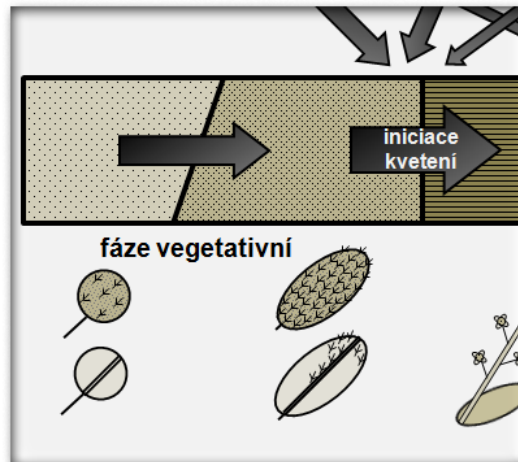


# Bi8240 GENETIKA ROSTLIN

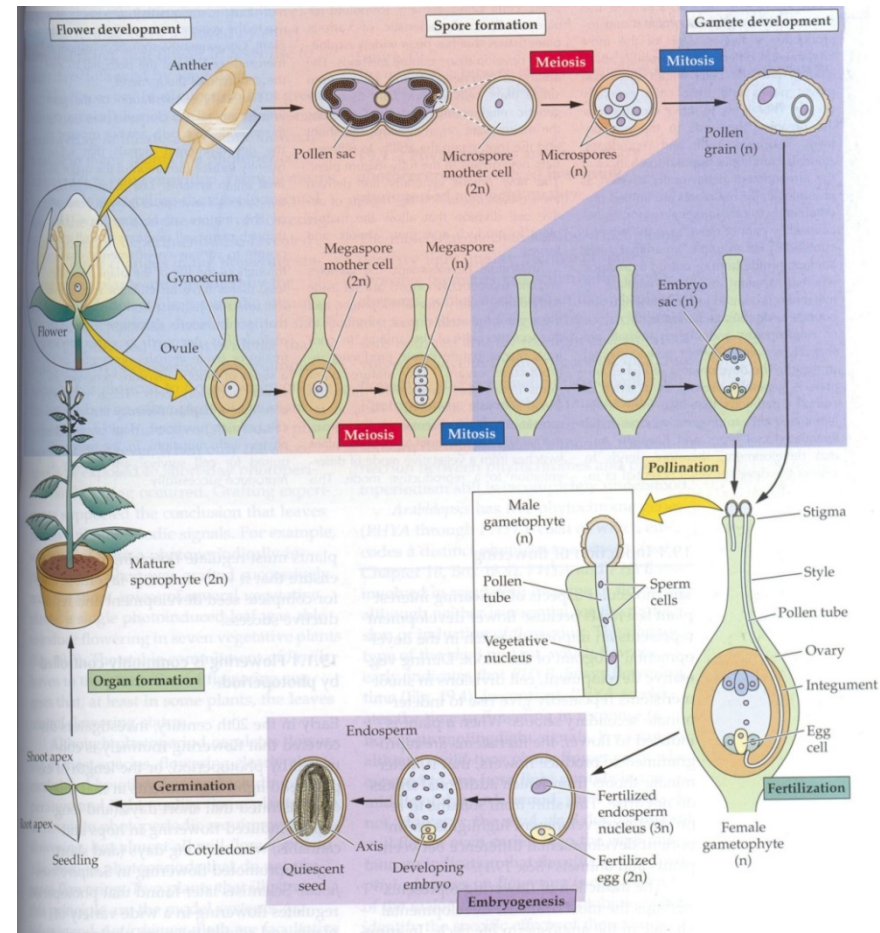
## Prezentace 02 Reprodukční vývoj – Indukce kvetení



doc. RNDr. Jana Řepková, CSc.  
[repkova@sci.muni.cz](mailto:repkova@sci.muni.cz)

## Reprodukční vývoj rostlin

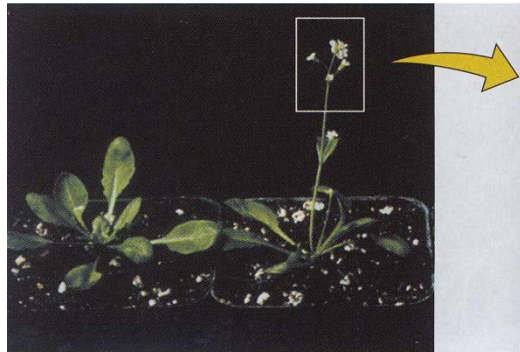
1. Indukce kvetení a tvorba květů
2. Tvorba reprodukčních orgánů a gamet
3. Opylení, oplození a embryogeneze
4. Klíčení zárodku a vegetativní vývoj
5. Generativní vývoj



# Indukce kvetení

## Přenos signálu zprostředkovaného světlem

*Arabidopsis thaliana*

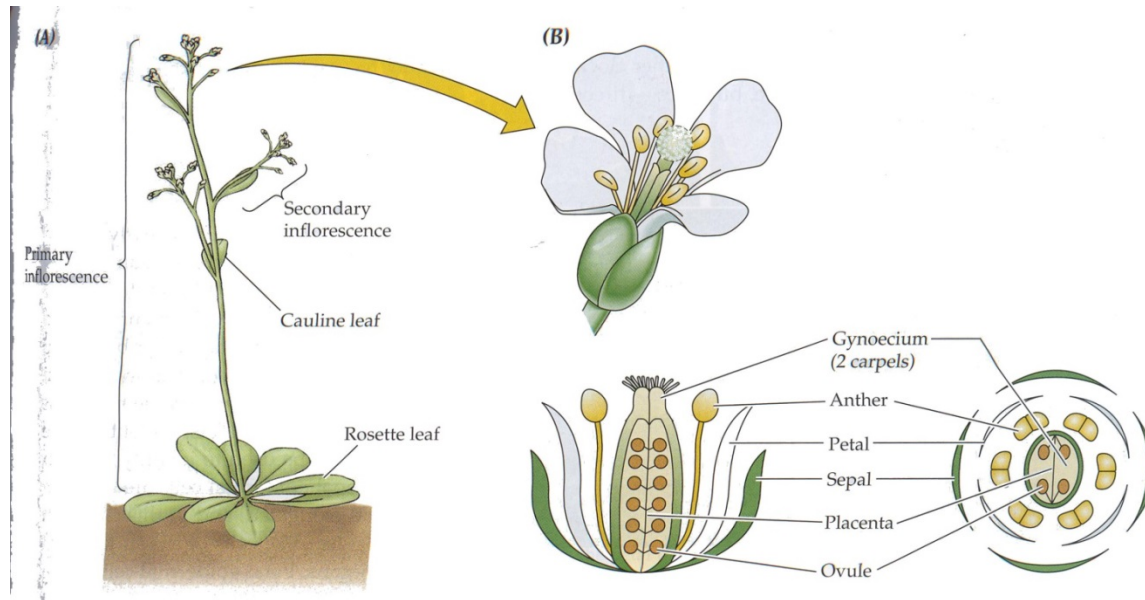


### ➤ Dlouhý den

- 16 hod. fotoperioda
- 9 listů/23 dní do kvetení

### ➤ Krátký den

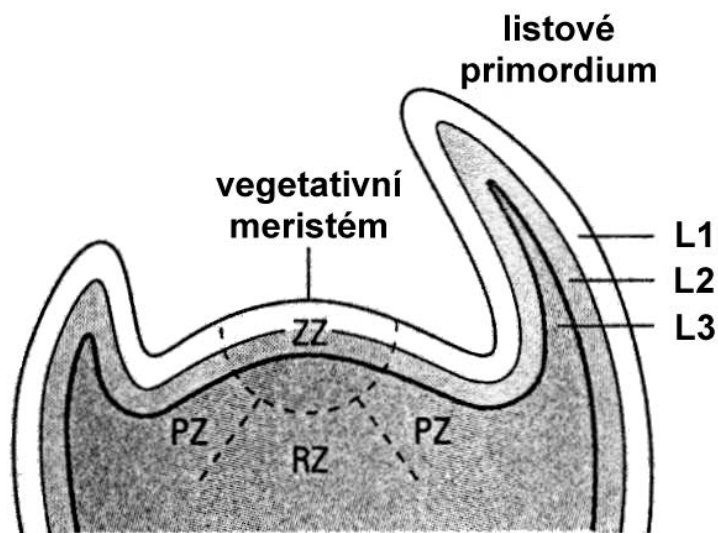
- 29 listů/47 dní do kvetení



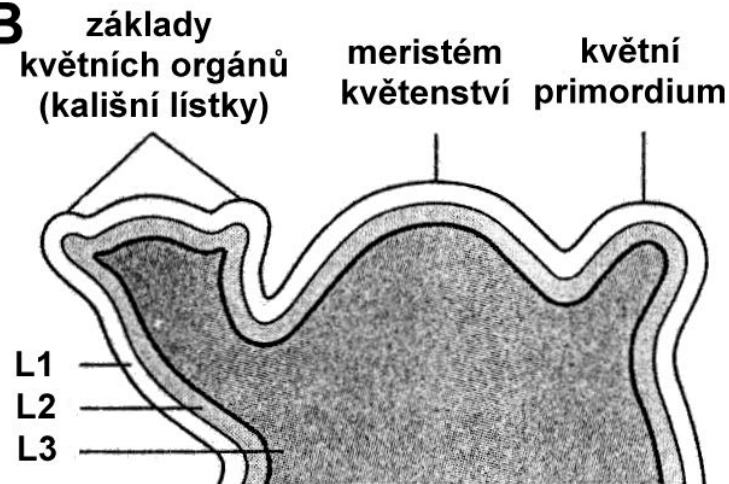
# Morfologická podstata indukce kvetení

## Přeměna vegetativního meristému v meristém květenství

**A**



**B**



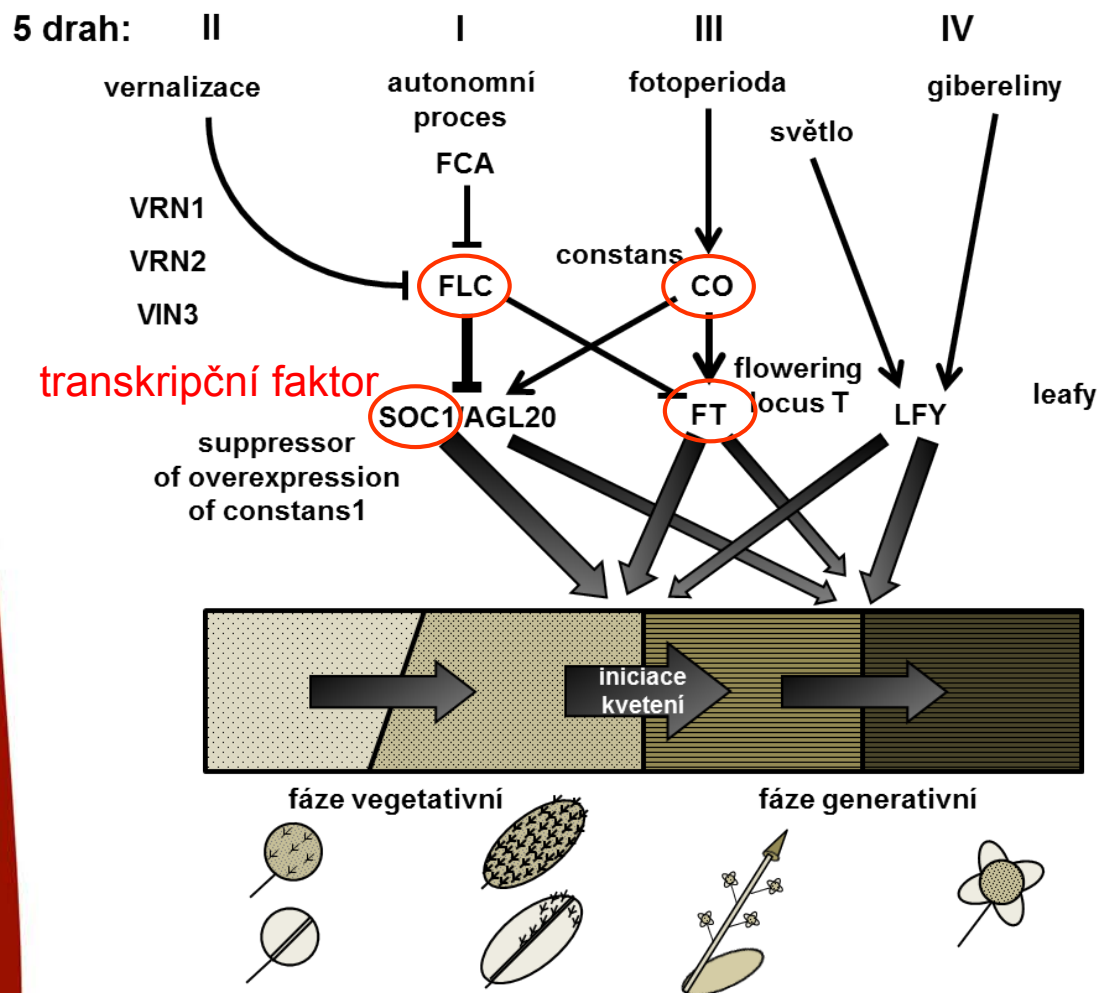
## Fáze přechodu do generativního stavu

1. Přepnutí z neorganizovaného vegetativního růstu do organizovaného generativního růstu. Nastartování dalších změn.
2. Přeměna vegetativního meristému v meristém květenství.
3. Přeměna meristému květenství v květní meristém. Tvorba prekurzorů květních orgánů a jejich diferenciacce.
4. Funkční fáze, zrání reprodukčních orgánů, opylení a oplození.

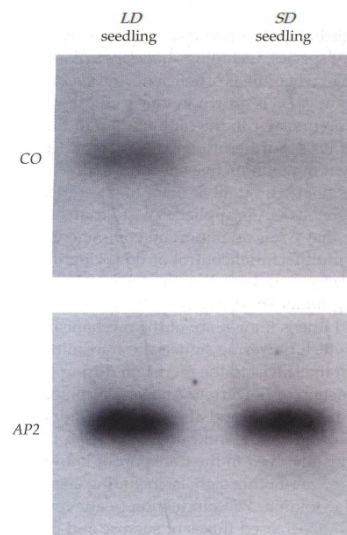
## **Geny kódující regulaci vývoje květů**

- 1. Geny regulující přechod z vegetativního růstu do generativního**
- 2. Geny podmiňující zakládání meristémů květenství**
- 3. Geny regulující tvorbu a identitu květních orgánů**
- 4. Geny regulující růst květních orgánů a jejich zrání**

# Geny reglující přechod z vegetativního stavu do generativního



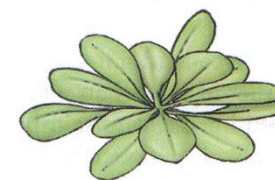
Expresse CO a AP2



Krátký den – exprese CO

(A)

(B)



Wild-type control (ecotype Landsberg erecta)



35S::CO transformant

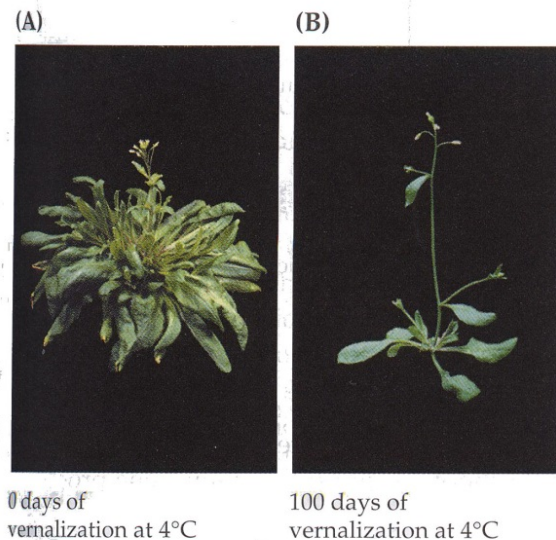
# 1. Autonomní dráha

- ➔ Identifikováno více než 80 lokusů, které řídí dobu do kvetení.
- ➔ **Klonované geny:**
  - *FLC FLOWERING LOCUS C*
    - supresor kvetení
    - pozdní kvetení
- ➔ **Geny aktivátory – rané kvetení**
  - *FCA*
  - *FLK FLOWERING LOCUS KH DOMAIN*
  - *FLM FLOWERING LOCUS M*
  - *LD LUMINIDEPENDENS*
  - *FY, FPA*
  - *FLD FLOWERING LOCUS D*



## 2. Vernalizační dráha

- ➔ ***FRI FRIGIDA*** pozdní kvetení, regulace kvetení podle chladového působení

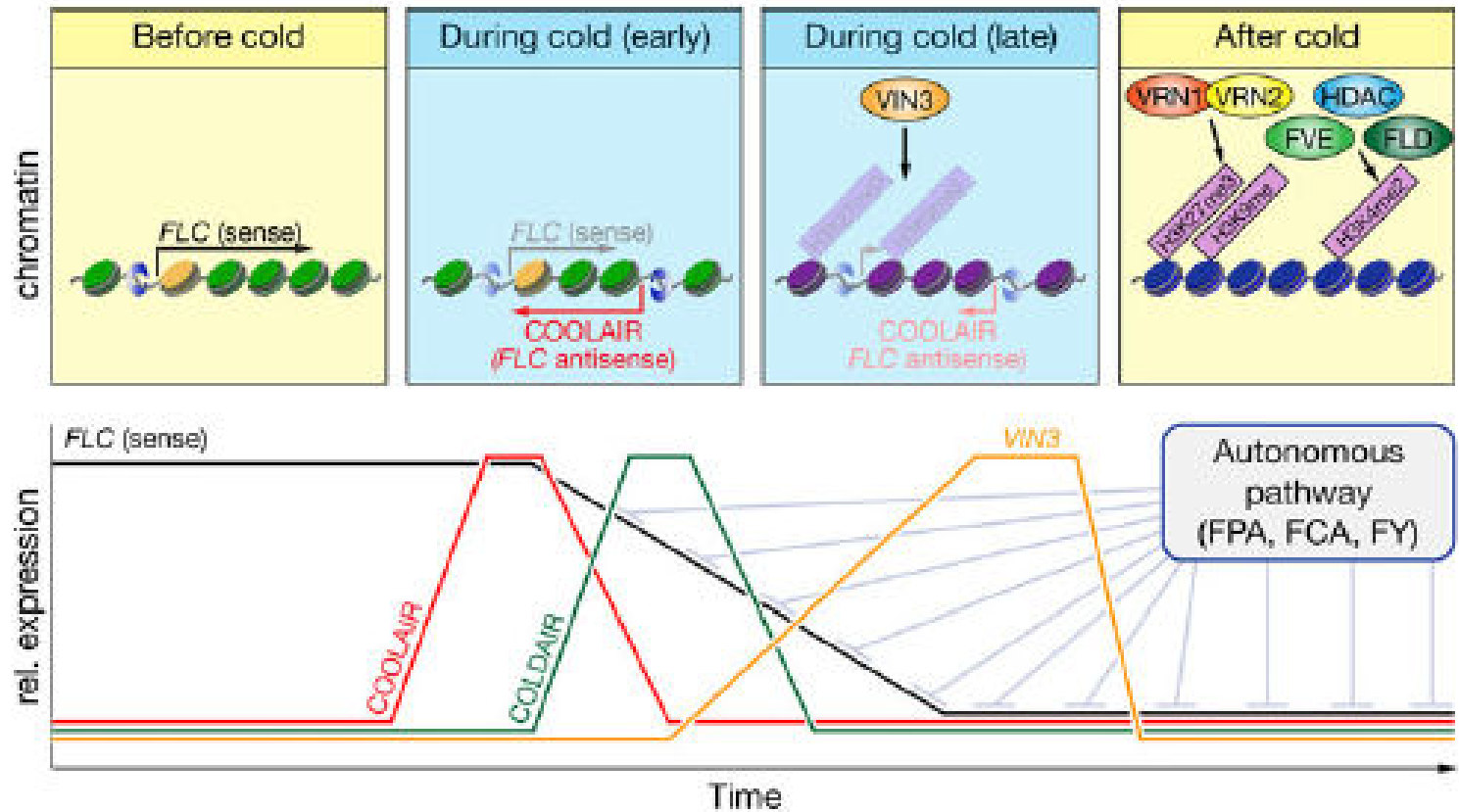


***Genotyp rostlin FRI***

- ➔ **Vliv vernalizace – chladového působení**
  - Geny *VRN1*, *VRN2*, *VIN3*
  - *VERNALIZATION1, 2*
  - *VERNALIZATION INSENSITIVE3*

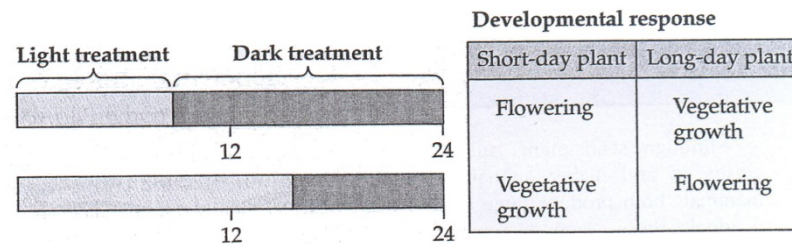
- ➔ Vernalizace mimo jiné způsobuje metylaci cytosinů histonu H3, aktivace exprese dalších genů ovlivňujících kvetení.

# Mechanismus regulace *FLC*



**COLD INDUCED LONG ANTISENS INTRAGENIC RNA**  
**COLD ASSISTED INTRONIC NONCODING RNA** (10 dní od začátku vernalizace)

### 3. Délka dne - fotoperioda

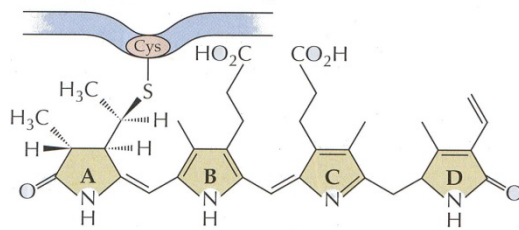


### Signály zprostředkované světlem (fotoreceptory)

1. Fytochromy: *PHYA*, *PHYB*, *PHYC*, *PHYD*, *PHYE*  
– 600–700 nm, červené a dlouhé červené světlo
2. Kryprochromy: *CRY1*, *CRY2*  
– 400–500 nm, modré a UV světlo
3. Fototropiny: *PHOT1*, *PHOT2*  
– modré světlo, UV-A
4. Fotoreceptory pro UV-B spektrum světla  
– AtUVR8

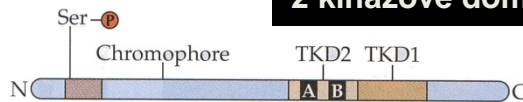
# Struktura a funkce fytochromů

(A) Phytochrome chromophore

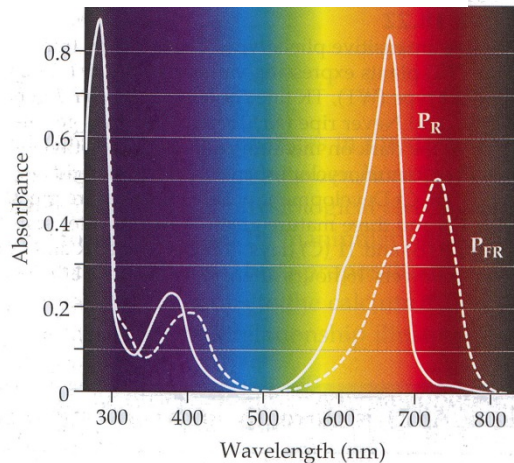


2 stejné polypeptidy 120-127 kD

(B) Phytochrome protein



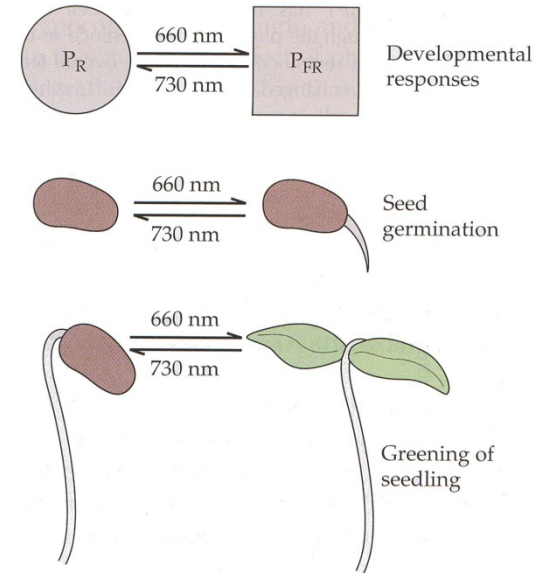
2 kinázové domény na C konci



Absorpční spektra

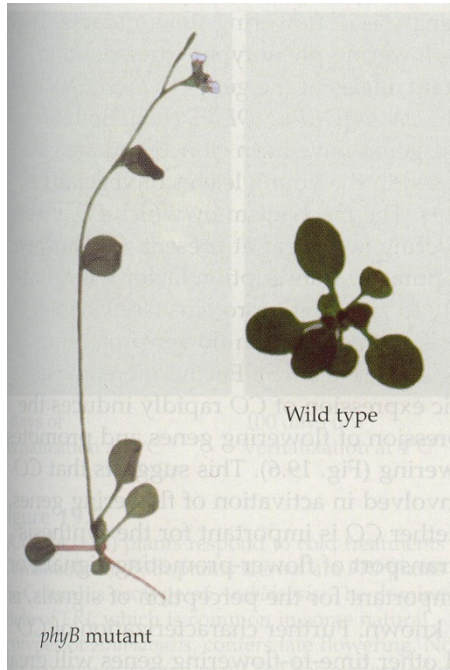
Tetrapyrrolový chromofor = pigmentoproteinový komplex

(D) Phytochrome activities



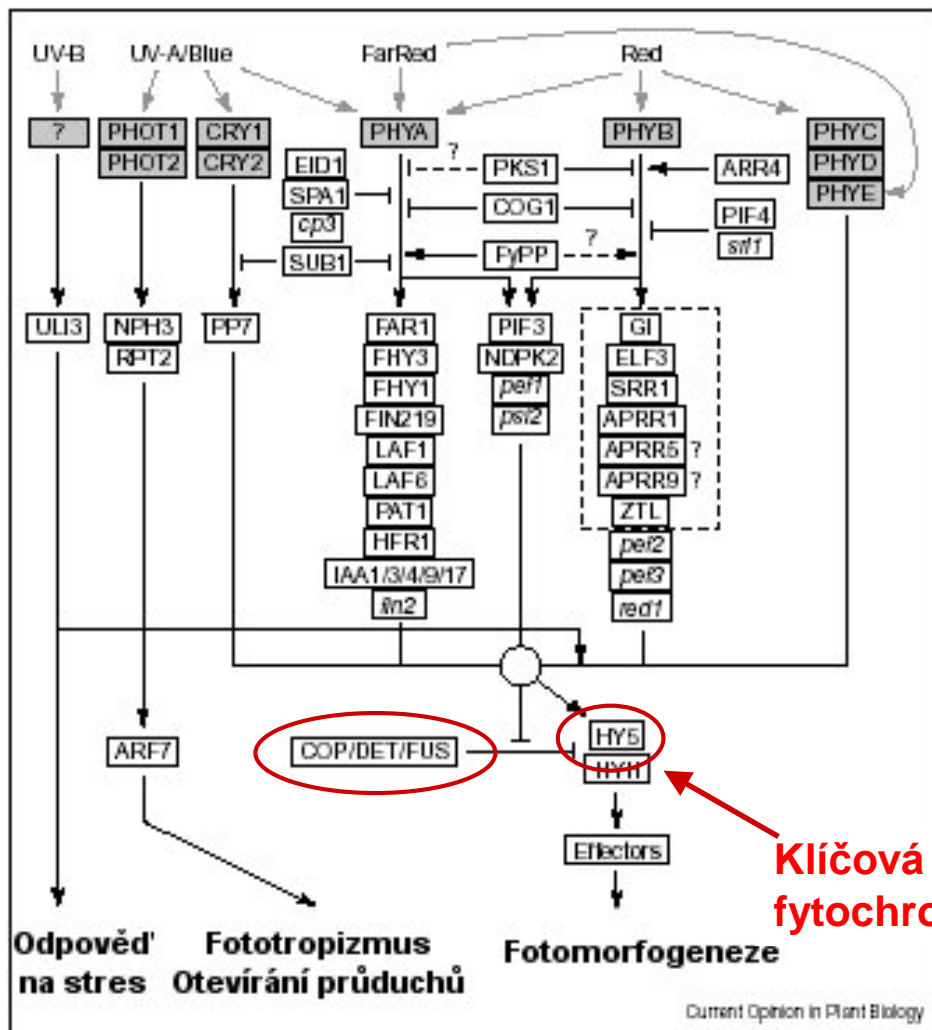
Reverzibilní změny při fytochromové aktivitě

## Funkce genů pro fytochromy



- ➔ Geny *PHYA* a *PHYB* regulují dobu do kvetení
- ➔ Mutant *phyB* je raně kvetoucí – *PHYB* zpožduje kvetení.
- ➔ *PHYA* urychluje kvetení prostřednictvím světelných signálů

# Klasifikace fotoreceptorů *A. thaliana* a jejich funkce



Vnější signál – světlo  
Fotoreceptory

**Pozitivní a negativní regulace morfogeneze světlem**

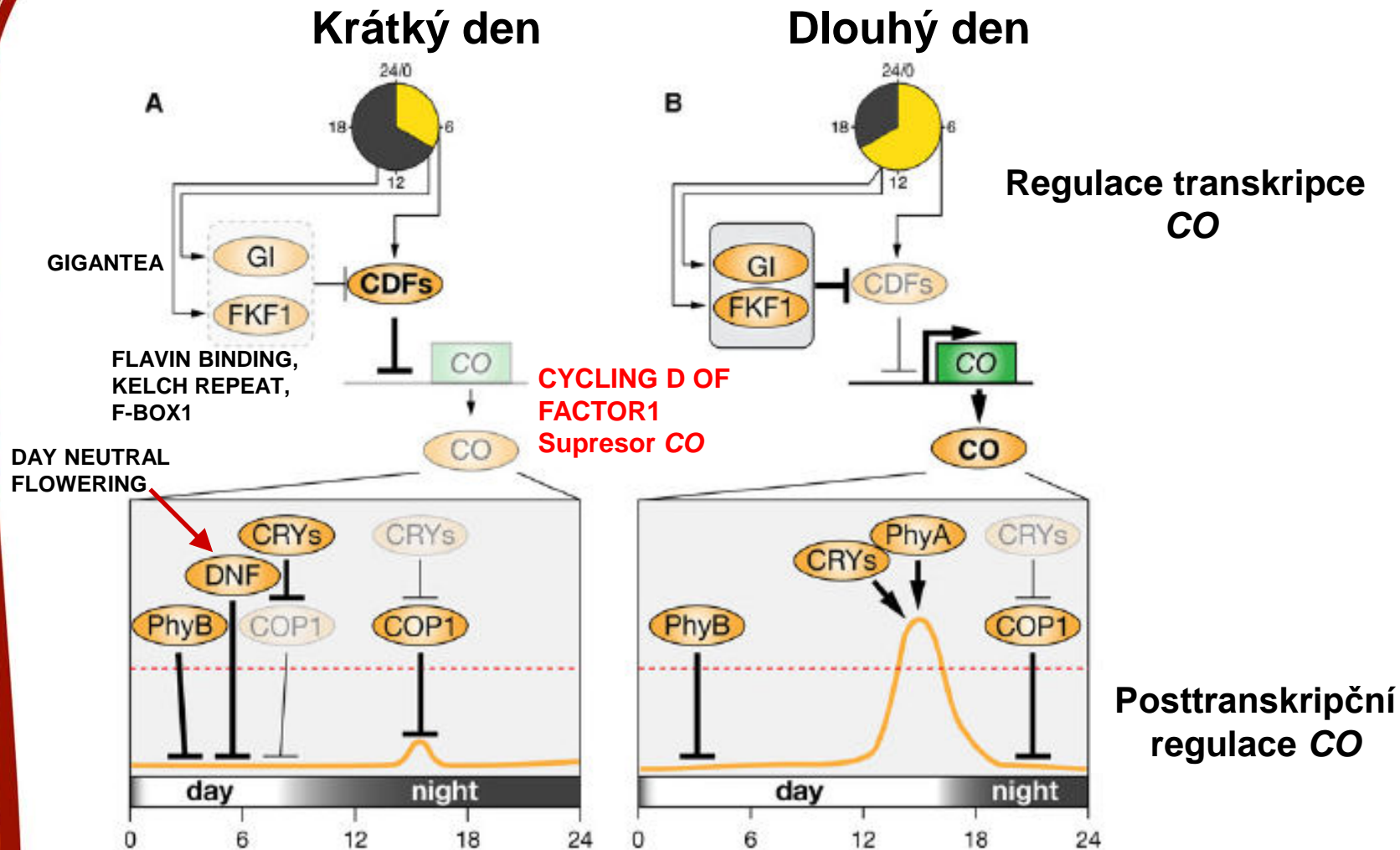
Geny pro pozitivní regulaci  
Promotory mají motivy LRE  
(light regulatory elements)

Geny pro negativní regulaci  
fotomorfogeneze

**COP – CONSTITUTIVE  
PHOTOMORPHOGENIC  
DET – DE/ETHIOLATED  
FUS – FUSCA**

**Klíčová složka  
fytochromové signalizační kaskády**

# Regulace genu *CONSTANS*

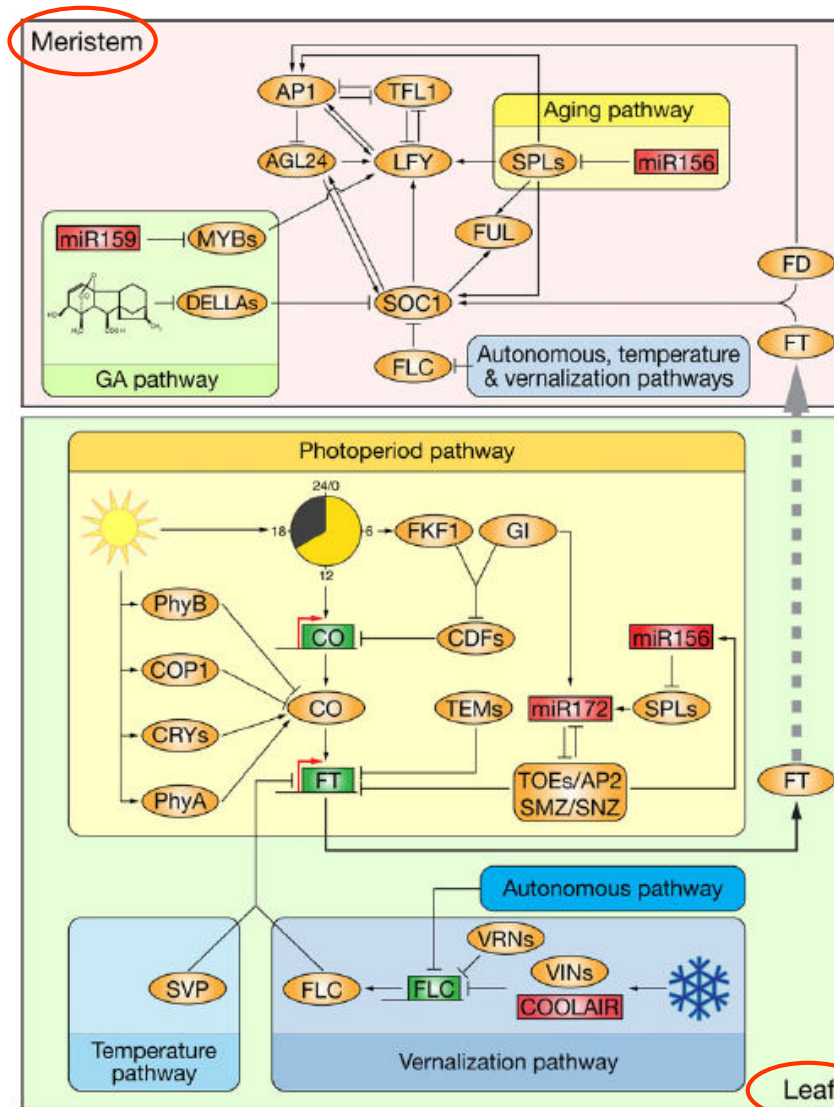


## 4. Kontrola růstovými hormony

- ➔ **Kyselina giberelová (GA), cytokininy**
  - aktivují kvetení
- ➔ **GA1 GA REQUIRING1** – aktivátor
  - rané kvetení v podmínkách krátkého dne
  - GA je limitující pro kvetení v podmínkách krátkého dne
- ➔ Mutanti **ga1–3** deficientní, v podmínkách dlouhého dne kvete stejně jako standard, nekvete za krátkého dne
- ➔ **GID1A, GID1B, GID1C** – aktivátor
- ➔ **GAI GA INSENSITIVE** – supresor
- ➔ **GNC, GNL** – supresory



# Molekulární mechanismy regulace indukce kvetení



Geny zeleně  
Proteiny žlutě

Cellular and  
Molecular Life  
Sciences 2011, 68,  
p. 2013–237

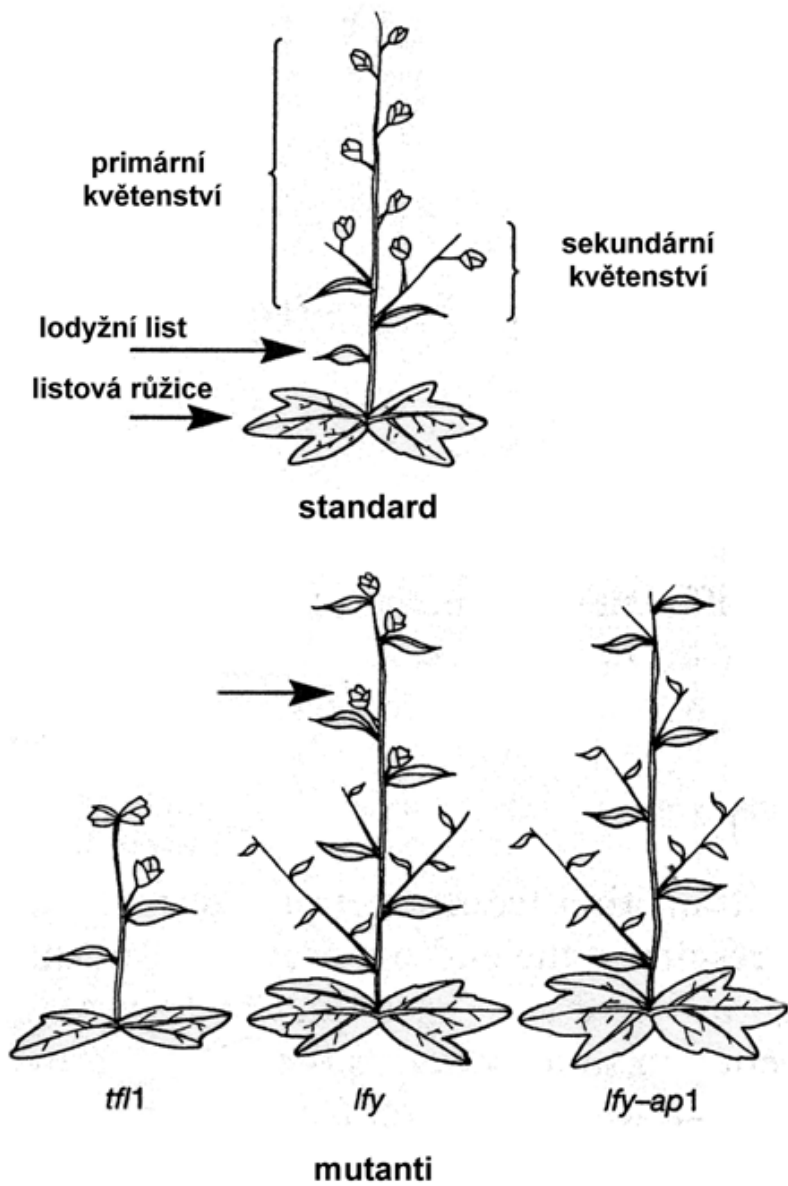
## Geny podmiňující tvorbu meristémů květenství

### ➔ *LFY (LEAFY)*

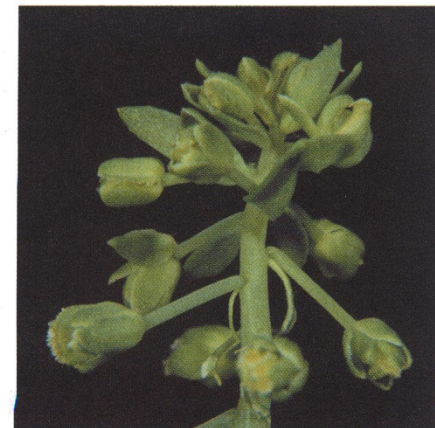
- blokuje vegetativní růst a zakládání listových primordií
- **Mutantní fenotyp:** částečná přeměna květních meristémů v listy, bohaté květenství. Květy zelené

### ➔ *TFL (TERMINAL FLOWER)*

- zachování meristému květenství
- **Mutantní fenotyp:** přeměna meristému květenství v květní meristém



(A)



leafy

(B)



Expresse 35S::*LFY*

# AP1 (APETALA1)

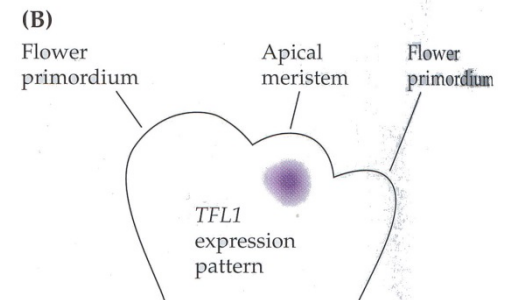
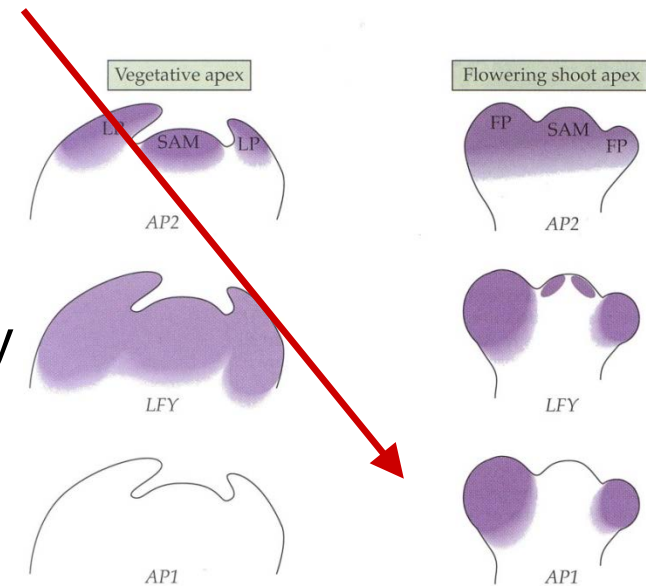
1. Zakládání květních meristémů
2. Přeměna květních primordií v determinované struktury

➔ **Mutantní fenotyp:**

- tvorba axilárních květů
- homeotická přeměna sepal v listy

➔ Mutace *ap1* (i *ap2*) zvyšují fenotyp *lfy*

➔ *LFY* + *AP1* + *TFL* rané funkce ve specializaci květního meristému



## Geny regulující tvorbu a identitu květních orgánů

### ➔ *AP1, AP2*

- Mutantní fenotyp: homeotická přeměna sepal v listy a petal v tyčinky

### ➔ *AP3*

- Mutantní fenotyp: homeotická přeměna petal a tyčinek

### ➔ *PI PISTILLATA*

- Mutantní fenotyp: homeotická přeměna petal a tyčinek

### ➔ *AG AGAMOUS*

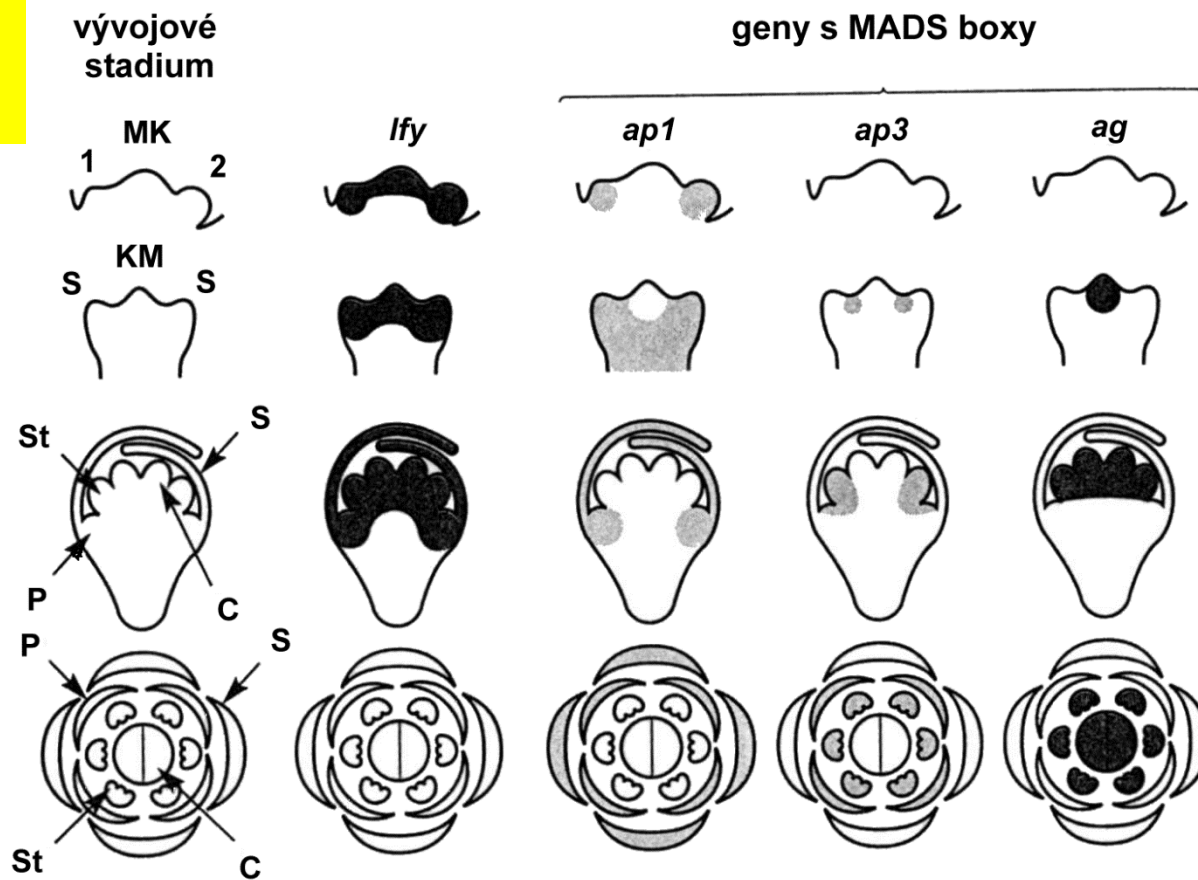
- Mutantní fenotyp: homeotická přeměna tyčinek a pestíků

**Vliv na strukturu květ. orgánů vždy ve 2 květních kruzích**

### ➔ *SUP SUPERMAN*

# Časová a prostorová regulace genové exprese během vývoje květu

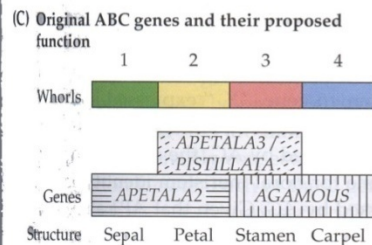
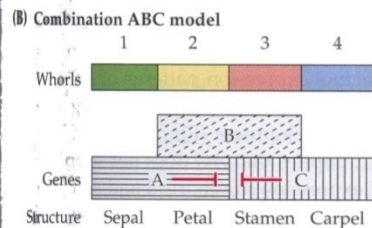
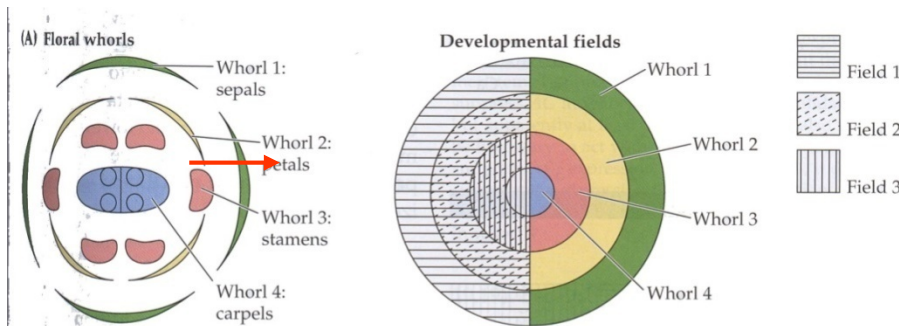
**MCM1** kvasinek  
**Agamous** rostlin  
**Deficiens** rostlin  
**SRF** savčí



# Homeostaze vývoje květů

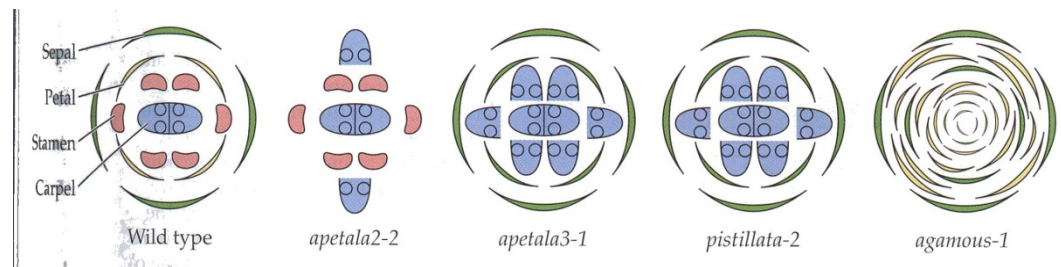
## Prostorová regulace genové exprese během vývoje květů

### ABC model

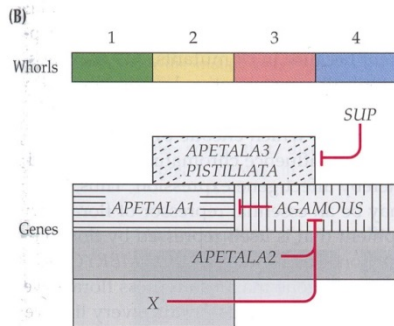
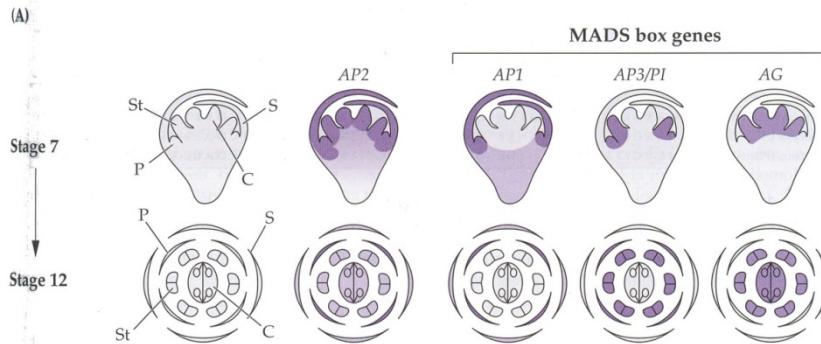


### Expresse genů ve dvou sousedních kruzích

1. Expresse genů B je nezávislá na genech A, C
  2. Fenotypy mutantů bez funkčních genů C mají zvýšenou funkci genů A a naopak.
- Geny A a geny C fungují antagonisticky.



## Antagonismus mezi geny A a C



### Revize modelu ABC

1. SUP – negativní regulátor funkce genů B (PI, AP3).

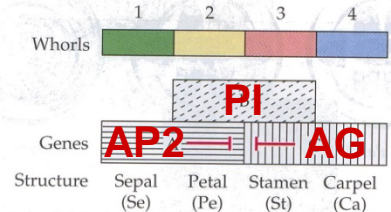
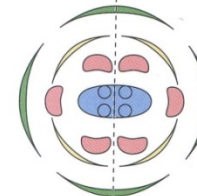
Expanduje tvorba tyčinek do 4. kruhu.

Epigenetická regulace

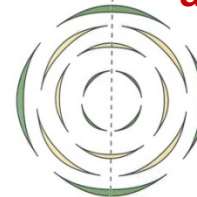
hypermetylace SUP = mutace *sup*

2. Neznámý gen X – skupina A

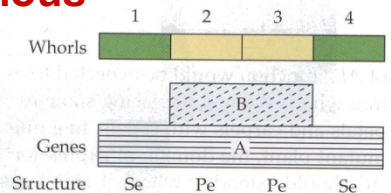
Wild type



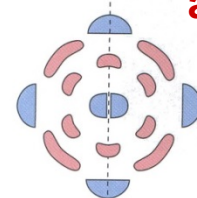
Loss of C function



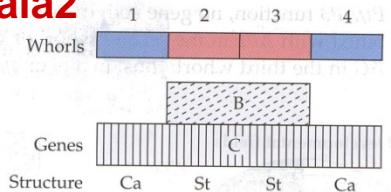
**agamous**



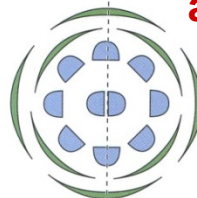
Loss of A function



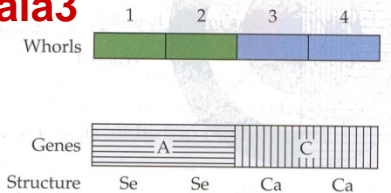
**apetala2**



Loss of B function



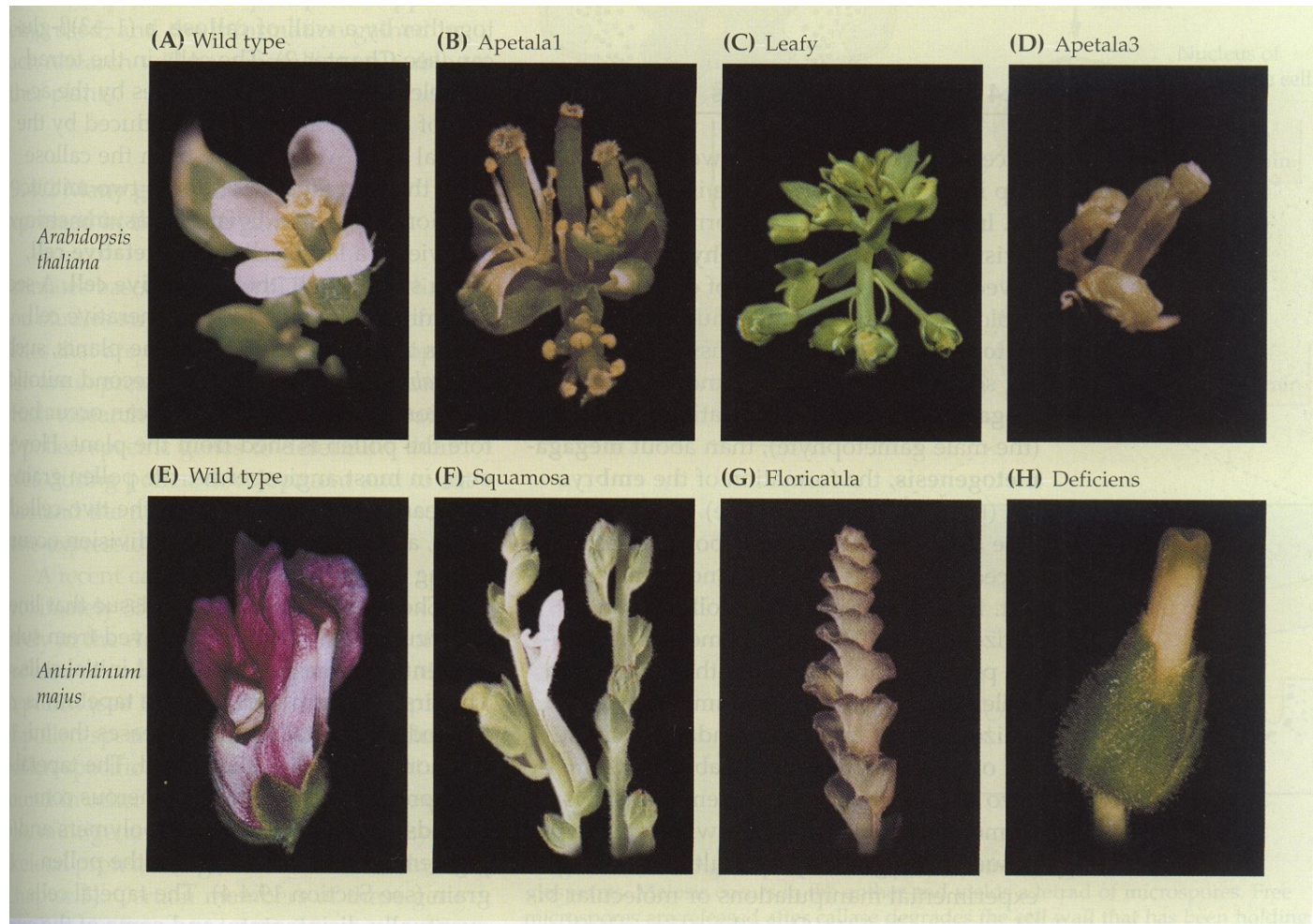
**pistilata**  
**apetala3**





Podobné geny se podílejí na tvorbě zcela odlišných květů

*Arabidopsis thaliana* x *Antirrhinum majus*



# Geny regulující růst květních orgánů a jejich zrání

## Geny kódující samičí gametofyt

### ➔ Zakládání a vývoj vajíček

– 12 lokusů, regulace buněčné diferenciace

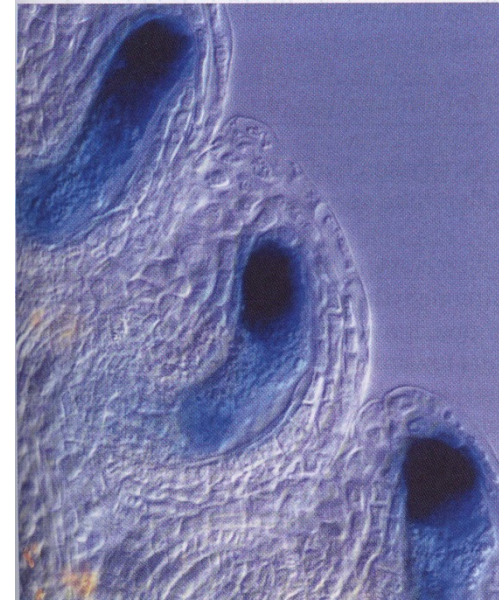
– *ANT* *AINTEGUMENTA*

– *BEL1* *BELL1*

– *ATS* *ABERRANT TESTA SHAPE*

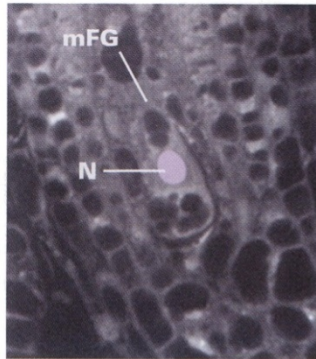
### ➔ Megasporogeneze

– *MAC1* meióza probíhá jen u 1 mateřské buňky megaspóry

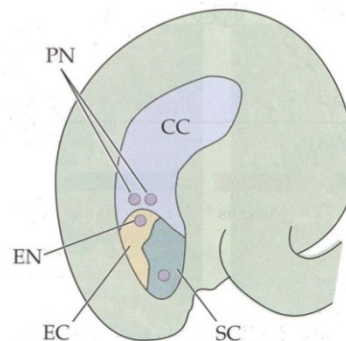
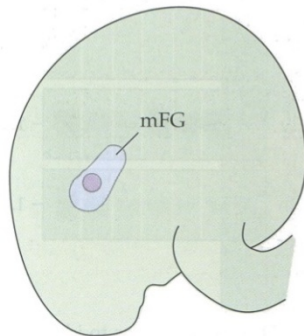
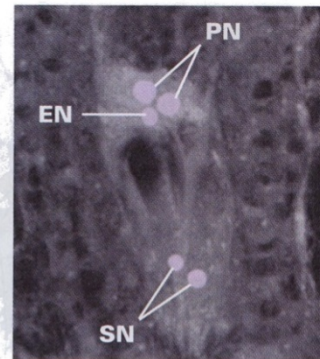


## Pozdější fáze

*fem2*: Never progresses beyond megasporogenesis



*gfa2*: Polar nuclei fail to fuse



## *SIN1* – *SHORT INTEGUMENTS1*

### ➤ Megagametogeneze

- Determinace tvorby zralého embryonálního vaku
- identifikace řady mutantů

### ➤ Mutace *fem2*

- zastavení vývoje ve stadiu jedné buňky

### ➤ Mutace *gfa*

- centrální jádra nesplývají

### ➤ Oplození

- *SIN1* – normální průběh embryogeneze

# Geny kódující samčí gametofyt

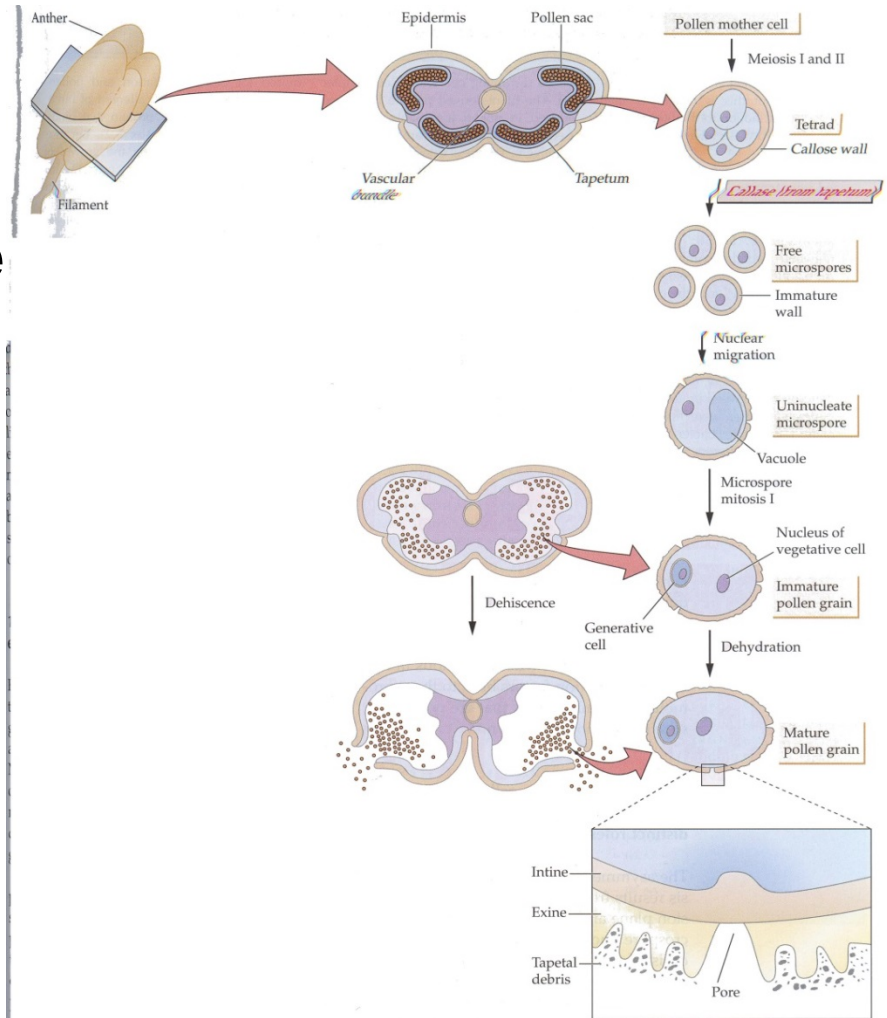
➔ **Mikrosporogeneze a mikrogametogeneze**

➔ **APT**

– ABORTIVE POLLEN DEVELOPMENT

➔ **AT**

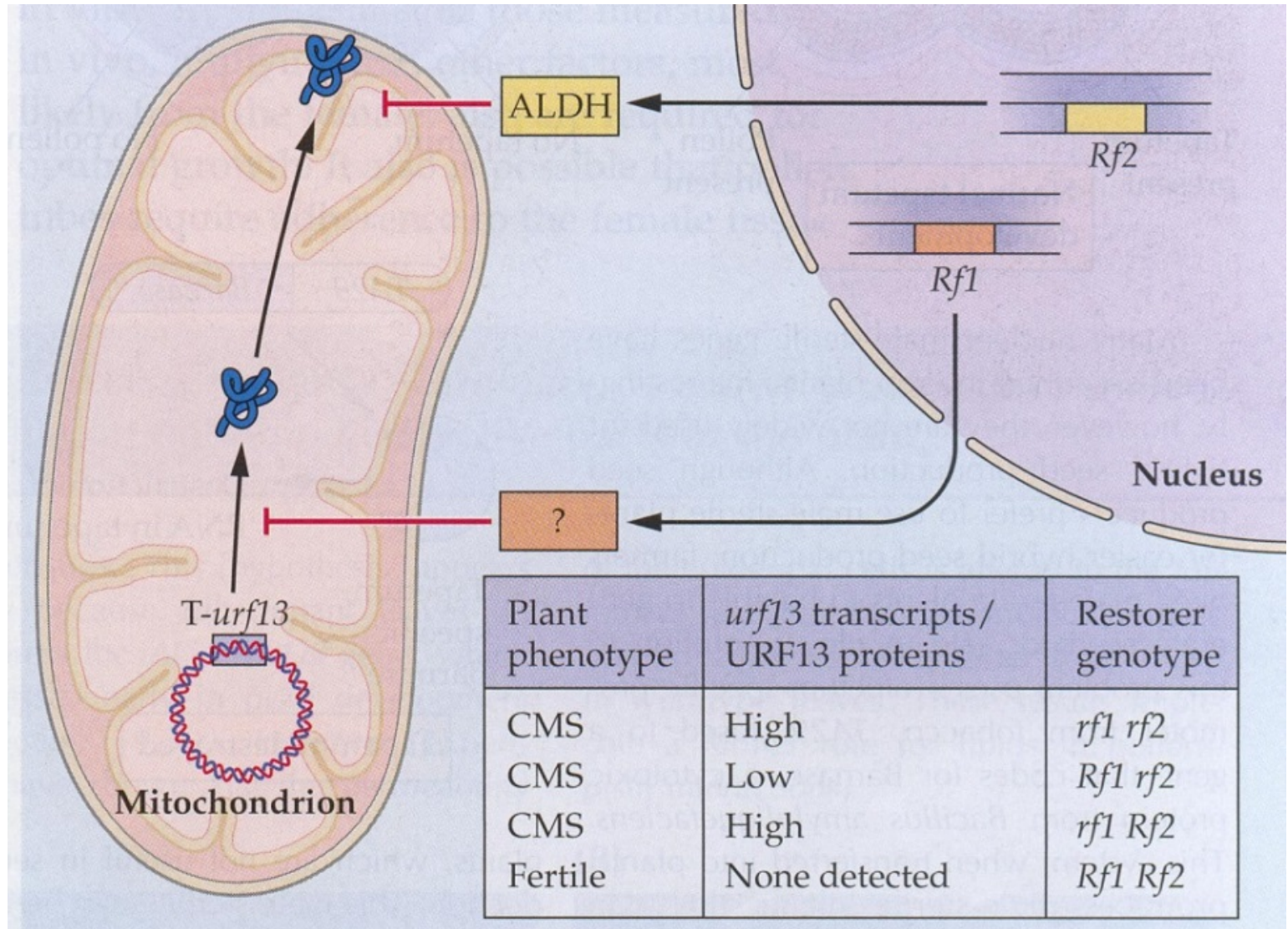
– ANTHERLESS



## CMS a geny pro obnovu fertility

- ➔ **150 druhů rostlin** – kukuřice, slunečnice, rýže, petúnie, fazol
- ➔ **Geny pro CMS**
  - mitochondriální genom, CMS-T systém u kukuřice, gen *T-urf13*, protein *URF-13*
- ➔ **Geny obnovy *Rf1*, *Rf2***
  - jaderný genom, dominantní alely redukce proteinu URF-13 (tvoří aldehydy toxické pro mitochondrie)
- ➔ **Rf2**
  - tvorba alkoholdehydrogenázy odstraňuje toxické látky

# CMS a geny pro obnovu fertility



Výukovou pomůcku zpracovalo  
**Servisní středisko pro e-learning na MU**

<http://is.muni.cz/stech/>

CZ.1.07/2.2.00/28.0041

Centrum interaktivních a multimediálních studijních opor pro inovaci výuky a efektivní učení



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ