



Ledóné Dr. Darázsi Hajnalka
Főiskolai docens

Nemesítés és fajtahasználat

Poliploid - nemesítés

Jelen tananyag a Szegedi Tudományegyetemen készült az Európai Unió támogatásával.

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

Olvasási idő 30 perc

Összefoglalás

A növényvilágban a többszörös kromoszóma készlet a poliploidia fontos szerepet játszott a fajok kialakulásában. A természetett növényfajok igen jelentős része poliploid. Keletkezésük szerint a poliploid fajok vagy autopoliploidok vagy allopoliploidok. A poliploidia számottevően fokozza a faj alkalmazkodóképességét, ezáltal több olyan genotípus keletkezik, amely jobban idomul a szélsőséges környezeti feltételekhez. A spontán allopoliploid fajok mintájára mesterséges allopoliploidokat állítanak elő, mesterséges allopoliploid pl. a triticales. A haploidok szerepe nagy jelentőségű a korszerű növénynevelésben, az in vitro indukció és DH növényelőállítás megsokszorozza a nemesítés hatékonyságát.

Tartalom

- A poliploidok csoportosítása
- Az autopoliploidok és allopoliploidok keletkezése, jellemzői
- A haploid indukció módszerei
- Androgenezisen alapuló módszerek, DH növények a nemesítésben.

Poliploidok fogalma

A poliploidok testi sejtjeiben az **alap kromoszómaszerelvény kettőnél több példányban van jelen**. Az alap kromoszómaszerelvényben (genom; jelölése: x): minden kromoszóma egy példányban található. A haploid kromoszómaszám (jelölése: n): az ivarsejtek kromoszómaszáma. Diploid fajknál $n=x \rightarrow$ a szomatikus sejtekben $2n=2x$.

Faj	Ploid szint	Kromoszóma szám	Haploid szám (n)
Búza	6n	42	7
Zab	6n	42	7
Burgonya	4n	48	12
Dohány	4n	48	12
Cukornád	8n	80	10

1. táblázat Növény fajok ploid szintje (saját szerkesztés)

A poliploidok csoportosítása

Ploidiafok	2n	Autopoliploid	Allopoliploid
		genom jelölése (példák)	
Triploid	3x	AAA	
Tetraploid	4x	AAAA	AABB durum búza AACC repce
Pentaploid	5x	AAAAA	
Hexaploid	6x		AABBDD kenyérbúza AABBRR tritikále AACCCD zab
Oktoploid	8x		AABBDDRR tritikále

2. táblázat Az euploidok (a kromoszómaszám az alap kromoszómakészlet egész számú többszöröse) csoportosítása (Monostori, 2004)

Az **euploidok** között megkülönböztetjük az **autopoliploidokat**, amelyekben a saját kromoszómakészlet többszöröse található meg, és az **allopoliploidokat**, ahol a többlet, a kromoszóma állomány idegen eredetű.

Autopoliploidia

Az autopoliploidokban **homológ genomok** találhatók több példányban. A természetben általában **extrém környezeti feltételek** között alakulnak ki (pl. magas hegységek, hőforrások, vulkánok), a diploidoknál **jobban alkalmazkodnak** a szélsőséges éghajlati és talajviszonyokhoz. pld. A flóra Izlandon 72%, a hazai szikes pusztákon 60% az arányuk. Az autopoliploidok vegetatív szervei és virágai nagyobb méretűek, hosszabb ideig virágoznak, nagyobb méretű termést hoznak, mint a diploidok.

Autotetraploidok

Előállításuk a **csíranövények kolchicin-kezelésével** történik. A magjukért termesztett mesterséges autotetraploidok általában nem versenyképesek a természetes poliploidokkal, pl. árpa, rozs (tetraploid rozs → anyarozs-termesztés)

- **Gyümölcsök**-nagyobb méret, jobb íz, nagyobb szárazanyag-tartalom, pl. szőlő, alma, narancs, uborka.
- **Takarmánynövények**- dúsabb, lágyabb, kevésbé rostos levélzet, pl. herefélék, lucerna, fűfélék.
- **Dísznövények**- nagyobb méretű, hosszabb ideig nyíló virág, pl. oroszlánszaj, hajnalka.

Autotriploidok

Előállításuk **diploidok és autotetraploidok keresztezésével** lehetséges.

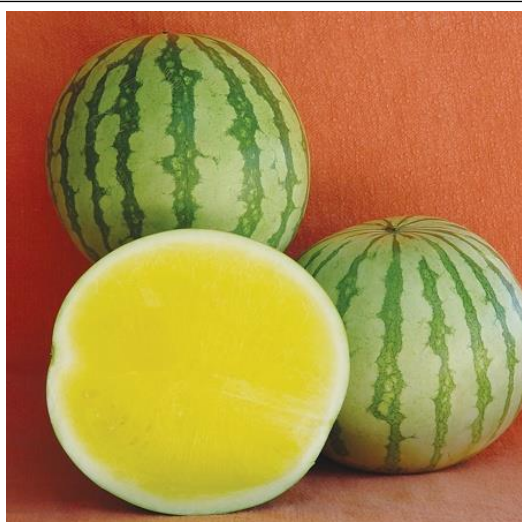
A kromoszómapárosodási rendellenességek miatt **nem teremnek magot**, nem továbbszaporíthatók.

- Mag nélküli gyümölcs előállítása, pl. görögdinnye, banán, alma, cseresznye, narancs, mandarin.
- Vegetatív szervükért termesztett növények, pl.: cukorrépa.
- Vegetatív úton szaporított dísznövények, pl. krizantém, jácint, tulipán.

Allopoliploidia

Az allopoliploidok különböző **homeológ genomokkal** rendelkező **rokon fajok kereszteződésével** jönnek létre. A természetben előforduló zárvatermő fajok több mint fele és kultúrnövényeink tekintélyes része is allopoliploid.

Az allopoliploidok **citogenetikai és genetikai szempontból diploidként** viselkednek, a homológ kromoszómapárok szabályos szétválása lehetővé teszi a kiegyensúlyozott gaméták keletkezését (pl. AABB → AB + AB) –**amfidiploid**. (3. táblázat)



Triploid görögdinnye (cv. Butterball F1)

Figure ©2002 by Griffiths et al.

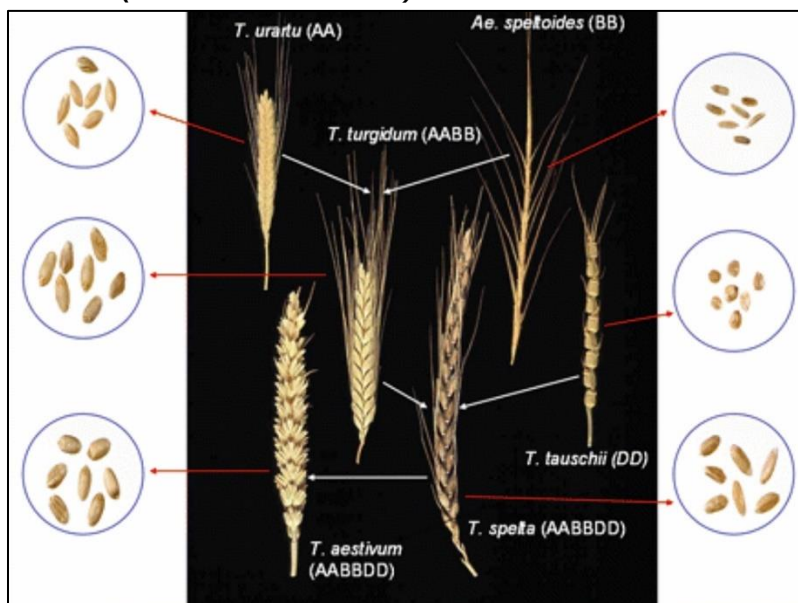


Diploid és tetraploid szőlő

Amfidiploid species	2n	P ₁	2n	P ₂	2n
<i>Oryza minuta</i>	48	<i>O. officinalis</i>	24	<i>O. sativa</i>	24
<i>Phleum pratense</i> var. <i>hexaploidum</i>	42	<i>Ph. pratense</i>	14	<i>Ph. alpinum</i>	28
<i>Brassica napus</i>	38	<i>B. campestris</i>	20	<i>B. oleracea</i>	18
<i>Brassica juncea</i>	36	<i>B. campestris</i>	20	<i>B. nigra</i>	16
<i>Brassica carinata</i>	34	<i>B. oleracea</i>	18	<i>B. nigra</i>	16
<i>Rubus maximus</i>	42	<i>R. idaeus vulg.</i>	14	<i>R. caesius</i>	28
<i>Prunus domestica</i>	48	<i>P. divaricata</i>	16	<i>P. spinosa</i>	32
<i>Nicotiana tabacum</i>	48	<i>N. silvestris</i>	24	<i>N. tomentosiformis</i>	24
<i>Nicotiana rustica</i>	48	<i>N. paniculata</i>	24	<i>N. undulata</i>	24

3. táblázat Amfidiploid fajok és diploid eredetű források (saját szerkesztés)

A búza (*Triticum aestivum*) feltételezett származása



1. ábra A mai közönséges (malmi, vagy kenyér) búza (*Triticum aestivum* L.) származása [1]
A tudomány álláspontja szerint a mai közönséges (malmi, vagy kenyér) búza (*Triticum aestivum* L.), amelynek 42 kromoszómája van, **több vad búzafaj spontán kereszteződése révén alakult ki több tízezer évvel ezelőtt**. Többféle származási elméletet közöltek eddig a kutatók, eltérés köztük főleg a figyelembe vett vad fajokban van. Ezek azonban mind, a jelenlegi 42 kromoszómás kenyér búzában megtalálható 3 genom (AA, BB, DD) valamelyikét adják. A két 14 kromoszómás vad faj a *Triticum urartu* (amelynek természetett változata a *T. monococcum* vagy alakor, AA genom) és az *Aegilops speltoides* (BB genom) kereszteződött egymással, létrehozta a 28

kromoszómás *T. turgidum* fajt (ennek legismertebb mai termesztett változata a durum búza AABB genom). Később ez az ősi *T. turgidum* kereszteződött a *T. tauschii* (DD genom) fajjal, létrehozva a 42 kromoszómás *T. spelta* fajt, amelyből kialakult a mai csupaszszemű közönséges búza a *T. aestivum* (AABBDD genom). A kutatók e vad fajokkal az említett keresztezéseket elvégezve képesek voltak úgynevezett „szintetikus” búzát létrehozni, amely ugyanolyan, mint a 42 kromoszómás közönséges búza (1. ábra). [A búza számos vad őse, és sok-sok régi búzafaj és -fajta ma is fontosak, mivel génforrásai sok jelentős tulajdonságnak](#) pl.: a só-, a szárazság-, a hőtűrés, a rovar- és a betegség-ellenállóság, a beltartalmi, a tápérték növelő jellegek.

Példa-A tritikále előállítás

Oktoploid

kenyérbúza (AABBDD) x rozs (RR) *Secale cereale*
Triticum aestivum F₁ (ABDR) steril
 ↓ kolchicin
 AABBDDRR (2n=8x=56)

Nagy genom → termékenyülési problémák

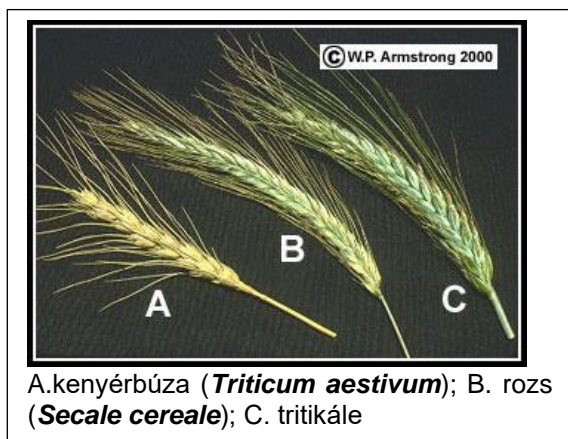
Hexaploid

tetraploid búza (AABB) x rozs (RR)
 ABR → AABBRR (2n=6x=42)

A rozs-kromoszómák aránya a genomon belül magas → meiotikus instabilitás, rendellenes endospermium sejtosztódás (ok: a rozskromoszómák késői replikációja) → megoldás:

oktoploid x hexaploid tritikále

F₁ → back-cross hexaploid tritikáléval vagy búzával **szekunder hexaploid tritikále** → a rozskromoszómák egy része lecserélődik búzakromoszómákkal.



A rozs és a búza keresztezésének célja a rozs hidegtűrő képességének átvitele a búzára. A sikeres keresztezésekben a búza volt az anyai partner. A búzához hasonló búza-rozs hibridek közül sok csak egy vagy néhány rozs kromoszómát tartalmazott. A közelmúltban a rozs kromoszómájának bizonyos szegmenseit sikerült a búza kromoszómájához transzlokálni. A tritikale, *X Triticosecale* (Witt.), mindkét szülő minden kromoszómáját tartalmazza. Nevét a szülők latin nevének, a *Triticum* és a *Secale* szavaknak az összevonásából kapta. A tetraploid durum búzával történő keresztezések sikeresebbek voltak, mint a hexaploid közönséges búzával történő keresztezések. A tritikale szemek nagyok; lizin, valamint kéntartalmú aminosav tartalmuk nagyobb, így tápértékük is jobb, mint a búzáé. A legtöbb tritikale vonal magja zsugorodott, ami nagy protein tartalmukra utal. A növénytermesztők célja olyan tritikalék nemesítése, melyek kitélt szeműek, száruk rövid és vastag, és jobban ellenállnak a betegségeknek. A tritikale nemesítésben úttörő munkát végzett Kiss Árpád az 1960-as években. A tritikalét elsősorban takarmányozásra használjuk, de az elmúlt években megjelent új fajták alkalmasak arra, hogy lisztjükéből búzaliszt hozzáadása nélkül is jó kenyeret lehet sütni.

Aneuploida

Az aneuploid sejtek, szövetek, szervezetek kromoszómaszáma az alap kromoszómaszerelvény nem egész számú többszöröse, **kromoszómaszámuk eggyel vagy kettővel eltér a normál n tartalmú gaméták, vagy $2n$ tartalmú szomatikus sejtek kromoszómaszámától**. Kialakulásuk rendellenes osztódáskor, mutagén-kezelések után, poliploid-nemesítés során.

tetraszóm: $2n + 2$; triszóm: $2n + 1$; diszóm: $2n$; monoszóm: $2n - 1$;
nulliszóm: $2n - 2$

Haploidok

A haploidok olyan **sejtek, szövetek, növényi vagy állati szervezetek, melyek kromoszómaszáma megegyezik az ivarsejtek kromoszómaszámával (n)**.

A haploidokban **a homológ kromoszómapároknak** (és az egyes lokuszok allélpárjainak) **csak egyik tagja van jelen**, a haploid növények ivarsejteket nem tudnak létrehozni, **sterilek**.

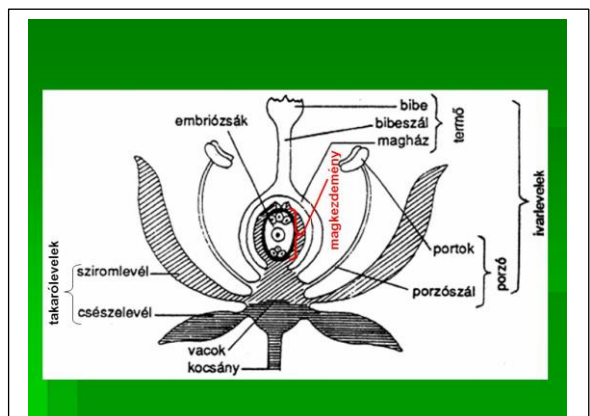
A haploidok jelentősége a fajta-előállításban

A haploid-előállítás menete:

1. Egy hasadó nemesítési anyag kiválasztott vonalaiban **haploidok** előállítása, a heterozigóta allélpárokból vagy **csak a domináns vagy csak a recesszív allél** lesz jelen adott **lokuszon**.
2. A **kromoszómaszám** spontán vagy kolchicin-kezelésre történő **megduplázódása**, homozigóta **megkettőzött haploid (doubled haploid, DH) vonalak**
3. **Szelekció** hagyományos nemesítési módszerekkel.

Az egy nemzedék alatt homozigótává tett nemesítési anyagban a hasadás, tulajdonképpen megszűnik, leegyszerűsödik a szelekció, a nemesítés folyamata kb. 3-4 évvel lerövidül.

A poliploidok mesterséges előállításának új korszakát a kolchicin nyitotta meg. A kolchicin az őszi kikerics (*Colchicum autumnale*) gumójából és magjából előállított alkaloida, kémiai képlete: $C_{12}H_{26}O_6N$. Igen erős mérgező. Osztódáskor a **meiózisban** a magorsó-fonalak működését gátolja. Ezáltal a homológ kromoszómák nem válnak ketté, és vándorlásuk a sejt pólusaira, illetve a sejtfalképződés nem következik be. Vagyis **a kromoszómák megkettőződését nem követi a sejt osztódása**. Ez az endomitózis jelensége. Eredményeképpen a sejtben a kromoszómaszám megduplázódik. Kolchicin felhasználásával sok kultúrnövényből sikerült poliploid formákat előállítani



Hímző virág részei [3]
magház (ovárium), magkezdemény (ovulum)

Megközelítés	Fejlődő pollen		Termékenyítetlen virágkezedmény		Távoli keresztezés		Fajkeresztés besugárzott pollennel	
	Portok kultúra	Mikrospóra kultúra	Ovárium kultúra	Ovulum kultúra	Embrió kultúra	Ovárium kultúra	Ovárium kultúra	Ovulum kultúra
Haploidia folyamata	andro-genezis	andro-genezis	gino-genezis	gino-genezis	poszt-zigotikus kromoszóma elimináció	parthengo-genezis	parthengo-genezis	parthengo-genezis
Eredménye	Haploid/DH növény	Haploid/DH növény	Haploid/DH növény	Haploid/DH növény	Haploid/DH növény	Haploid/DH növény	Haploid/DH növény	Haploid/DH növény
Alkalmazása növény-fajokon	dohány búza kukorica rizs árpa paprika nyár stb.	árpa <i>Triticale</i> búza repce burgonya kukorica dohány <i>Datura</i> rizs	gerbera cukorrépa hagyma árpa búza dohány rizs kukorica uborka napraforgó		árpa búza <i>T.durum</i>	burgonya	petúnia <i>Nicotiana</i> <i>Solanum</i> <i>Populus</i> Beta	

4. táblázat Haploid indukció lehetőségei különböző biotechnológiai módszerekkel (Duduts-Heszky, 1990)

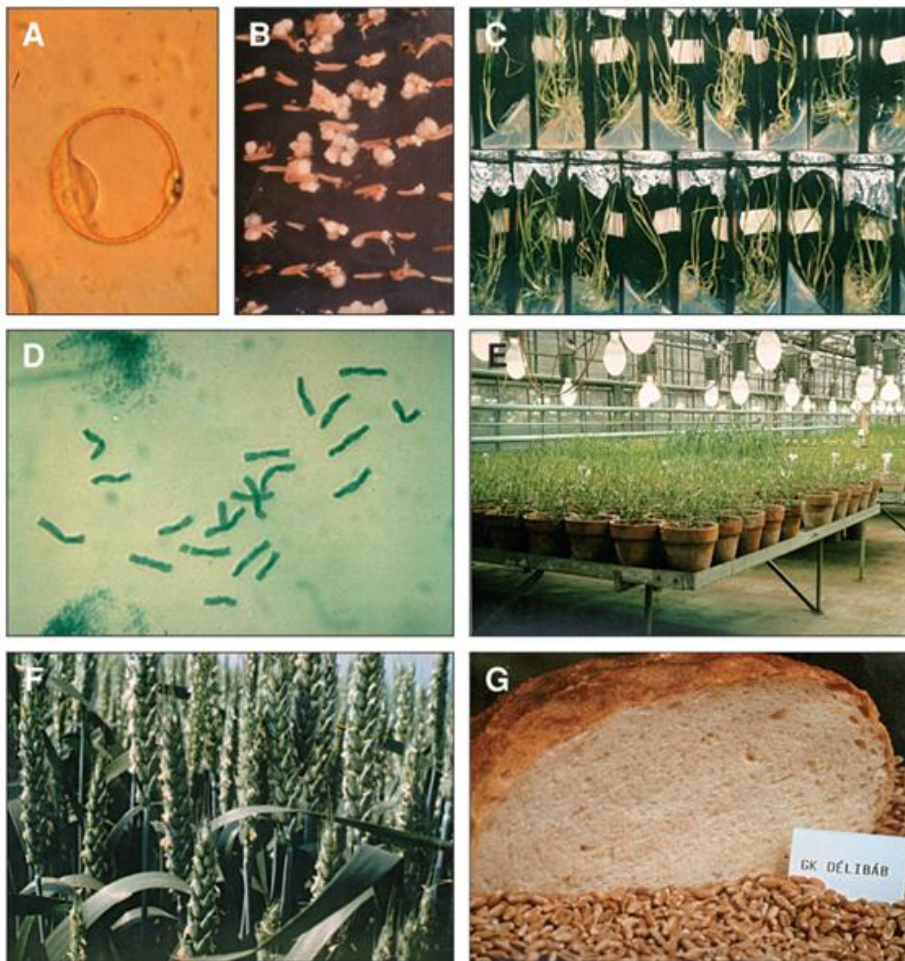
A haploid-előállítás módszerei

Androgenezisen alapuló módszerek

Androgenezis során az **éretlen pollen** (1 vagy 2 sejtmagvas mikrospóra) fejlődése nem a hímivarsejtek kialakulása, pollentömlő hajtása felé halad tovább, hanem embriogenezis útján **haploid embriók, majd növények kialakulásához vezet**. A jelenség **alapja** a mikrosporogenezis meghatározott szakaszában (általában az egy sejtmagvas, vakuólumos állapotban), **a mikrospórák továbbfejlődése még nem determinált**, meghatározott stresszek (hő, hormon, só, éheztetés stb.) hatására a gametofitáról **a sporofita fejlődésre átállítható**.

Portoktenyésztés a virágokból, steril körülmények között, **éretlen pollent tartalmazó portokok izolálása, tovább nevelése táptalajon, in vitro körülmények között**, az androgenezissel létrejött haploid embriókból növények nevelése regeneráló táptalajon. **Kolchicin kezelés- in vitro-táptalajban**, vagy hajtás- virágrügyek kezelése.

Széles körben alkalmazzák DH fajták, vonalak előállítására búzában, tritikáléban, árpában, rizsben, zöldségfajoknál (paprika, padlizsán). Hazánk búzanemesítői a világsők között a **DH-fajták** előállításában, **'GK Délibáb'** (1992, Gabonatermesztési Kutató Kht., Szeged): **Európában a 2., a világon a 4. minősített búzafajta**, melyet portoktenyésztés alkalmazásával állítottak elő. (2. ábra)



2. ábra *In vitro* haploid módszer alkalmazása a búzanemesítésben. A: egysejtmagvas vakuólumos mikrospóra, B: embrioidok és kalluszok a portokok felületén az indukció 5. hetében. C: járulékos embriógenézissel regenerált növénykék üvegházi kiültetés és citológiai ellenőrzés előtt. D: haploid kromoszómaszámú sejt ($n=3x=21$). E: kolchicin kezelt és spontán rediploidizálódott növények üvegházi nevelése és felszaporítása. F: a haploid módszer felhasználásával előállított első magyar DH búzafajta, a 'GK Délibáb' kalászállománya virágzáskor. G: a kiváló sütési minőségű 'GK Délibáb' szemtermése és a lisztjéből sült kenyér (Pauk J. és mtsai kísérlete, GK Kht, Szeged) [2]

Mikrospóra tenyésztés. A mikrospórák tenyésztése a portokokból izolálva, folyékony tápoldatban történik, haploid embriók regenerációja a portoktenyésztéshez hasonlóan. A módszer előnye, hogy izolált egysejtes rendszer, **az embriók (és a növények) egyetlen haploid sejtből származnak.** Portokban a pollenek száma 10000-40000, regeneráció gyakorisága 0,065-5%. Hátránya, az albinók aránya magas lehet (*Triticum* fajok). DH fajták előállítására elsősorban a repcenemesítésben használják.

In vitro ginogenezis, petesejt eredetű haploid termékenyítetlen ováriumok vagy ovulumok tenyészetéből. Egy ovulumból több növény is felnevelhető. Hatékonyságuk 1-10 % (búza, hagyma) az izolált ovulumokra vonatkoztatva. Hátránya, hogy a diploid és poliploid regeneránsok haploid eredetét nehéz bizonyítani.

In vitro parthenogenezis, a női gametofiton (embriózsák) valamelyik haploid sejtjéből kiinduló embriófejlődést jelenti. A folyamat lényege, hogy **a haploid sejt** valamilyen külső hatásra osztódni kezd és haploid **embrió hoz létre**. Csökkent életképességű pollennel megporzott ováriumokból vagy ovulumból vagy kezeléssel, így besugárással (1000 Gy) vagy kémiai úton (toluidin kék- nyár, cukorrépa) indukálható a folyamat.



(Monostori-Csiba, 2018)

Ajánlott olvasmányok

Matúz János: A különleges búza, Agr Fórum Online, 2018. <https://agroforum.hu/lapszam-cikk/a-kulonleges-buza/>

Források

Monostori T.- Csiba A. (2018): Mezőgazdasági biotechnológia. http://eta.bibl.u-szeged.hu/656/1/EFOP_34316201600014_jegyzet_Monostori_Mg_Biotech_20190405.pdf

Monostori Tamás (2004): Növénytermesztés I. A növénynevelés és vetőmagtermelés alapjai. SZTE Mezőgazdasági Kar, Hódmezővásárhely. Jegyzet, 133 p.

[1] <https://agroforum.hu/lapszam-cikk/a-kulonleges-buza/>

[2] Dudits Dénes-Heszky László: Növényi biotechnológia és géntechnológia https://regi.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/2011_0001_533_NovenyiBiotechnologia/ch02.html

[3] <https://slideplayer.hu/slide/2163078/>

Ellenőrző kérdések

1. A poliploidia milyen fenotípusos változásokkal jár a növényeknél?
2. Csoportosítsa a poliploidokat, ismertesse az autopoloidok jelentőségét!
3. Ismertesse az allopolidia fogalmát!
4. Ismertesse a haploid előállítás androgenézisen alapuló módszereit!
5. Foglalja össze a DH vonalak jelentőségét a növénynevelésben!