

Pichererné Dr. Gémes Katalin, Prof. Dr. Fehér  
Attila

## A zárwatermő növények szaporodása

Segédlet a BSc záróvizsgára való felkészüléshez

Jelen tananyag a Szegedi Tudományegyetemen  
készült az Európai Unió támogatásával.

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



# A zárvatermő növények szaporodása

## Segédlet a BSc záróvizsgára való felkészüléshez

Készítette: Pichererné Dr Gémes Katalin  
Prof. Dr. Fehér Attila  
SZTE, 2020

Záróvizsga tétel címe: **A zárvatermő növények szaporodása.** (A vegetatív-reproduktív átmenet. A virág felépítése, az ABC modell. A virágzás indukciójának fény- és hőmérséklet szabályozása – fotoperiodizmus, vernalizáció. A női és hím gametofiton. A kettős megtermékenyítés folyamata. A mag és a termés típusai, szerveződésük, funkcióik.)

A felkészüléshez ajánlott „**A Növények Élete**” jegyzet 4. Rész a zárvatermő növények egyedfejlődésének szakaszaival foglalkozó fejezeteinek tanulmányozása is. Elérhetőség: <http://eta.bibl.u-szeged.hu/2309/>.

A magas növények élete során **két életszakasz (ivaros és ivartalan)** különíthető el egymástól. Az **ivartalan (sporofitikus)** életszakaszban a növény *diploid* ( $2n$ ) sejtekből áll, mely sejtek *meiótikus (számfelező) osztódásával* alakulnak ki a *haploid* ( $n$ ) spórák melyekből azután *mitózissal (szám tartó osztódással)* alakul ki a *hím (pollen)* és a *női (embriózsák) gametofiton (ivaros azaz gametofitikus életszakasz)*, amelyben az *ivarsejtek (gaméták)* differenciálódnak. Az ivarsejtek egyesülésével jön létre a *diploid* ( $2n$ ) *zigóta*, amiből *új sporofiton* fejlődik. Zárvatermőkben a gametofiton egy módosult hajtás, a virág, speciális szerveiben, az ivarlevelekben (porzó, termő) fejlődik.

# A vegetatív-reproduktív egyedfejlődési átmenet – a virág kialakulása

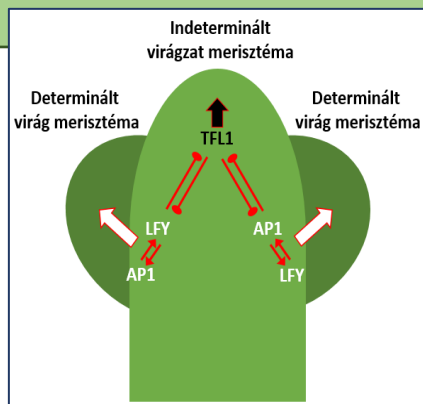
A virágzás folyamatának elindulása jelzi, hogy a magvas növények vegetatív egyedfejlődési szakaszát felváltja a reproduktív szakasz. A vegetatív-reproduktív átmenet során a csúcs és/vagy axilláris vegetatív hajtásmerisztéma átprogramozása megy végbe, melynek eredményeként virágzati, illetve virág merisztémává alakul. A kialakuló virágmerisztéma létrehozza a virágokat, amelyek specializált hajtások, specializált szervekkel.

## Hajtásmerisztéma típusok

**Vegetatív:** folytonosan növekvő (indeterminált), minden nóduson vegetatív szerv (levél).

**Virágzati:** folytonosan növekvő (indeterminált), a nóduszokon vegetatív szerv (virágzati levél), vagy virág merisztéma fejlődik.

**Virág:** korlátozott növekedésű (determinált), négy nódusz, mindegyiken más virág szerv fejlődik: csésze (védelem/megporzás); szirm (védelem/megporzás); porzó (hím ivarlevél, megtermékenyítés); termő (női ivarlevél, megtermékenyítés, mag/termés fejlődés)



## A virág(zat)merisztéma identitása

**Virágmerisztéma azonossági transzkripciós faktorok: LEAFY (LFY) és APETALA1 (AP1)**  
(hiányukban a virág szervei helyett levélszerű szervek fejlődnek - „álvirágok”)

A **virágzati** merisztéma indeterminált növekedéséért a **TERMINAL FLOWER1 (TFL1)** fehérje felelős (hiányában terminális virág fejlődik)

A **virágzat** struktúráját (típusát) a **TERMINAL FLOWER1 (TFL1)** és a **LEAFY (LFY) és APETALA1 (AP1) gének antagonizmusa szabja meg (kölcönösen gátolják egymás kifejeződését térben és időben).**

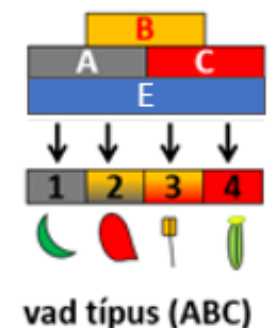
## A virág szervek identitása (az „ABC” modell)

A négyféle virág szerv (csésze, szirm, porzó, termő) kialakításáért **három transzkripciós faktor csoport („A”, „B” és „C” funkció)** felel. Ez úgy lehetséges, hogy **az egyes virágörvekben különböző kombinációik vannak jelen:** csésze („A”); szirm („A” és „B”); porzó („B” és „C”), termő („C”). „A” és „C” egymás kifejeződését gátolja, ami megmagyarázza az egyes funkció mutánsok fenotípusát.

**Az ABC modell általános érvényű,** a különböző virágtípusok az ABC gének számával, térbeli kifejeződési mintázatával magyarázhatóak.

## A kiterjesztett ABC modell – a kvartett modell:

A „kvartett modell” szerint minden virágörvben egy négy tagú (kvartett) transzkripciós faktor komplex vesz részt a szervazonosság kialakításában, az „A”, „B” és „C” faktorok mellett minden komplexben jelen vannak az „E” funkció faktorai, ezekre minden örvben szükség van – hiányuk „álvirágokat” eredményez. Az „E” faktorok kapcsolják egymáshoz az egy-egy örvre jellemző „A”, „B”, „C” faktorokat.



# A vegetatív-reproduktív egyedfejlődési átmenet – a virágzás ideje

A virágzás pontos időzítése nagy jelentőségű a növény sikeres szaporodása szempontjából. A virágzás idejét belső (endogén) tényezők (pl. biológiai kor) és külső, környezeti tényezők (pl. fény, hőmérséklet) határozzák meg. A virágzást befolyásoló tényezők végsősoron a virágmerisztéma identitási gének (LFY, AP1) kifejeződését indítják el a hajtásmerisztémában.

## A „nappalhossz” és a virágzás

A növények egy részének virágzását az éjszaka hossza befolyásolja  
**„Rövid/hosszú nappalos” növény: virágzik, ha az éjszaka hossza egy kritikus értéknél hosszabb/rövidebb**

**„Hosszúnappalos” növény (Arabidopsis): a CONSTANS (CO) transzkripció faktor kifejeződése cirkadián ritmust mutat a levélben, alkonyati maximummal.**  
Rövid nappalok mellett a kifejeződés csúcsa sötétre esik és a CO fehérje lebomlik. Hosszúnappal mellett a CO fehérje termelődése már fényben megkezdődik, a fény **fotoreceptorokat** aktiválva megakadályozza CO lebontását. CO a levélben elindítja az **FT fehérje** termelődését. FT a hajtás csúcsba transzportálódik, ahol közvetve elindítja AP1 és LFY termelődését.

**FT= „florigén”, azaz virágzási „hormon”** (nem klasszikus hormon, hanem egy mobilis szabályozó fehérje)

**„Rövidnappalos” növény (rizs):** a fény nem a CO-szerű fehérje lebontását csak konformációját szabályozza. Esti fényben a CO virágzási represszorként, sötétben virágzás aktivátorként működik, szintén egy FT-szerű fehérje génjét aktiválva.

**A biológiai kor:** hasonlóan a vernalizációhoz nem váltja ki a virágzást, csak képessé teszi a növényt arra. A biológiai kort transzkripció faktoroknak a korról (pl. levélszámmal) változó expressziója „méri”.

**Gibberellin:** a virágzást szabályozó hormon. Befolyásolja a virágzási gének kifejeződését. A vernalizációs igényt bizonyos növények esetében meg lehet kerülni gibberellin kezeléssel, FLC kikapcsolása nélkül.

## A vernalizáció

A növények egy részének virágzásához hosszabb ideig tartó alacsony (fagyközeli) hőmérséklet szükséges. **A vernalizáció nem indítja el a virágzást, csak képessé (kompetenssé) teszi a növényt a virágzásra.**

A vernalizációs szabályozás lényege egy virágzási represszor (**FLOWERING LOCUS C, FLC**) végleges **kikapcsolása** a hideg által. Ez a „kikapcsolás” a kromatin átszervezését jelenti a represszor gén (FLC) lókuszánál. Ez ún. **epigenetikus szabályozás**, ami a hiszton fehérjék módosulásán alapul, megakadályozva transzkripció faktorok bekötődését az FLC promóteréhez.  
Ha a hideg periódus után a növényt megre helyezzük, az FLC expresszió akkor sem tér vissza. A virágzási kompetencia tartósan megmarad a növény egész további életében.

**A virágzás integrátor faktorok:**  
LFY és AP1 regulátorai  
Hiányuk késlelteti, túltermelésük elindítja a vegetatív-reproduktív átmenetet (a virágzást):  
**FLOWERING LOCUS T és D (FT, FD)**  
**SUPPRESSOR OF CONSTANS (SOC1)**

**A hideg igény (vernalizáció) és az éjszaka hosszának (hosszabbodó nappalok) érzékelése együttesen lehetővé teszi a növény számára a virágzás tavaszra való időzítését.**

# A női gametofiton kialakulása

- A **női gametofiton** fejlődése a női ivarlevélen, **termőben (gynoeceum)** történik, melynek részei: *bibe, bibeszál, magház*
- a termőlevél belső felszínén helyezkednek el a **maglécek (placenták)**, ezeken differenciálódnak a **magkezdemények (ovulum)**, benne fejlődik a **női gametofiton: az embriózsák**

## → A magkezdemény részei:

- **test (nucellusz)**, benne az **embriózsák**, körülötte **peteburok (integumentum)**
- **peteszáj (mikropile)**: az integumentum által szabadon hagyott nyílás
- **köldökfolt (chalaza)**: az a rész, ahol az integumentumok és a nucellusz már nem különül el
- **köldökzsinor (funikulusz)**: a magléchez kapcsolja a magkezdeményt

## MEGASPOROGENEZIS:

1. A *nucellusz* egy csúcsi sejtjéből archespora sejt differenciálódik
2. Az archespora *mitotikus osztódásával* kialakul egy fedősejt és egy megaspóra anyasejt
3. A megaspóra *meiózissal* 4 utódsejtet hoz létre (tetrád)
4. A 4 megaspóra közül 3 programozott sejthalállal elpusztul, az egy megmaradó a **funkcionális megaspóra**

## MEGAGAMETOGENEZIS

1. A **funkcionális megaspóra** ( $n$ ) *mitózissal* létrehoz **8 sejtmagot**
2. A sejtmagok a pólusok felé vándorolnak, majd mindkét póluson 3-3 sejtmag citoplazmával és fallal körülvéve magát sejtté különül el:
  - A mikropile felé elhelyezkedők: **a petekészülék sejtjei** (1 petesejt+2 segítő sejt(szinergida))
  - A chalaza felé elhelyezkedők: **az ellenlábás sejtek**
  - **A két központi mag** összeolvadva az embriózsáksejt **diploid központi magjává** alakul.

# A hím gametofiton kialakulása

- A **hím gametofiton** fejlődése a hím ivarlevélen, a **porzón (androecium)** történik, melynek részei: *portok, porzósál*
- A porzósál (filamentum) feladata:
  - tápanyag, és vízellátottság biztosítása a portok számára
  - sikeres megtermékenyítés biztosítása a portok pozícionálásával
- A portok (antéra) 4 kamrából áll → ezek a **pollenzsákok** (mikrosporangiumok), bennük fejlődik a **hím gametofiton: a pollen**

## **MIKROSPOROGENEZIS:**

1. Az antérakezdemény epidermisz alatti sejtrétegében létrejönnek az archespóra sejtek
2. Az archespóra sejt *asszimmetrikusan* osztódik → létrejön az elsődleges fali sejt+ az elsődleges sporogén sejt
3. Az elsődleges fali sejt mitózissal létrehozza a **pollenzsák szomatikus sejtrétegeit** (endotécium, köztes réteg, tapétum)
4. A sporogén sejt mitózissal létrehozza a **mikrospóra anyasejteket**
5. A mikrospóra anyasejtek *meiózissal* létrehozzák a 4 *haploid mikrospórát* (tetrád)
6. A mikrospórák elválnak egymástól és a vegetatív sejtektől, megnagyobbodnak, és kallóz tartalmú faluk képződik.

## **MIKROGAMETOGENEZIS:**

1. A **mikrospórák** sejtmagja perifériálisan rendeződik → kialakul egy poláris sejt
2. A poláris sejt *mitózissal asszimmetrikusan* osztódva létrehozza a **két magvú pollent** (nagy vegetatív sejt, beleágyazódva egy csírarsejt)
3. A vegetatív sejt kilép a sejtciklusból
4. Csírarsejt mitózissal létrehozza a 2 hímivarsejtet
5. **Három magvú pollen** (= hím gametofiton) a nagy vegetatív sejtbe beágyazódott két kisebb hímivarsejt.
6. A pollen speciális, rendkívül ellenálló fallal rendelkezik, melynek köszönhetően sokáig megőrzi életképességét.



# Megporzás (pollináció)

## Folyamata:

- A **pollenszem** megtapad a **bibe** felszínén
- A pollen vizet vesz fel (**hidratálódik**)
- A pollenfal valamelyik csírákapunál (sztómium) felszakad
- A **vegetatív sejt** egy tömlőt hajt (**pollentömlő**), amely benne a 2 hímivarsejttel a bibe falában halad, majd behatol a bibeszál belső szöveteibe és eljut egészen az **embriózsákba** (az egyik szinergida sejtbe)
- A **pollencső vége szétrobban** (okai: emelkedő ozmotikus nyomás+a pollencső falának gyengülése) → kiszabadul a 2 hímivarsejt

## A pollináció típusai:

- 1. Idegenmegporzás (xenogámia):** ekkor a megporzás egy faj két egyedének virágai között zajlik le; genetikailag a legideálisabb
- 2. Önmegporzás (autogámia):** ekkor a megporzás egy faj ugyanazon egyedének virágai között zajlik le

## ***Az önmegporzás gátlásának típusai:***

- A. Proterandria: a bibe csak azután köti és hidratálja a virágport, amikor a saját portokok már kiürültek (időbeni gátlás)
- B. Heterostilia: az ivarlevelek elhelyezkedése fizikailag ellehetetleníti a saját virágpor bibére jutását (morfológiai elkülönülés)
- G. Molekuláris: a saját pollen molekuláris determinánsait felismeri a bibe és megakadályozza a pollencső kihajtását, növekedését.

# Kettős megtermékenyítés

A felhasadt pollentömlőből kiszabadult **2 hímivarsejt** egyike a **petesejttel**, a másik a **központi sejttel** olvad össze:

- petesejt + hímivarsejt → zigóta → új egyed
- központi sejt + hímivarsejt → triploid sejt → endospermium

# Milyen folyamatok eredményeképpen alakulhat ki a mag?

1. szexuális-ivaros: **KETTŐS MEGTERMÉKENYÍTÉS**
2. aszexuális-ivartalan: **APOMIXIS**: ebben a folyamatban a zigóta majd abból az embrió keletkezése a magkezdemény diploid kromoszómaszámmal rendelkező sejtjeiből (nucellusz sejt, diploid petesejt) indul el, a petesejt megtermékenyítése nélkül.

## Milyen szakaszai vannak a mag fejlődésének?

embriógenézis, magfeltöltődés, késői érés, maghullás

## Mely hormonok szabályozzák a mag érését?

**abszcinzinsav (ABS), gibberelinsav (GA3)**

- magas ABS/GA3 arány : érés elősegítése, magnyugalom indukálása, csírázás gátlása
- alacsony ABS/GA3 arány: magnyugalom megtörése, csírázás indukálása

## Milyen csoportjai vannak a magvaknak szárazságtűrés alapján?

### 1. ORTODOX MAGVAK:

→ a mag érése során a mag szárazságtűrővé válik, pl. paradicsom

### 2. REKALCITRÁNS

Nem alakul ki a szárazságtűrés mechanizmusa, pl. mangó

## Milyen részei vannak a magnak?

**maghégj+embrió+endospermium**

## Hogyan és miből alakul ki a maghégj?

- A magkezdemény burkából (*integumentum*) alakul ki
- Kialakulását a kettős megtermékenyítés iniciálja, majd az embrió és az endospermium fejlődése koordinálja.

## Hogyan alakul ki az endospermium?

### 3 fejlődési típus:

- *celluláris*: szabályos osztódások
- *helobiális*: 2 sejt keletkezik, a kisebb nem osztódik tovább, a nagyobb a nukleáris utat követi
- ***nukleáris***: ez a legelterjedtebb, 2 fázisa:
  1. ***cönocitikus fázis***: csak magosztódások, nincs citokinezis
  2. ***celluláris fázis***: sejtek elhatárolódása, sejtosztódások

## Milyen csoportjai különíthetők el a magvaknak az endospermium megléte alapján?

1. ***endospermikus magvak***: az endospermium megmarad a mag kifejtett koráig, pl. kukorica
2. ***nem endospermikus magvak***: az endospermium mérete minimálisra csökken, vagy teljesen eltűnik az érett magban, pl. lúdfű



# A termés: a zárwatermők jellegzetes szerve, melynek a funkciója a mag védelme és elterjedésének elősegítése

## Mi vesz részt a termés kialakításában?

Mivel a termés a termőből fejlődik, fontosabb részei visszavezethetők a virágfejlődés során kialakuló termő részeire

- A. *Valódi termés*: csak a termő vesz részt a kialakításában
- B. *Áltermés*: más virágrész is részt vesz a kialakításában (vacok, kocvány)

## Milyen a termésfal felépítése?

- A. *Húsos termékek*: a termésfal sok vizet tartalmaz
- B. *Száraz termékek*: a termésfal nem, vagy kevés vizet tartalmaz

## Száraz termékek típusai

### Hogyan történik a mag elterjesztése?

#### A. Felnyíló termékek

- *tüsző*
- *hüvely*
- *tok*

#### B. Zárt termékek

- *becő*
- *becőke*
- *lependék*
- *ikerlependék*
- *kaszat*
- *ikerkaszat*
- *makk*
- *makkocska*
- *aszmag*
- *szem*

Az érés célja, hogy a termés a magokat védje és azok fizikai (mechanikai erő, szél, víz, állatok) elterjesztését biztosítsa.

## A termékek kialakulásának szakaszai:

1. *szakasz*: intenzív sejtosztódások, a termő fala növekszik, meghatározó hormonok: auxin, GA3
2. *szakasz*: *sejtmegnyúlás*, a termés nő, meghatározó hormonok: auxin, GA3, brasszinoszteroid
3. *szakasz*: **érési szakasz**, meghatározó hormonok: abszcizinsav, etilén

## Húsos termékek típusai

### Az érés kezdetén van e klimakterikus légzés?

#### Klimakterikus termés

- Érés kezdetén légzés intenzitása nő, amit megelőz egy etilén szintézis csúcs
- 2 etiléntermelő rendszer működik:
  1. Éretlen gyümölcsökben az etilén gátolja a saját szintézisét (- feed back)
  2. Érett gyümölcsökben az etilén serkenti a saját szintézisét (+ feed back)
- Utóérésre képesek
- Pl. banán

Az érés célja, hogy a termést állatok elfogyasszák és a magokat elterjesszék: a termés színe megváltozik, fala meglágyul, cukrokat, íz és illatanyagokat halmoz fel, állatokra káros anyagokat (pl. tanninok) lebont.

#### Nem klimakterikus termés

- Érés kezdetén sem a légzés intenzitásában, sem az etilén szintézisben nincs csúcs
- Az érés öregedési folyamat, elsősorban az abszcizinsav szabályozza
- Utóérésre nem képesek
- Pl. szőlő