása (géntechnikával)

- herbicid-rezisztenciát kódoló gén
- rovarrezisztenciát kódoló 'Bacillus thuringiensis' gén átville
- vírusok köpenyfehérje-génjének átville gazdasági növényekbe.

Vírusok elleni rezisztencia gének

Hiperszenzitív reakció- R gén és Avr gén reakciója nyomán az első sejtek elhalnak, megakadályozzák a kórokozó tovább terjedését

- Azonosításuk molekuláris-genetikai módszerek- **RFLP, AFLP, SSR**
- Rezisztencia áttörés- újonnan megjelenő vírustörzs fertőzőképes lesz
- Legtöbb **vírusrezisztencia gén**: burgonya, paradicsom, paprika, dohány **Solanaceae** fajokból azonosítottak

A **környezet befolyásolja** a rezisztenciagén kölcsönhatást

- Hőmérséklet- pld. paradicsom mozaik vírus esetén a hőmérséklet emelkedésével csökken a rezisztencia hatékonysága
- Növény kora
- Fényintenzitás és összetétel

Példa

A paradicsom bronzfoltosság vírus (*Tomato spotted wilt virus*, TSWV) törzsekkel szembeni rezisztenciát öt különböző gén határozza meg. (2., 3. táblázat)

Rezisztencia gén	Rezisztencia TSWV törzsekkel szemben
SW ₁ ^a	TB ₃ , N ₁ , R ₁
SW ₁ ^b	TB ₂
SW ₂	TB ₁ , N ₂ , R ₂ , R ₃
SW ₃	R ₂ , R ₃ , M ₂
SW ₄	M, M ₂

2. táblázat Rezisztencia gének TSWV törzsekkel szemben (forrás: Gáborjányi-Király, 2007)

Rezisztencia forrás (paradicsom faj, fajta)	Rezisztencia gén
<i>Lycopersicon pimpinellifolium</i>	SW ₁ ^a , SW ₂ , SW ₃ , SW ₄
Rey de los Tempanos	SW ₁ ^b , SW ₂ , SW ₃ , SW ₄
Pearl Harbour	SW ₁ ^a , SW ₄
Manzana	SW ₁ ^b , SW ₃

3. táblázat TSWV rezisztencia gének eredete (forrás: Gáborjányi-Király, 2007)



[Paradicsom foltos hervadás vírusról \[\]](#)

Biotechnológiai módszerek vírusrezisztencia kialakítására

- **Keresztvédettség** (cross protection)- egy kórokozó korai fertőzése megakadályozza egy későbbi, ugyanahhoz a vírushoz tartozó erősebb törzs fertőzésének kialakulását.
- **Vírus köpenyfehérje** (coat protein-CP) génnel kialakított ellenállóképesség – ellenállóképesség a tünetek megjelenésének gátlása, kevesebb lézió
 - lucerna mozaik –AMV, uborkamozaik CMV, burgonya X vírus PVX.
- **Vírus mozgásfehérje** génnel (MP- movement protein)- feladata a kórokozó sejtről-sejtre terjedését biztosítani-

- Tobamo-, Cucumo-, Potex vírusoknál
- **Antiszensz RNS-ek felhasználása**- a vírus RNS negatív szálával transzformálták a növényeket- cél a nukleinsav szintézis visszaszorítása
 - CMV, TMV, PVX

Baktériumok elleni rezisztencia nemesítés

A növény patogén baktériumok elleni rezisztencia mechanizmus a betegség lokalizációján alapul, gyors növényi sejtelhalás következik be, hyperszenzitív reakció (HR). A jelenség három fázisa különböztethető meg:

- indukciós, az aktív anyagcserét folytató baktériumsejtek a sejtközi járatokban a növénysejtekhez tapadnak.
- látencia , a HR megindításáért felelős géntermékek (Avr és Vir fehérjék) már a növénysejtbe jutottak.
- sejkollapszus, a káros reaktív oxigén gyökök aránya megnő, a sejtmembrán károsodik, áteresztőképessége megnő, létrejön a sejthalál.

Példa

A hazai rezisztencia kutatások egyik kiemelkedő eredménye a paprika xantomónászos betegségével szembeni ellenállóság beépítése a szántóföldön termesztett fajta típusokba (fűszer, paradicsom alakú, kápia).

Rezisztencia nemesítés- hazai eredmények, paprika xantomónászos betegség (*Xanthomonas campestris* pv. *Vesicatoria*)



- Fogékony tünet →
- Hiperszenzitív reakció – a környező sejtek elhalnak, lokalizáció (Bs 2 gén)
Pld: Meteorit, Kaldóm, stb.
- Általános védekezési reakció- a fertőzött sejtek megvastagodnak
- → a baktérium nem képes szaporodásra (gds gén) →

Forrás: Ledóné (1997)

Kórokozó gombák elleni rezisztencia

- Felismerési folyamat- legtöbbször **passzív**, a szaporító képletet szél, víz, rovarok szállítják,

- Három osztály (*Chytridiomycetes*, *Oomycetes*, *Plasmodiophoromycetes*) zoospórát fejleszt, **aktívan** keres- képes kemotaxis útján tájékozódni (aminosavak, cukrok, fenol származékok), flagellummal haladni.
- A **gombák elicitor anyagokat termelnek**- általános, faj- vagy rassz specifikus-a gazdanövény felismeri.

A növények élettani állapota, öregedésének sebessége befolyásolja a gomba kórokozókkal szembeni ellenálló képességüket,

- **Csíránövény** korban általában **fogékonyabbak** → felnőttkori ellenállóság- általános a kórokozó minden rasszára,
- **Biotróf** kórokozók- a **fiatal szövetekben** együtt él a megtámadott sejttel (rozsdá-, lisztharmatgombák),
- **Nekrotróf** kórokozók- **öregedő, szöveteket** kedvelik- lebontja a növényi szöveteket.
- A lézió szám az öregedéssel, míg a lézió átmérő a fiatal szövetek aktív anyagcseréjével állnak összefüggésben.

A rezisztencia gyakorlati jelölése Európai Vetőmag Társaság (2004) határozata szerint

- **Fogékonyág-** a kórokozó a növényen gyorsan terjed, termésveszteség, minőség romlás.
- **Tolerancia-** a növény fogékony a betegségre, de tünetek nincsenek, vagy gyengék (inkább abiotikus stressz esetén használjuk).
- **Rezisztencia**
 - **HR- magas fokú ellenállóság** – a növény agresszív fertőzés esetén is tünetmentes.
 - **IR- mérsékelt fokú ellenállóság-** agresszív fertőzés esetén mérsékelt betegség tünetet mutat.
- „**Immunitás**”- a gazdanövény tünetmentes, a kórokozó avirulens.

Ajánlott olvasmányok

Fodor Ferenc-Parádi István- Papp László: Stresszalapú szelekciós kutatások a Pannon Breeding projekt keretében <https://mezohir.hu/kiadvany/mezohir-2020-november/>

[Pannon Breeding | A kontinentális klímára alkalmas szárazságtűrő és betegség ellenálló fajták](#)

[Zöldségfélék rezisztencia nemesítése](#)

Források

Gáborjányi Richárd- Király Zoltán (szerk.) (2007): Molekuláris növénykórtan, Agroinform.338p.ISBN:978-963-502-871-9

Hajósné Novák Márta (2007): A növénynevelés alapjai, SZIE Mezőgazdaság- és Környezettudományi Kar, Genetika és Biotechnológiai Intézet, Gödöllő, Jegyzet, 101p.

Ledóné, Darázs, H. (1997): A paprika ellenállósága a xanthomonászos és pszeudomonászos betegségekkel szemben. 1-108p. Kandidátusi értekezés.

[1] <https://agroforum.hu/szakcikkek/novenyvedelem-szakcikkek/paradicsom-foltos-hervadas-virus-szupervirus-szupervektorral/> letöltés 2020. 12.29.

[2] https://regi.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/2011_0001_521_Novenyek-a-kertepiteszetben/ch03s15.html letöltés 2020. 12.29.

Ellenőrző kérdések

1. *Foglalja össze a rezisztencia nemesítés fontosságát, lehetőségét!*
2. *Foglalja össze az abiotikus tényezők esetén a lehetséges nemesítési eljárásokat.*
3. *Milyen gazdanövény- kórokozó kapcsolata elméleteket és rezisztencia mechanizmusokat ismer?*
4. *Ismertesse az ellenállóság típusait!*
5. *Ismertesse az ellenállóság gyakorlati jelölését!*
6. *Mi jellemzi a rezisztencia öröklődését?*
7. *Hasonlítsa össze a vírus, baktérium és gomba kórokozók elleni rezisztencia nemesítés lehetőségét és módszereit!*
8. *Foglalja össze a rezisztencia nemesítés folyamatát!*