

Rostlinné smysly

aneb Jak a co rostlina vnímá ze svého prostředí

Jana Krtková

Co nás dnes čeká?

Světlo

Pachy

Zvuky

Chutě

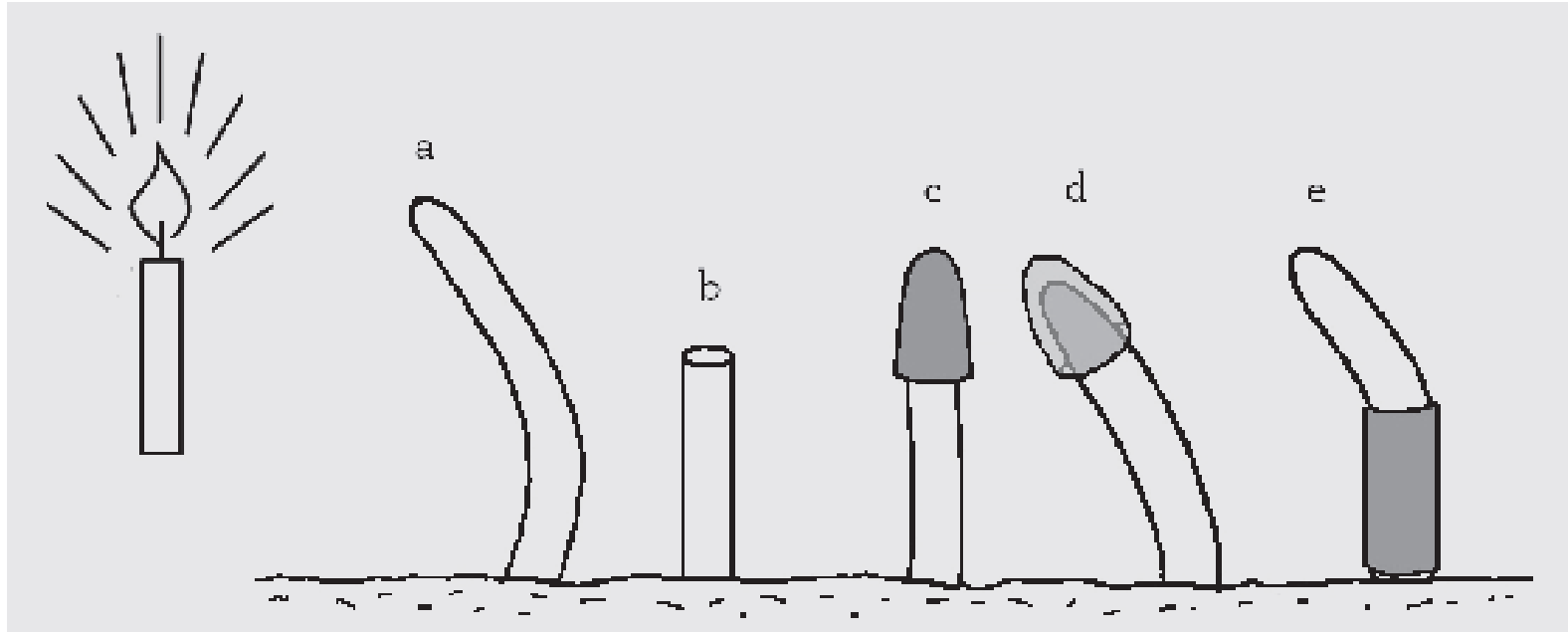
Dotyky

Propriocepce

Pamatuje si rostlina?

Již Charles Darwin dělal pokusy, jak rostliny vnímají světlo

chrastice kanárská



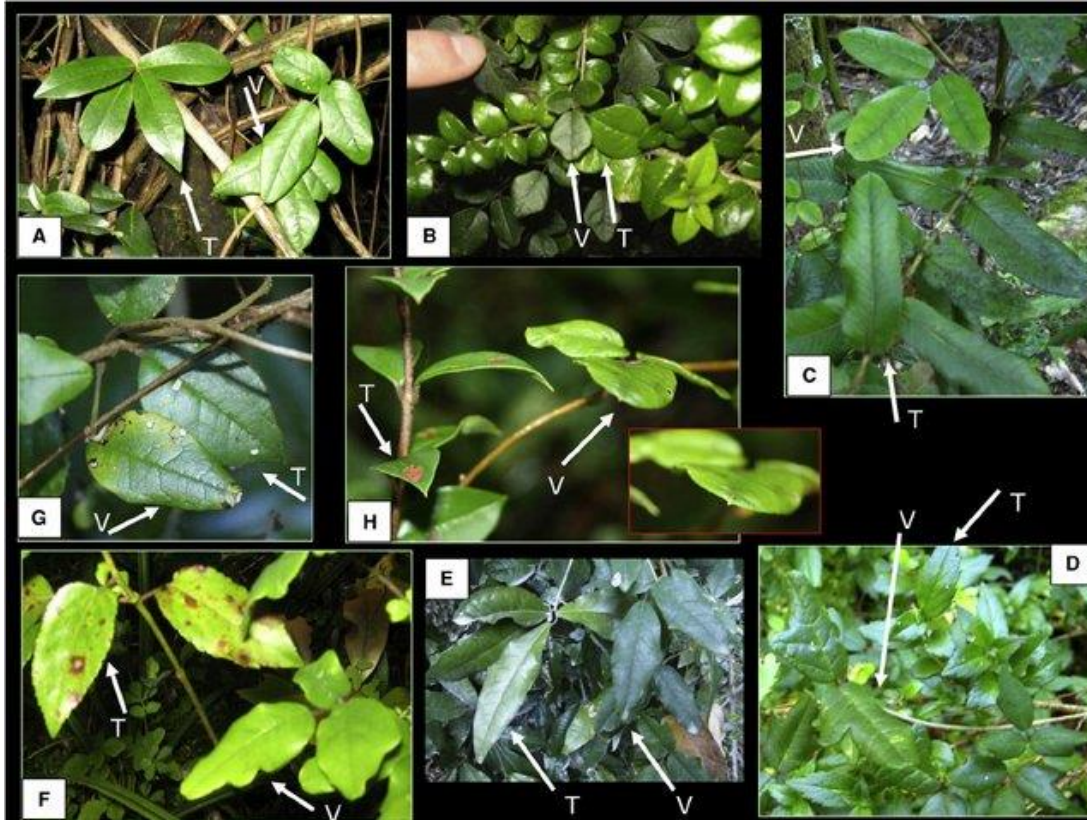
Chamovitz, *Co rostlina ví*, 2020

Fototropismus – rostlina roste za světlem

Stimul: modré světlo

Rostliny a světlo

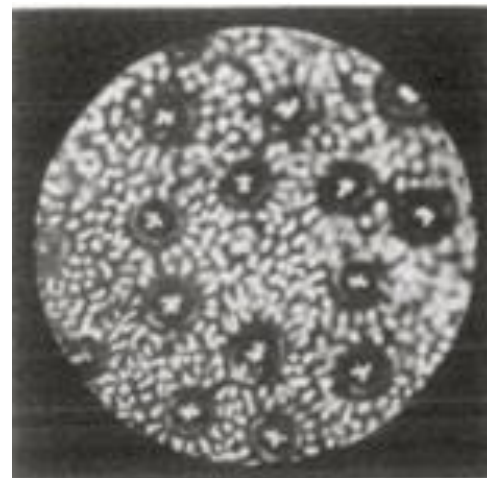
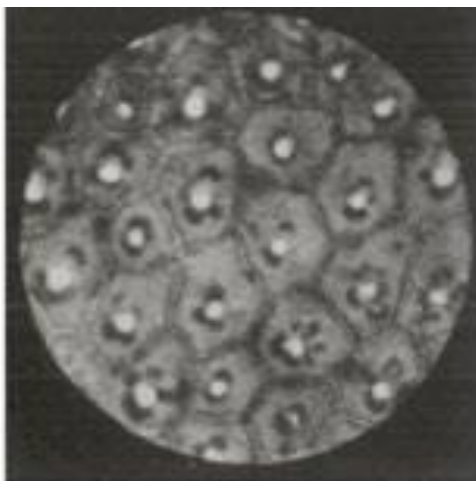
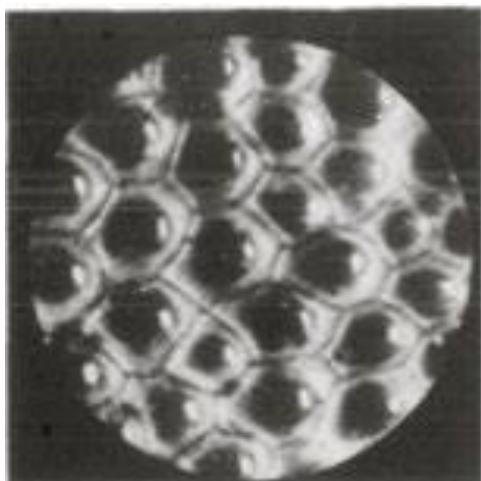
Boquila trifoliolata



Zdroje:
Gianoli and Carrasco-Urra, Leaf Mimicry in a Climbing Plant Protects against Herbivory,
Current Biology (2014), <http://dx.doi.org/10.1016/j.cub.2014.03.010>

Mancuso, Revoluce rostlin, Malvern, 2021

1905 - Haberlandtova hypotéza: buňky pokožky jsou „očka“ (slouží jako čočky)
Wagerovy fotografie



PLANTS HAVE EYES, BOTANIST SHOWS

Prof. Wager Finds Outer Skins of
Leaves Are Lenses Much
Like Eyes of Insects.

PHOTOGRAPHS WITH THEM

And Pictures of Persons and Land-
scapes Thus Secured Are Re-
markably Clearly Defined.

Special Cable to THE NEW YORK TIMES.

LONDON, Sept. 7.—The interest
aroused by the contention made by
Francis Darwin, son of the author of

Rostliny a světlo

280 až 740 nm (člověk cca 380 -760)

Světlo:

- 1) zdroj E – fotosyntéza
- 2) informace = signál – vývoj, pohyb,
- 3) stres - * ROS, obrana

R monitorují oblasti, které jsou využívány k fotosyntéze: B a R a jim přilehlé

—————→ Habitus (velikost listů, internodií, řapíků, růst) ALE také metabolismus (syntéza karotenoidů, flavonoidů, strukturních proteinů PSI, PSII, Rubisco) = FOTOMORFOGENEZE

Světelné poměry na stanovišti: porost – změny v množství, ale i kvalitě světla (ráno, soumrak – rozptýlené s., modrá sl., přes den R/FR = 1,15)

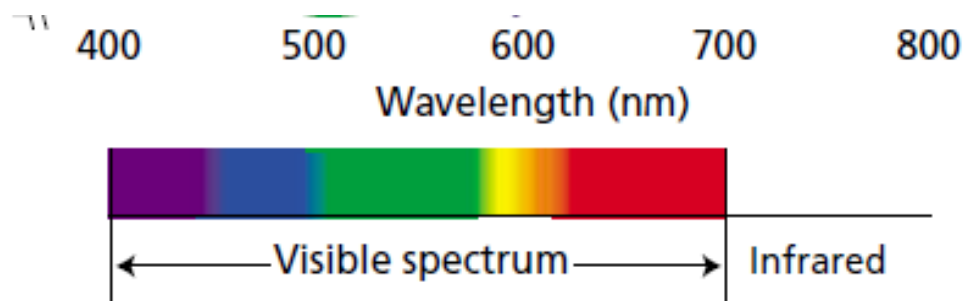
Světelné poměry na stanovišti

B, R – absorpce chlorofylem a dalšími fotos. pigmenty

FR – propouštěno a odráženo listy => poměr R/FR KLESÁ (R/FR = i. o konkurentech či vlastních fotos. strukturách => dlouhivý růst za světlem)

B – i. o poloze zdroje světla - fototropismus

světlo

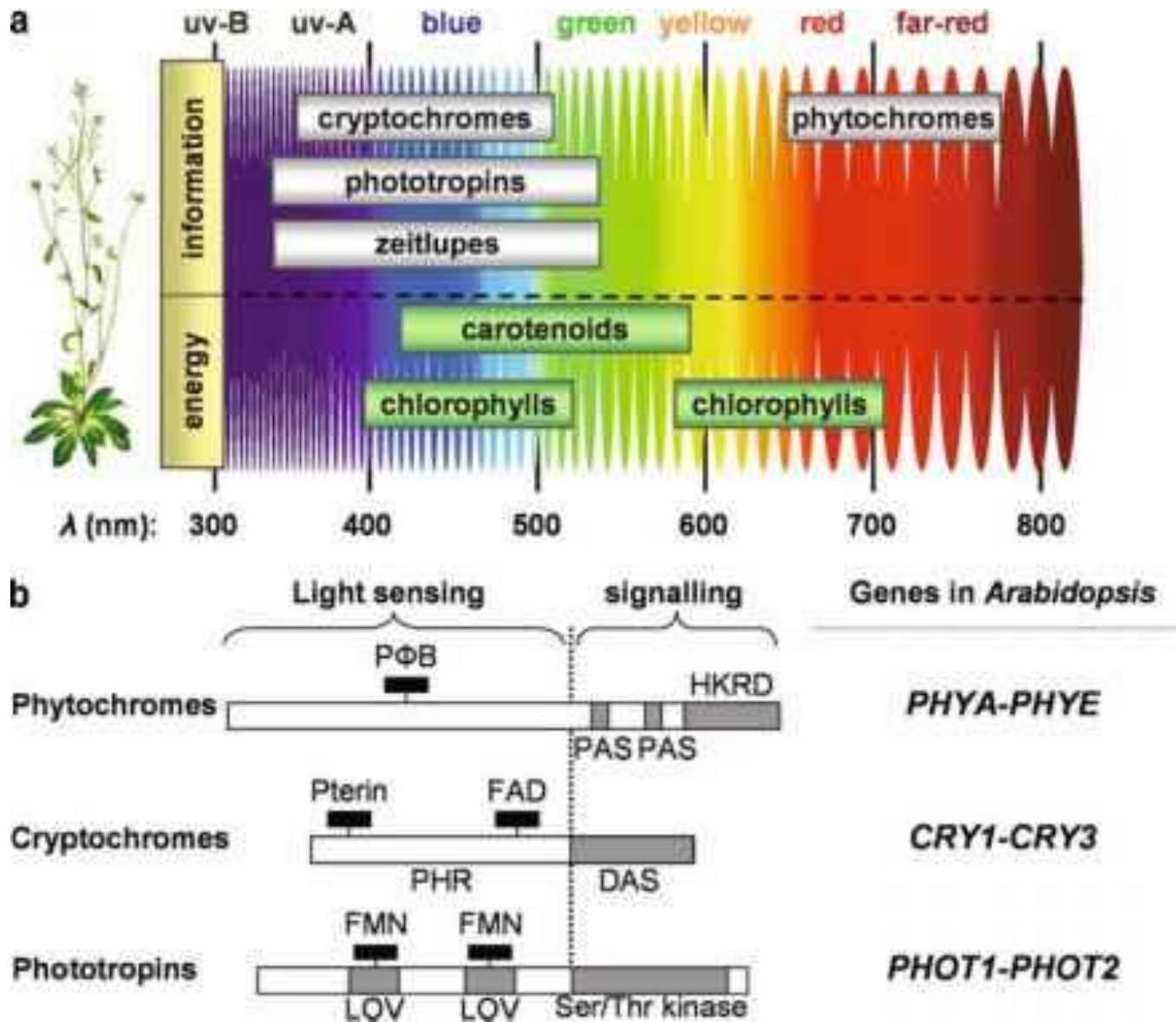


λ

záření	vlková délka (nm)	energie (kJ/mol)
UV-C	210 – 280	471
UV-B	280 – 320	399
UV-A	320 – 400	352
fialová	400 – 425	292
modrá	425 – 490	261
zelená	490 – 560	230
žlutá	560 – 585	206
oranžová	585 – 640	193
červená	640 – 740	176
infračervená	nad 740	85

Energie 1 molu vazeb C je 348 kJ, O-H 463 kJ

Rozdíl fotosenzor vs barvivo?

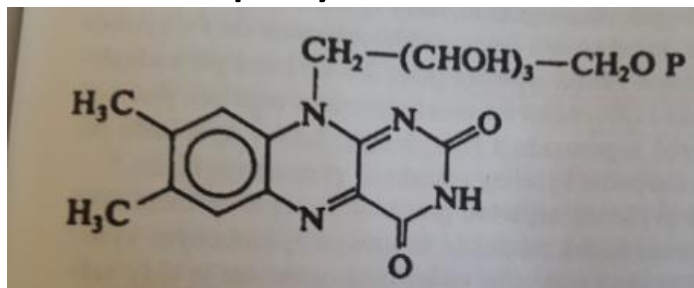


Rostlinné fotoreceptory

280 až 740 nm

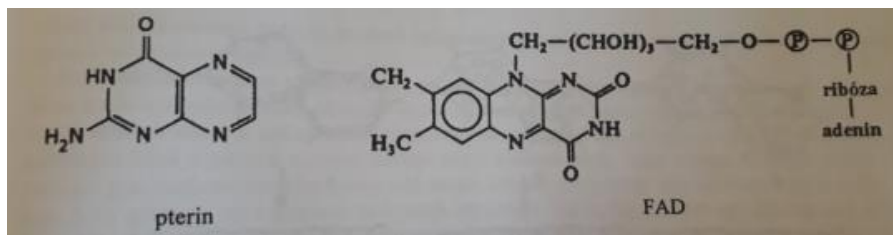
UVR8 – UV-B, cytosol (UV-B do jádra)

Fototropiny 1, 2 – B, PM



FMN

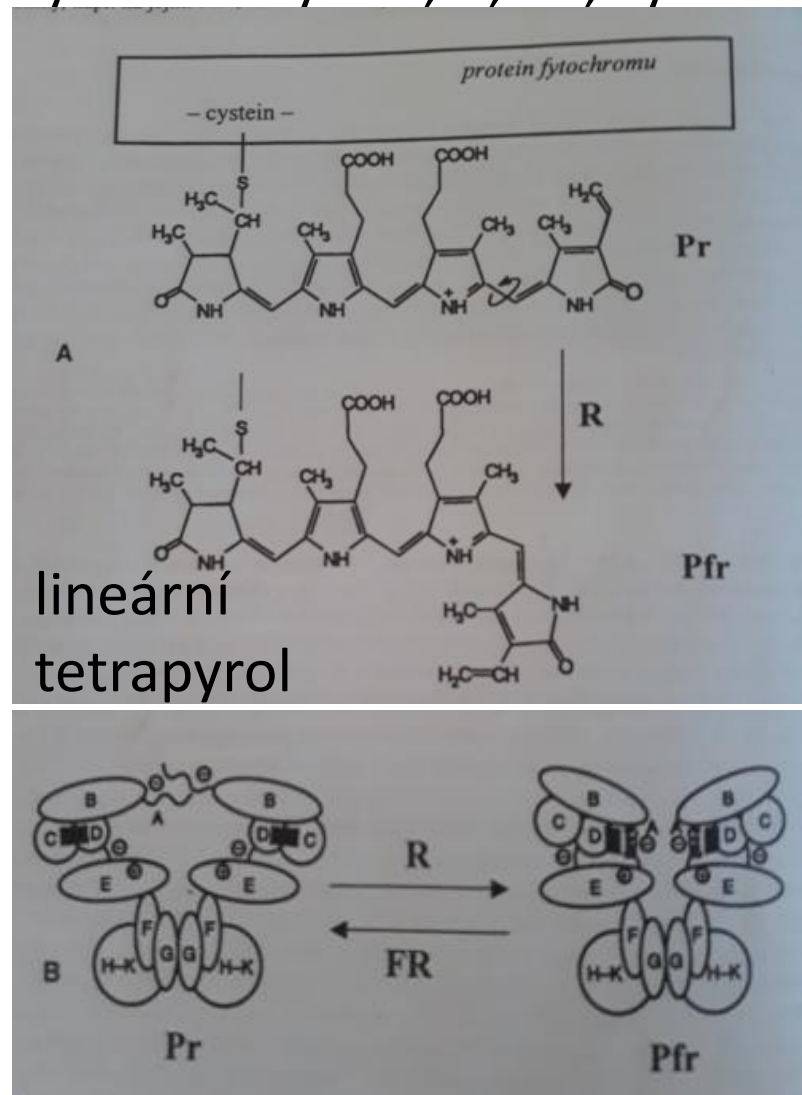
Kryptochromy 1-3 – B, jádro, celá R

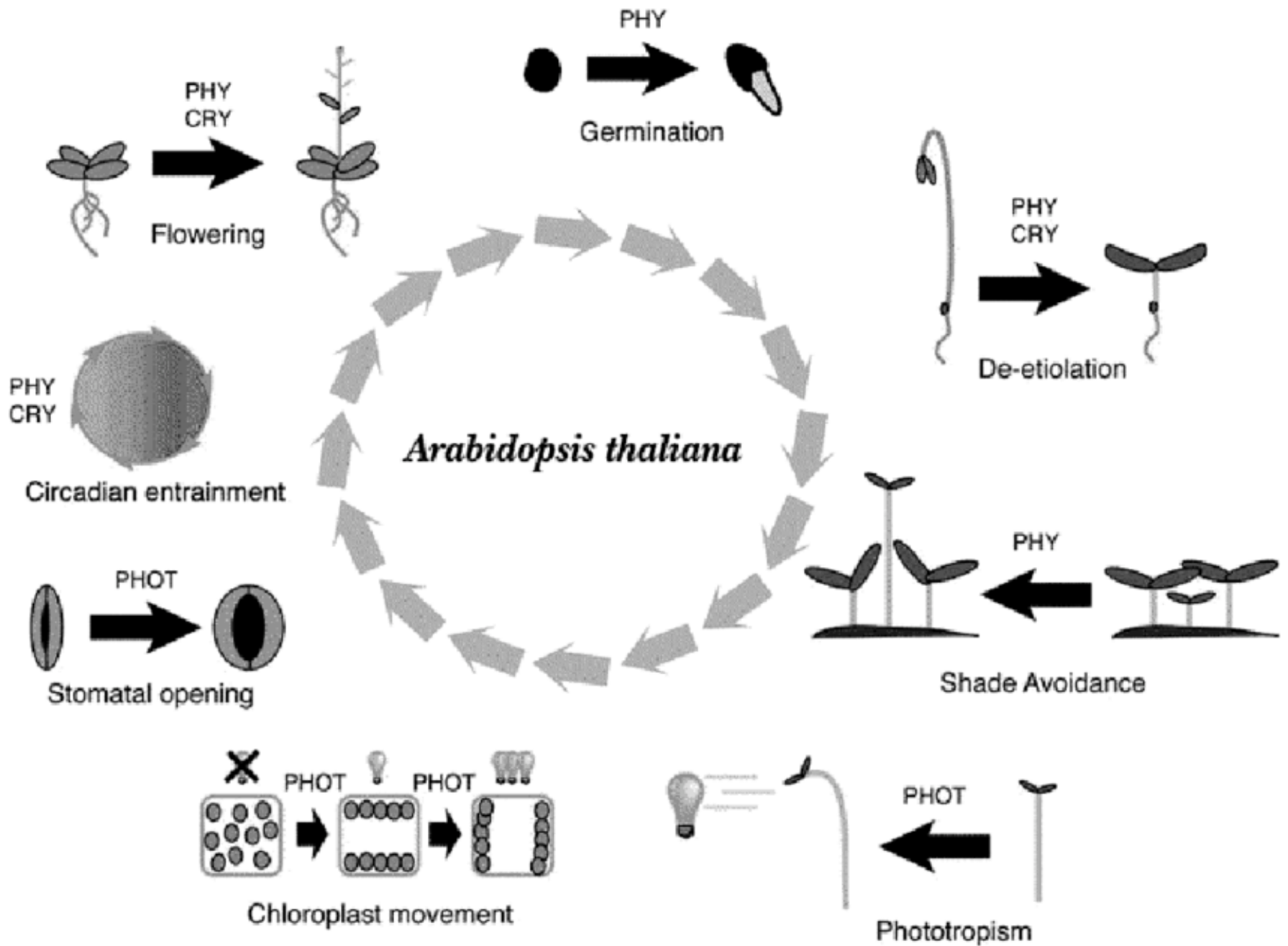


pterin, FAD

ZTL, FKF1, LKP2 – B, regulace cirkadiánních hodin a kvetení

Fytochromy A-E, R, FR; cytosol





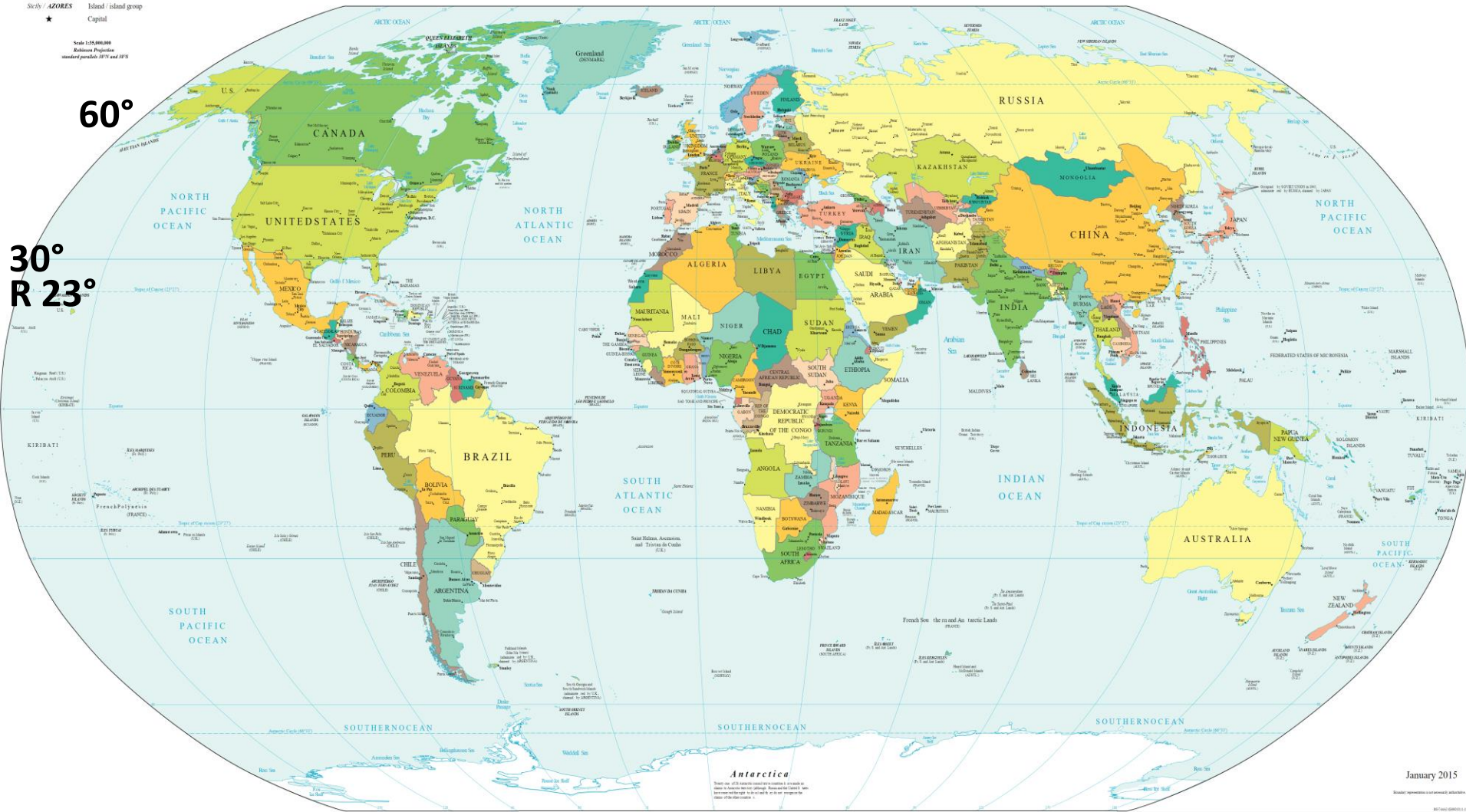
Datta, 2008, **B-box Proteins in Light-regulated Development in *Arabidopsis***, PhD Thesis

2. Marylandský mamut, fotoperioda a fytochrom

Political Map of the World, January 2015

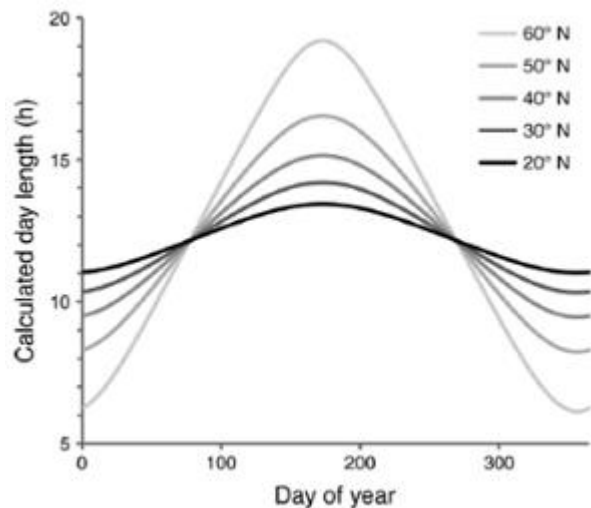
AUSTRALIA Independent state
Bermuda Dependency or area of special sovereignty
Sicily / AZORES Island / island group
★ Capital

Scale 1:10,000,000
Reference Projections
standard parallels 30°N and 30°S



V různých místech na Zemi je den v létě různě dlouhý

	v den letního slunovratu	v den zimního slunovratu	Délky dne	
Východ Slunce:	21.6.	21.12.	21.6.	21.12.
0°	5:58	5:54	12:08	12:08
10°	5:41	6:12	12:42	11:32
50°	3:51	7:56	16:22	8:04



Fotoperiodismus

- = adaptační mechanismus R
- Umožňuje R řídit vývojové procesy během roku podle délky dne (délka dne závisí na zeměpisné šířce)
- Ovlivňuje nejen kvetení, ale i další procesy: tvorbu hlíz, cibulí, dormanci pupenů, opad listů (např. brambor – dlouhodobí z hlediska kvetení, ale krátkodobí z hlediska tvorby hlíz)
- Uplatňuje se hlavně u R mírného pásma a subtropů (v malých zeměp. šířkách jsou výkyvy v délkách dne menší, proto musí být regulace preciznější. Ve vysokých z.š. je v zimě (S)/létě (J) mráz, R musí využít teplo bez ohledu na fotoperiodu

V ČR:

asi 80% květeny je na fotoperiodu citlivých

Převážně máme dlouhodobí byliny

U většiny dřevin se fotoperiodismus neuplatňuje

Fotoperioda

= počet hodin světla během 24 hodin

KRITICKÁ (mezní, hraniční) FOTOPERIODA

– vztahuje se k urč. vývojovému procesu, druhu R či ekotypu, odrůdě/varietě

– tehdy, když při jejím překročení dochází k fotoperiodické reakci, tj. dojde k oddálení, nebo urychlení kvetení

Kvalitativní (např. At) – pokud není naplněn požadavek, R nevykvetě nikdy. K naplnění mnohdy stačí 1 fotoperiodický cyklus

Kvantitativní – fotoperioda není zcela limitující, nenaplnění požadavku kvetení pouze oddálí. Tento typ převládá u většiny R

Rostliny krátkodenní, dlouhodenní ..., **ALE rozhoduje DÉLKA TMY**

(čili spíše by se dalo mluvit o R dlouhonočních a krátkonočních)

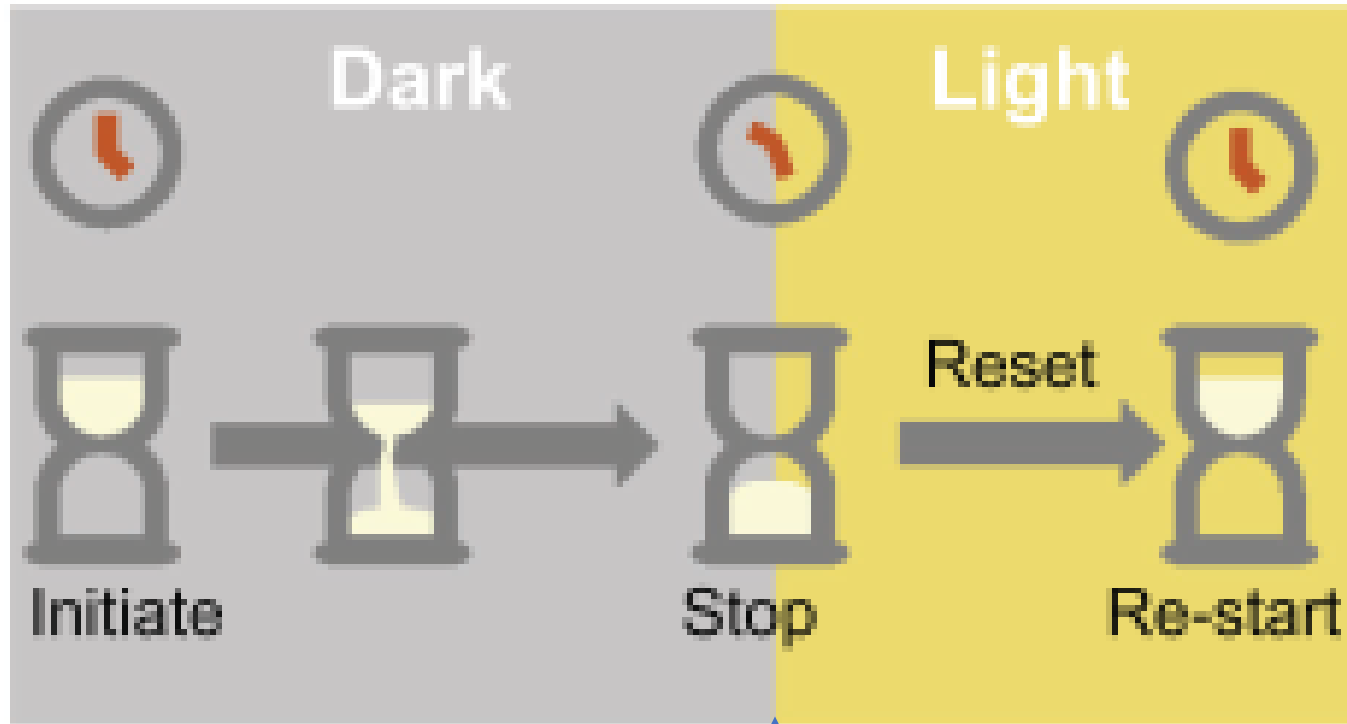
- Je-li přerušena krátkodenní (dlouhonoční) R dlouhá noc krátkým osvětlením, R NEVYKVETE. Její požadavek na dlouhou noc NEBYL splněn
- Je-li přerušena dlouhodenní (krátkonoční) R krátká noc krátkým osvětlením, VYKVETE. Její požadavek na krátkou noc byl splněn.

Významná role **fytochromu**
– model přesýpacích hodin

Významná role **fytochromu**

– model přesýpacích hodin

Hourglass model



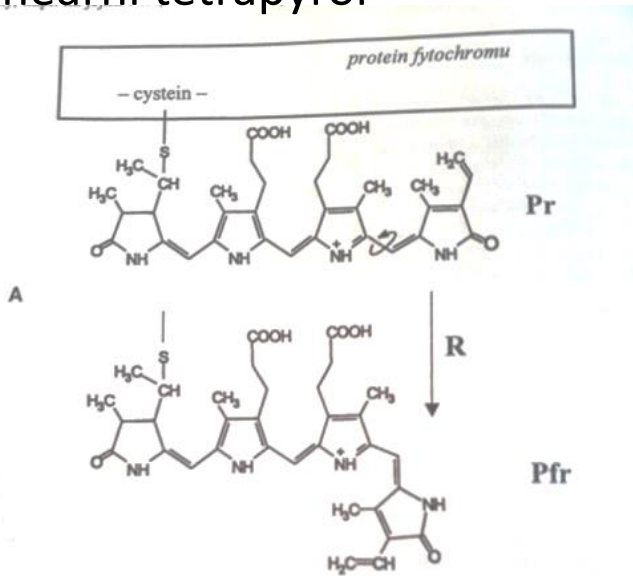
Pfr (aktivní) se revertuje zpátky na Pr

STOP: po kritické době tmy

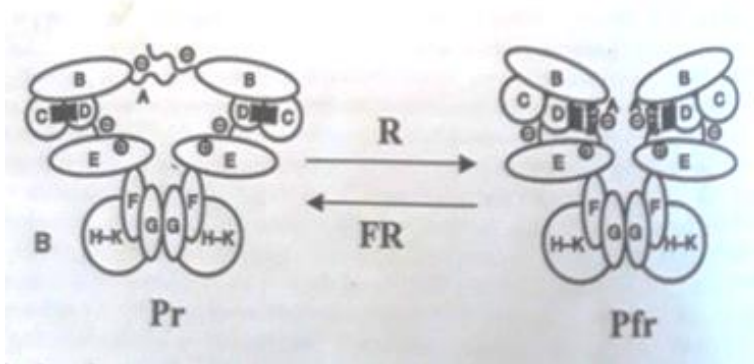
Pr (neaktivní) absorbuje R → Pfr (aktivní)

Fytochromy

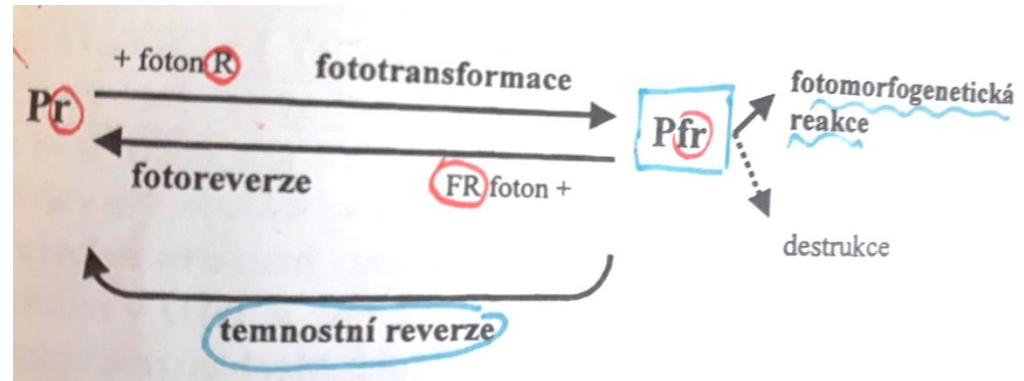
Phy A-E, R, FR; cytosol
lineární tetrapyrrol



změna konformace chromoforu umožní změnu konformace proteinu a jeho kinázovou aktivitu



Kinázová aktivita (autofosforylace)
→ změna lokalizace – do jádra



Pavlová, Fyziologie rostlin, Karolinum 2005

Délka trvání tmy – fytochromy,
u DD se podílí i kryptochrom

Rostliny krátkodenní, dlouhodenní, neutrální

KRÁTKODENNÍ:

chryzantéma (15 h), sója, merlík červený, merlík čilský (*Chenopodium quinoa*), bavlník, konopí, cibule, fialka, vánoční hvězda (10 h), kukuřice, rýže, povijnice nachová, ...
- převážně druhy z tropických a subtropických oblastí, které kvetou časně zjara či na podzim

DLOUHODENNÍ:

Kvetou při dlouhých fotoperiodách či trvalém osvětlení. Krátký den a dlouhá noc jejich kvetení znemožňuje.

Kritická délka dne = 12-16 h

Arabidopsis, salát, blín, ječmen, oves, pšenice, žito, ředkvička, špenát, petunie, ibišek, rozchodník, kopr (11 h), merlík zední, hořčice, tabák (běžné kultivary, NE Marylandský mamut!!!)

NEUTRÁLNÍ:

pelargonie, fuchsie, fazol, rajče, slunečnice, mrkev, okurka, hrách, pampeliška



Chenopodium quinoa



<https://www.arabidopsis.org/portals/education/aboutarabidopsis.jsp>

Arabidopsis thaliana

Marylandský mamut, fotoperioda a fytochrom

MM = jiná odrůda tabáku, která se vyznačuje PRÁVĚ ODLIŠNÝM FOTOPERIODISMEM, čili odpovídá na krátký den, tj. je **krátkodenní** (= dlouhonoční)

Tabák – normálně je dlouhodenní, kvete po splnění požadavku dlouhého dne

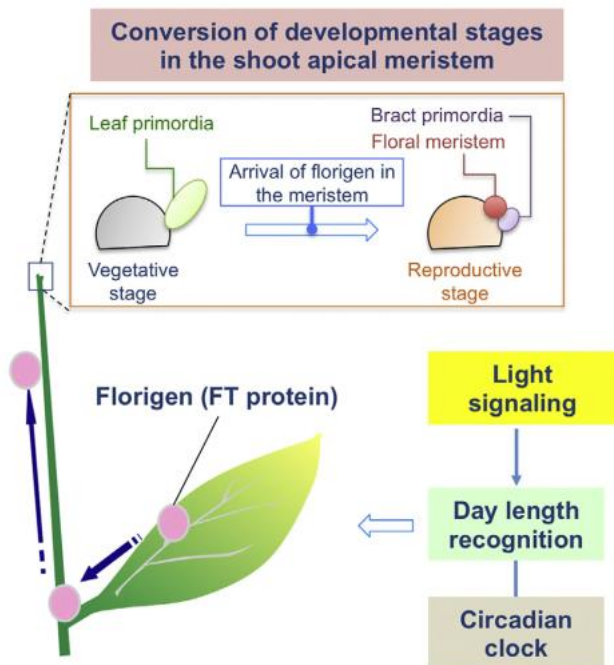
Fotoperiodická květní indukce aneb

Mechanismus vnímání fotoperiody

Délka fotoperiody registrována v **listech** (ve floému, list citlivý jen v urč. fázi vývoje)

Fotoperiodický signál → fotop. květní stimul (FLOWERING LOCUS T [FT] protein) transportován do ostatních částí R

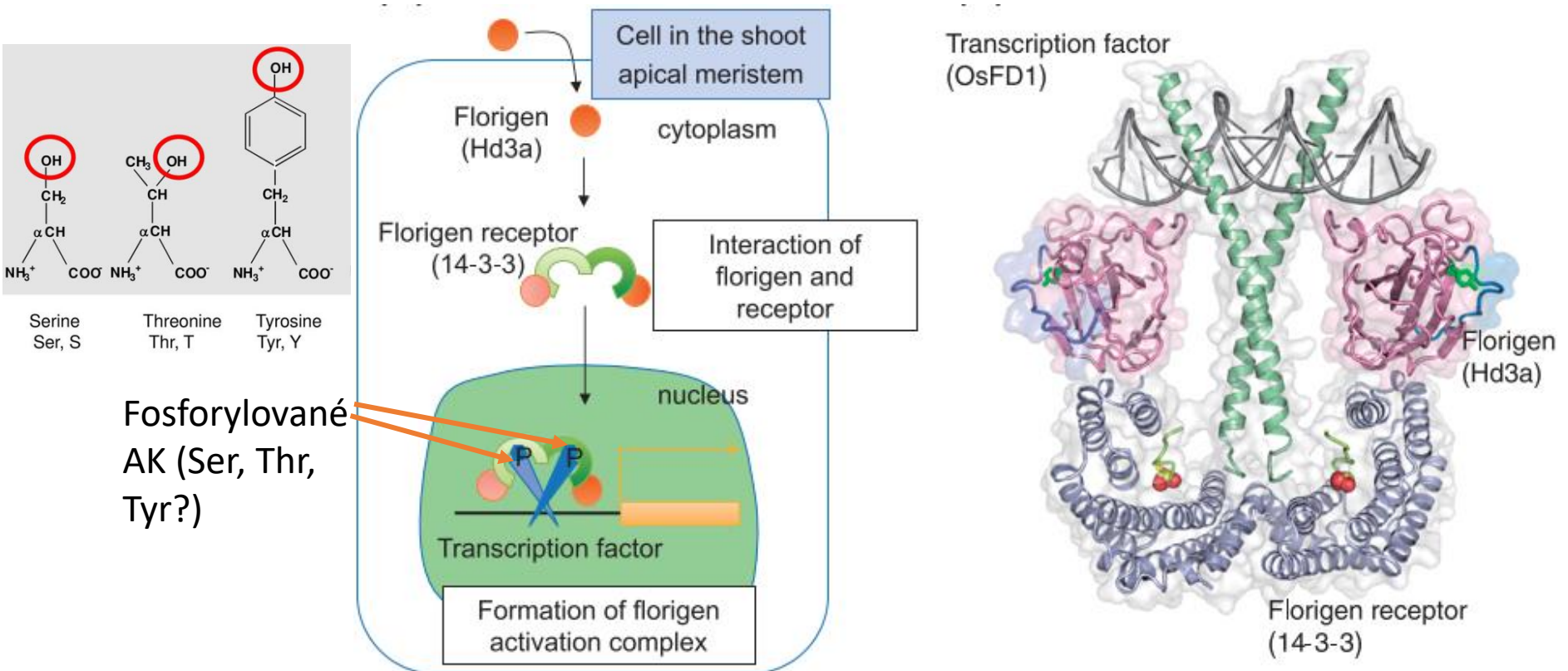
V meristémeh → evokace → tvorba květních částí



Fotoperiodická květní indukce aneb

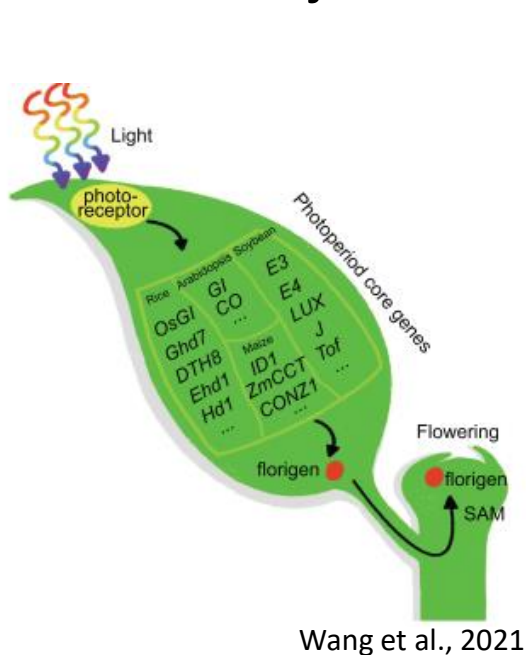
Mechanismus vnímání fotoperiody- schéma FAC

V meristému: FT se váže na 14-3-3 v cytosolu, komplex vstupuje do jádra a interaguje s transkripč. faktorem FD → FAC (florigen activation complex) → indukce genů identifikujících květní meristém (např. AP1)

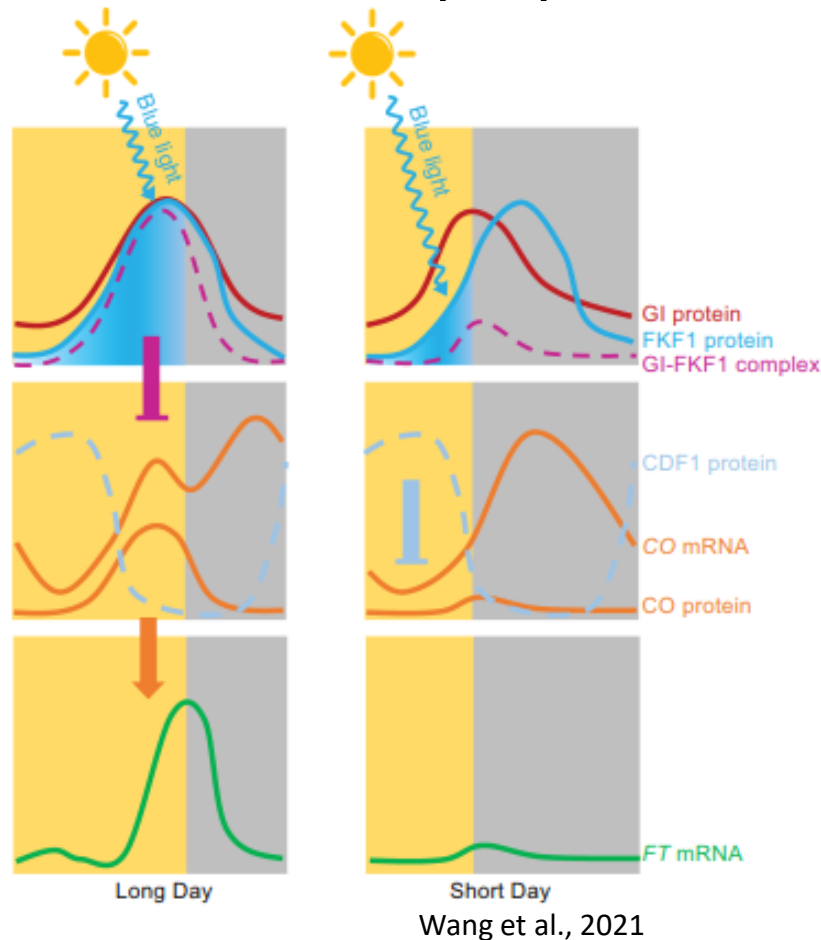


Model koincidence

Fotoperiodická odpověď je aktivována, jen když externí světlo koinciduje s vnitřními cirkadiánními rytmy



At: podílí se gen *CONSTANS (CO)*, fotoreceptor *FKF1 (B)* - degraduje transkripční represor *CDF1*, gen *GIGANTEA (GI)*



– Během LD: exprese *FKF1* a *GI* synchronizována, nejvyšší exprese odpoledne → degradace *CDF1*

– během SD: exprese *GI* a *FKF1* není synchronizována, tvoří se méně komplexu *GI-FKF1*, *CDF1* se hromadí a reprimuje expresi *CO*.

CO – senzor externí koincidence, aktivuje expresi *FT* (*FT* je její downstream target)

Působení světla

Zahradnická praxe a v knize uvedené experimenty (indukce kvetení chryzantém na Den matek místo na dušičky v listopadu):

LFR (low fluence response) – vyvolána krátkým (5-20 min) působením **R** světla o nízkých intenzitách (asi 1% slunečního zář.), **vrátná** – následnou aplikací **FR** (odstraní Pfr předtím, než je signál interpretován). V přírodě se nevyskytuje

V přírodě:

- **HIR** (high irradiance response) = rce na dlouhodobé působení světla
Nerevertovatelná dalším světelným zásahem

- **VLFR** (very low fluence response) = rce na extrémně slabý signál (Pr/Pfr 1 000 000 / 1 až 10 000/1)

Většinou se týká klíčení a deetiolace, např. syntézy světlosběrných komplexů fotosystémů I a II, nejčastěji u plevelů
nevrátná

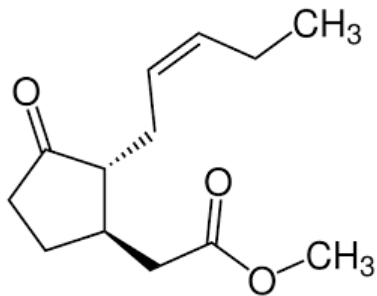
Rostliny a pachy

Vrby vnímají, že sousedku ožírá housenka

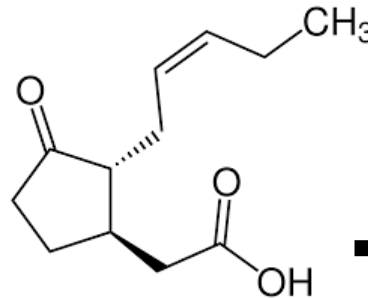


Jak rostlina cítí patogen?

methyljasmonát
(brouci)



Kyselina jasmonová



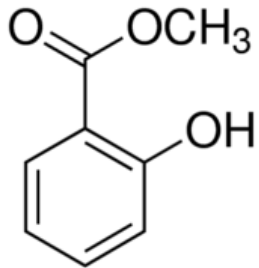
↑ při stresových reakcích,
poranění nebo napadení
patogenem

**stimuluje expresi genů
inhibitorů proteáz**
(x herbivorům + nechutná)

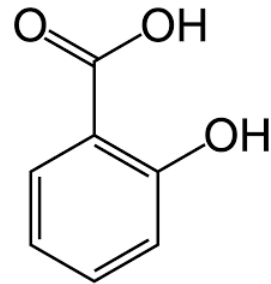
Aplikace: skladování ovoce (aplikace MetJA zvyšuje rezistenci vůči patogenům a chladu)

Jak rostlina cítí patogen?

Těkavé látky ze vzduchu:
methylsalicylát (viry, bakterie)



Tekuté uvnitř rostliny:
Kyselina salicylová

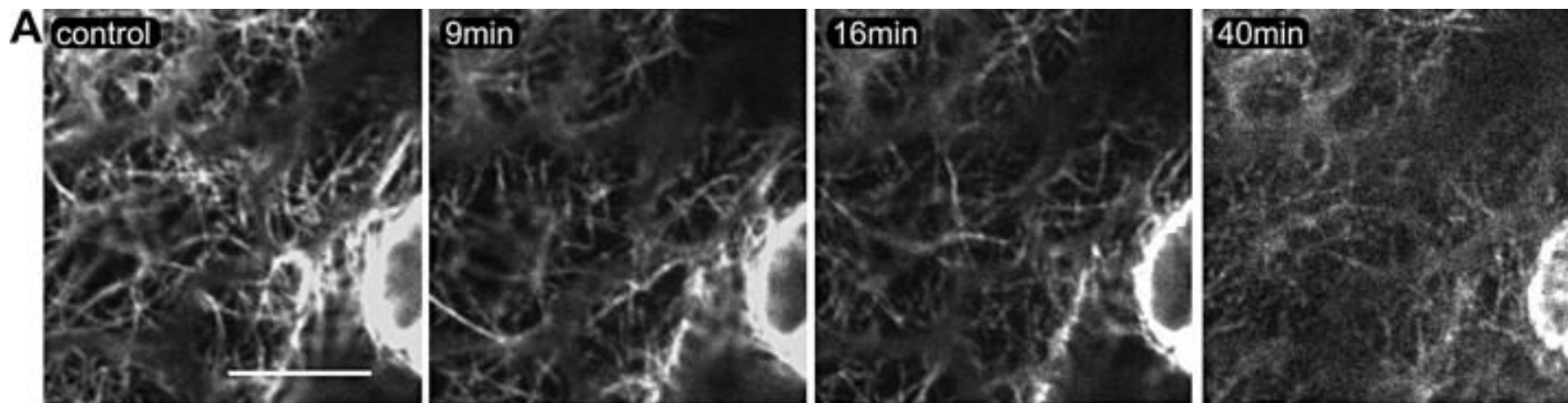
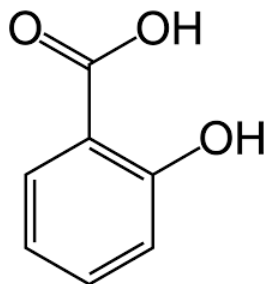


signální kaskáda

role AF

změny v expresi genů

Kyselina salicylová - depolymerace aktinových filament

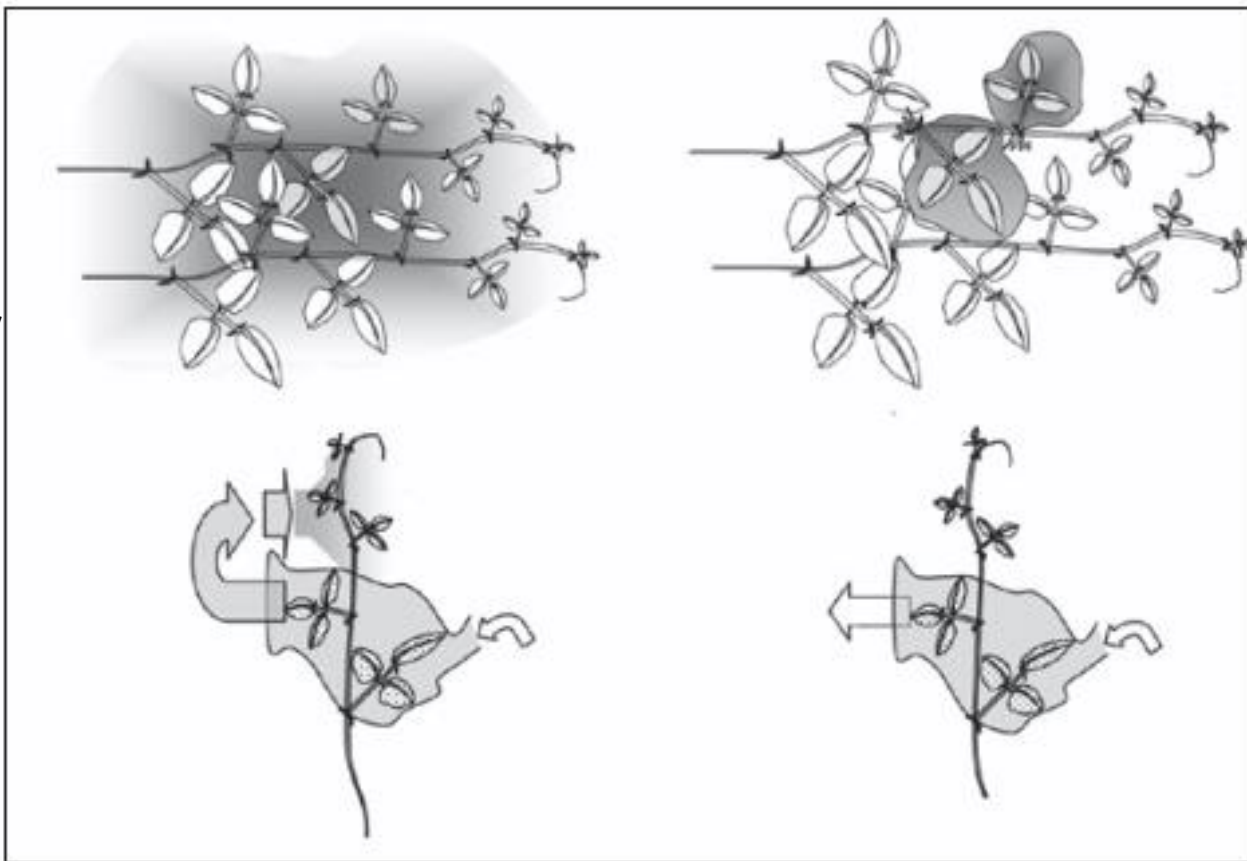


Matoušková *et al.*, 2014

A naopak: poškození AF vyvolá zvýšení hladin SA a signální kaskádu kyseliny salicylové
→ může zvýšit, ale i snížit rezistenci vůči patogenům (dle druhu)

Rostlina brání před okusem sama sebe

Vzduch okolo všech listů na obou šlahounech obsahuje tytéž chemické látky



Napadené listy uzavřeny do igelitového pytlíku – vzduch okolo těchto listů se liší

Vzduch od napadených listů foukán na jiné listy téže lodyhy

Vzduch od napadených listů foukán pryč

Šedě – listy, které napadli brouci

Rostliny a chutě/čich

Parazitismus, alelopatie, hydrotropismus, minerální výživa

Parazitismus

Putrescin – butan-1,4-diamin, * dekarboxylací AK ornitinu a Arg; při hnití masa (dekompozice proteinů) → „mrtvolný jed“

Rafflesia tuan-mudae (holoparazit)

hostitel: *Tetrastigma*



Parazitismus

Asi 1% semenných R

holoparaziti



kokotice (*Cuscuta pentagona*)
Wikipedia; otočka, otáčka, užerka
Na chmelu, lnu



záraza žlutá
(*Orobanche lutea*)

Na konopí, rajčeti,
Fabaceae,
Brassicaceae,
slunečnici, tabáku



podbílek šupinatý (*Lathraea squamaria*), na lísce, olši, topolu

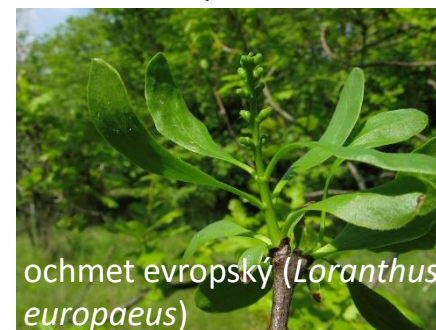
Striga – 28 druhů, na prosu, rýži, čiroku, kukuřici

Holoparaziti – u nás méně časté, získávají asimiláty, H₂O, min. I.

hemiparaziti



jmelí bílé (*Viscum album*)



ochmet evropský (*Loranthus europaeus*)



světlík lékařský (*Euphrasia officinalis*)
© FOTO Petr Kříž



kokrhel větší
(*Rhinanthus serotinus*)



černýš hajní
(*Melampyrum nemorosum*)



všivec krkonošský
(*Pedicularis sudetica*)

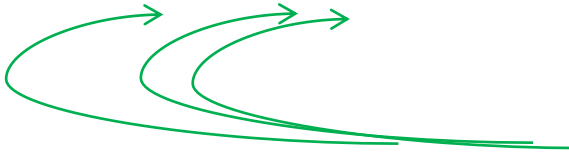
Hemiparaziti – získávají H₂O, min. I.

Kokotice dokáže rozlišit rajče a pšenici a naopak, některé kultivary rajčat poznají kokotici

Buket rajčete: obsahuje
mj. těkavý beta-myrcen



Buket pšenice: obsahuje
také těkavý beta-myrcen,
ale i pro kokotici odporný
Z-(3)-hexenyl acetát



Kokotice na akácii,
Pákistán,
Wiki commons



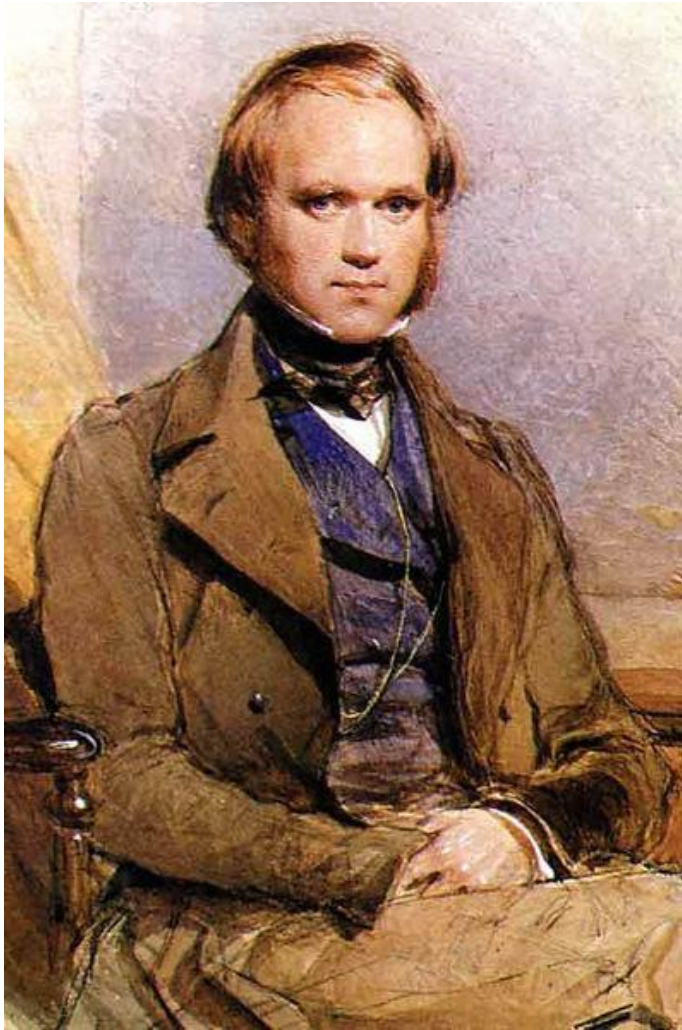
Zdravé rajče

Faktor z kokotice (zřejmě peptid) →
CuR1 (Cuscuta receptor 1) receptor na
odolném rajčeti → produkce ROS a
etylénu

3 odolné kultivary (Heinz :-)) měly více
ligninu

Rostliny a zvuk

Historie bádání nad vnímáním zvuků u rostlin



Darwin hrál rostlinám na fagot

Ch. Darwin v r. 1830, rok před svou pětiletou plavbou na lodi Beagle (Galapágy)

Období nadšené veřejnosti, znechucených vědců a debaty nad pseudovědou

pokusy D. Retallackové aneb (ne)správná vědecká
metoda:

- správné kontroly
- dostatek biologických i technických opakování
- stejně podmínky pokusu
- reproducibilita

Návrat k solidní vědě:

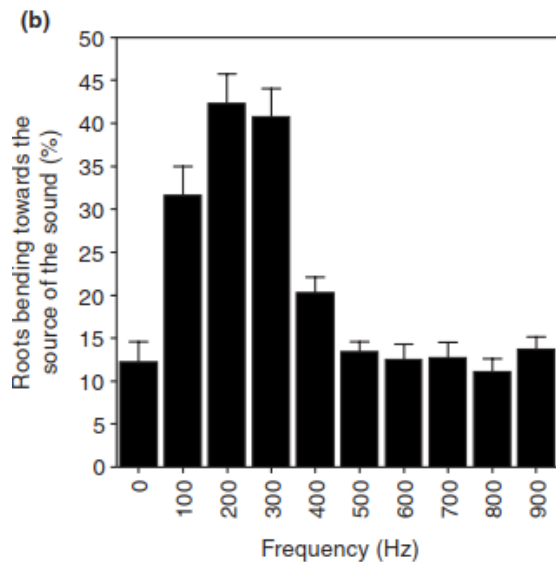
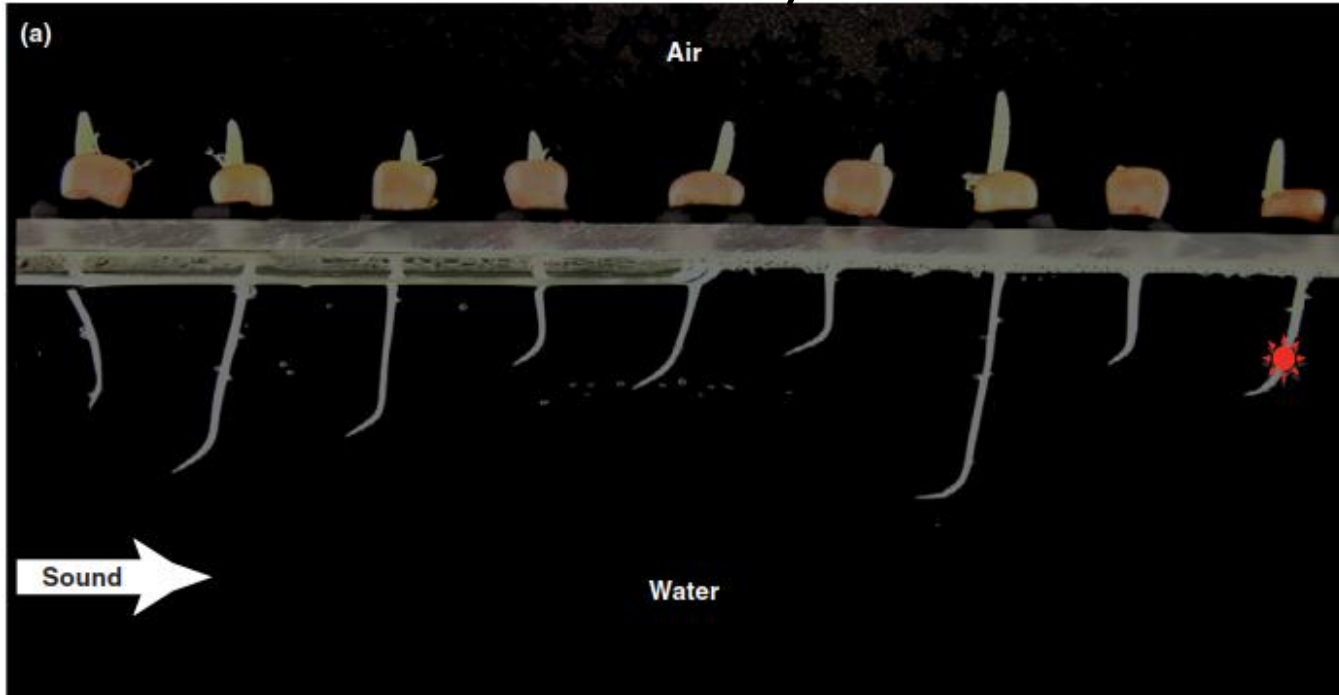
Jaké akustické signály jsou pro rostliny relevantní?

akustické signály = způsobují vibrace v rostlinných pletivech

zvuky vznikající lokálně: přímý kontakt s hmyzem či abiotickým stresorem (hmyz, vítr, déšť)

zvuky nesené na dlouhou vzdálenost: přenos půdou či vzduchem (bzučení hmyzu, tekoucí voda?)

Kořenové špičky se ohýbají za zdrojem zvuku (kontinuálních 220 Hz)



Kukuřice

Kořeny nejvíce odpovídají na frekvence 200-300 Hz, tj. odpověď je **selektivní**

Korunní lístky *Oenothera drummondii* odpovídají vibrací na zvuky opylovačů (lišajů a včel) – buď vnímají zvuk přímo, nebo zesilují signál

- R reaguje pouze na specifickou frekvenci
- RYCHLÁ ODPOVĚĎ - 3 min – sladší nektar
=>(↑ šance na opylení?)

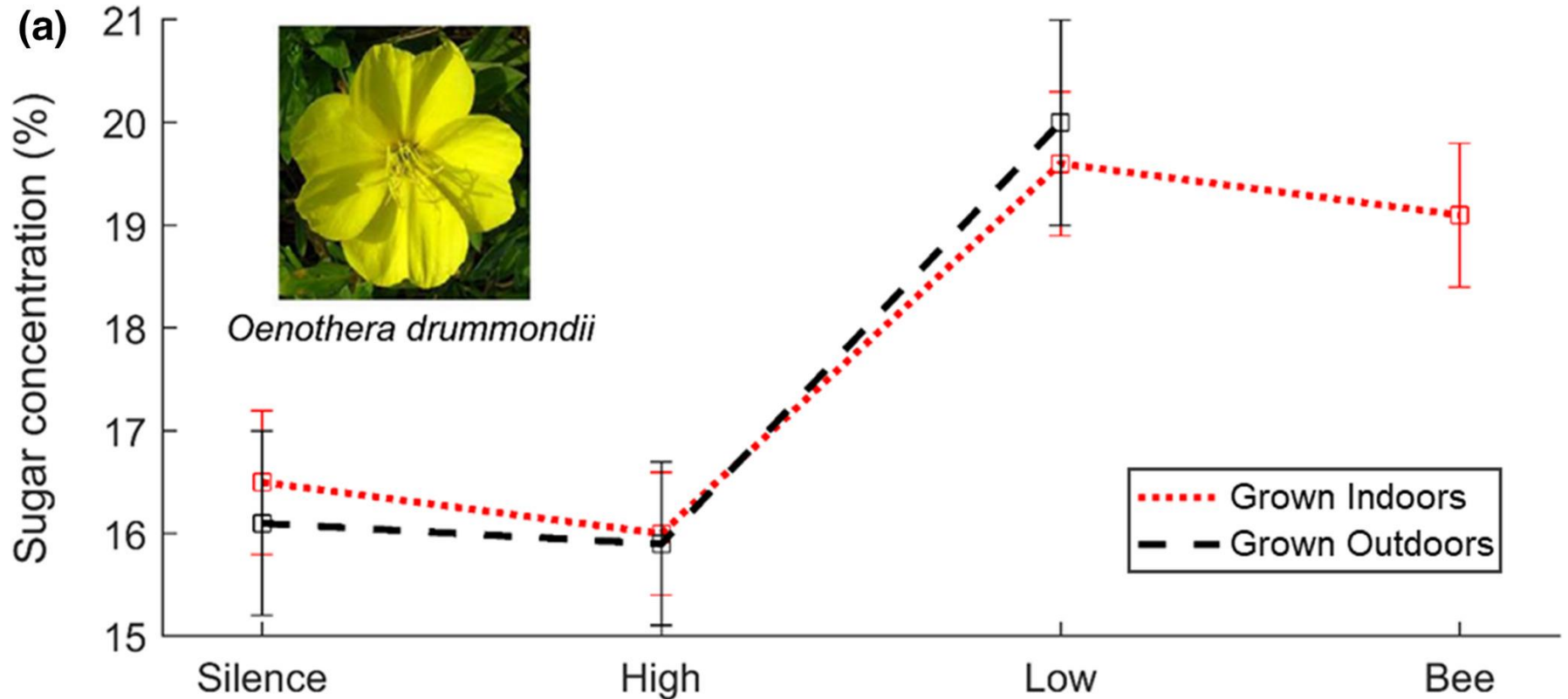


Playback:



2019: Veits et al.: Flowers vibrate mechanically in response to airborne sound of a pollinator.

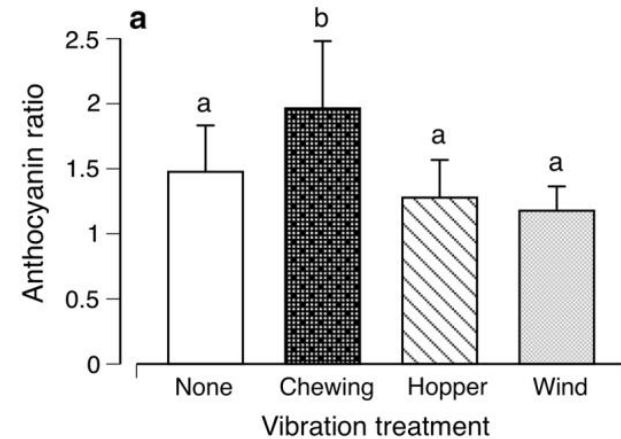
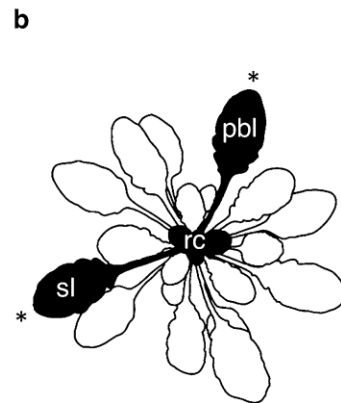
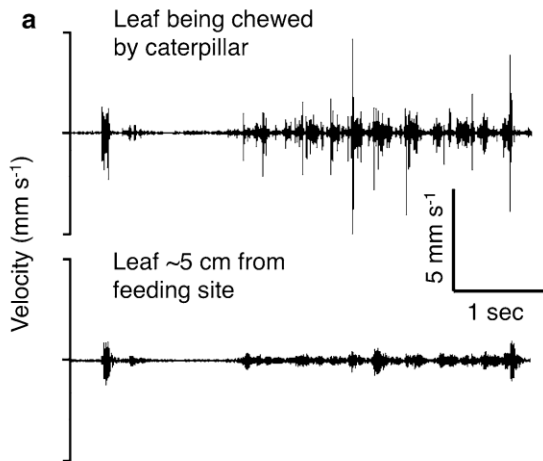
+ zvýšení obsahu cukru v květech (3 min)



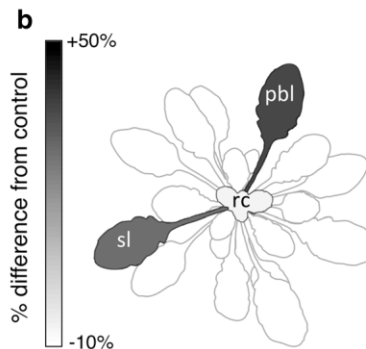
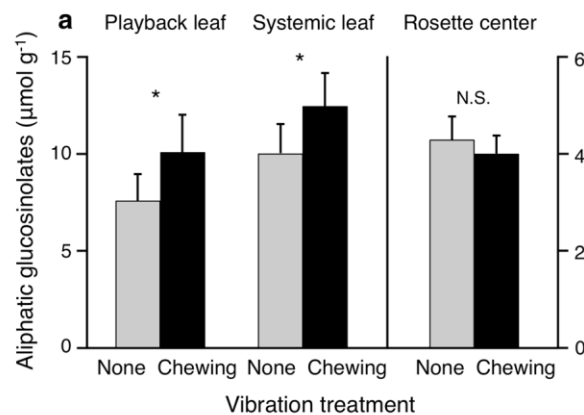
Plants respond to leaf vibrations caused by insect herbivore chewing

H. M. Appel · R. B. Cocroft

Oecologia (2014) 175:1257–1266




playback

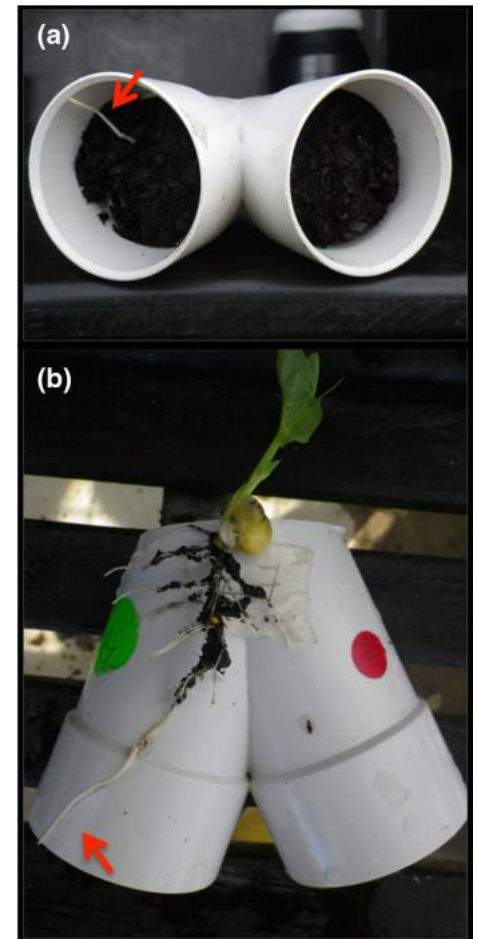
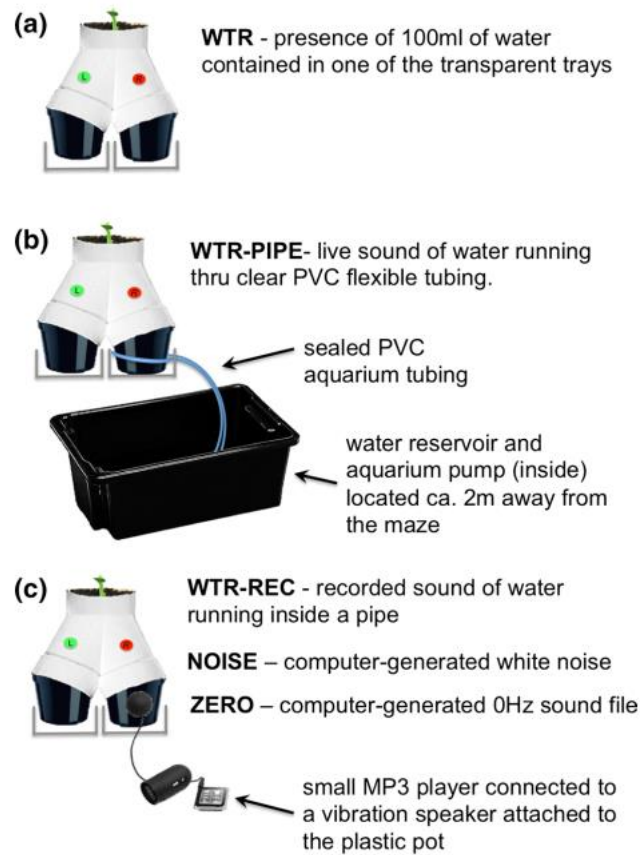
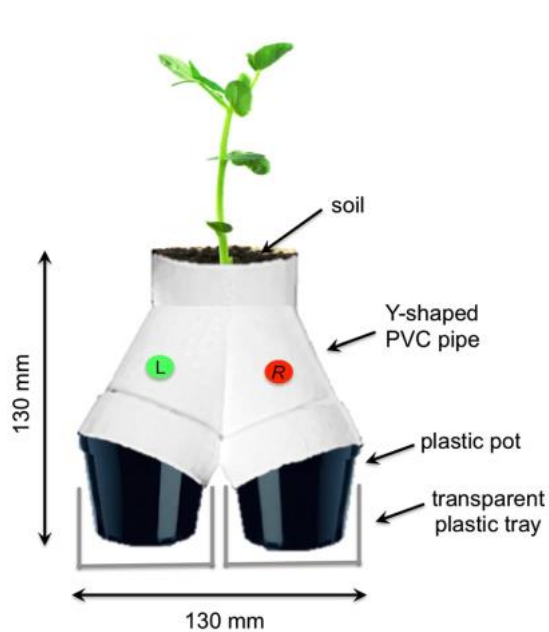


Vibrace žvýkajícího hmyzu zvyšují obsah glukosinolátů a antokyanů při dalším napadení

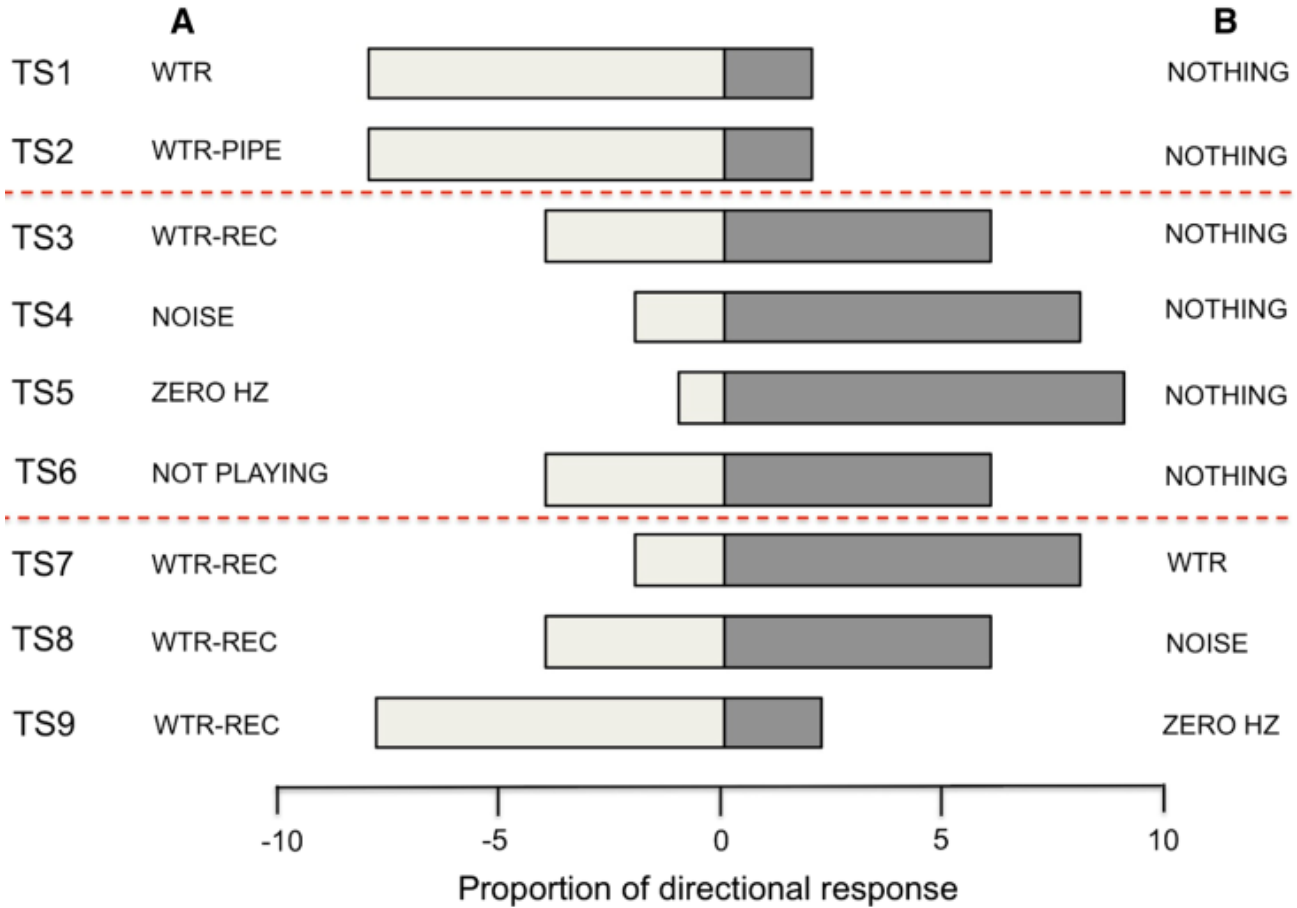
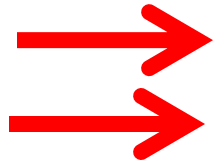
Tuned in: plant roots use sound to locate water

Monica Gagliano¹  · Mavra Grimonprez¹ · Martial Depczynski^{2,3} · Michael Renton⁴

[Oecologia](#) volume 184, pages151–160 (2017)



Výsledky



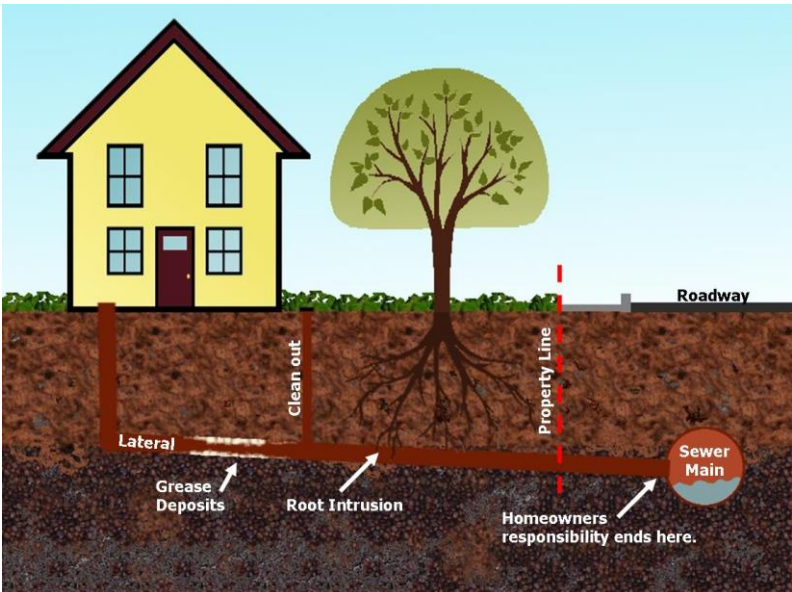
Ekonomické dopady hydrotropismu – škody způsobené kořeny



<https://colvenbackplumbing.com/the-root-of-the-problem-trees-to-avoid-near-sewer-lines/>



<http://www.thinkpipesthinkpvc.com.au/about-us/latest-news/entry/pvc-pipes-resisting-tree-root-intrusion>



https://dpw.lacounty.gov/smd/homeowner/Page_01.cfm

2006-2013 Západní Austrálie: 11,7 mil dolarů
Německo: 28,4 EUR/rok
Los Angeles (1997): 5 000 dolarů/km na odstranění kořenů

Zvuk reguluje IAA a giberelin, \uparrow rozpustné proteiny a cukry (E)



Indukce obranné reakce proti patogenům (aktivace SA, JA)



Indukce tolerance: změny v elasticitě a flexibilitě BS, a tím schopnosti absorbovat H_2O , \downarrow ABA



1. Seed germination & growth promotion

downregulace biosyntézy etylénu a genů účastnících se signalizace



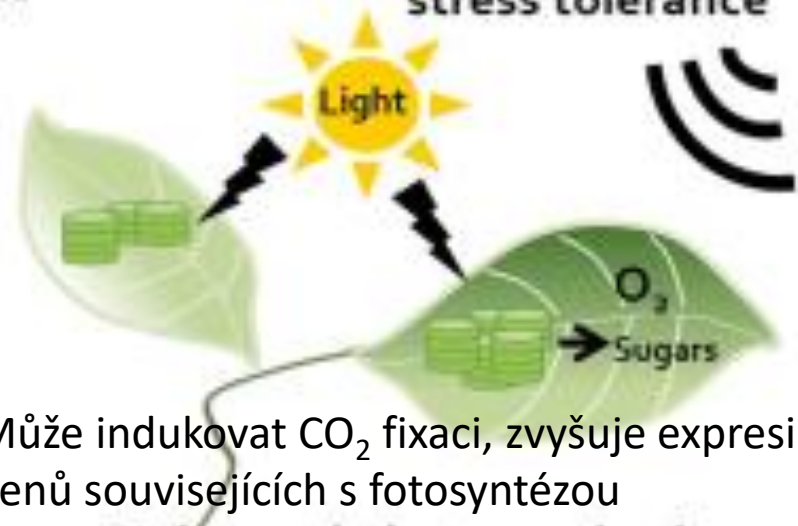
2. Eliciting defence responses

3. Eliciting abiotic stress tolerance

(zvuky – frekv. i db „využitelné k oddálení zrání“ zřejmě druhově specifické)



4. Delayed ripening



Může indukovat CO_2 fixaci, zvyšuje expresi genů souvisejících s fotosyntézou

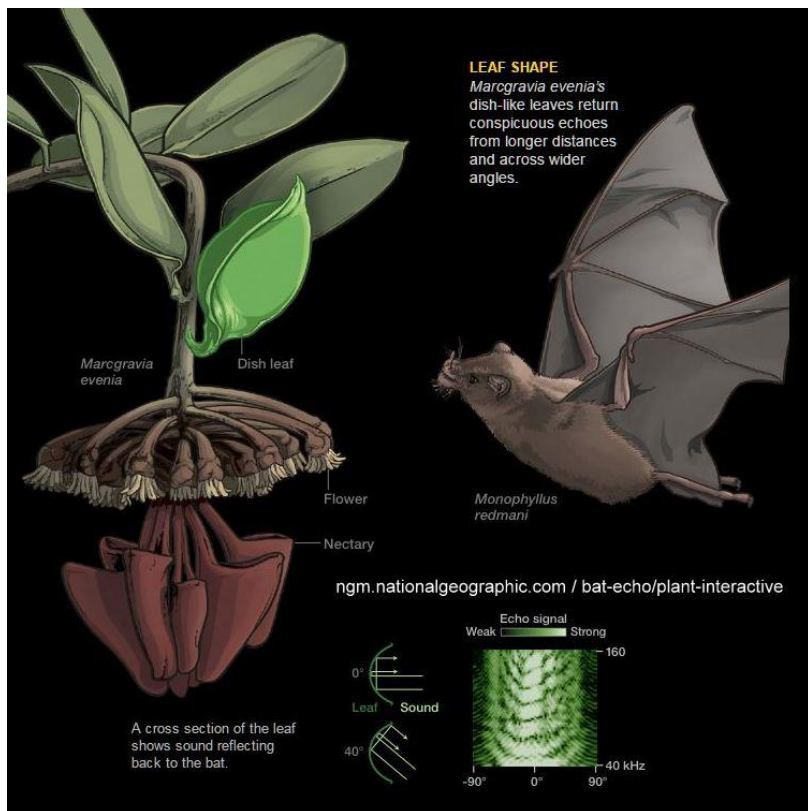
5. Enhanced photosynthesis

Morfologické adaptace ke vnímání zvuku?

Velké lahvovité květy (pupalka) – hmyzí opylovači

Netopýři jako opylovači: struktury na rostlinách, které v různých úhlech odrážejí hlasité ozvěny

Marcgravia evernia

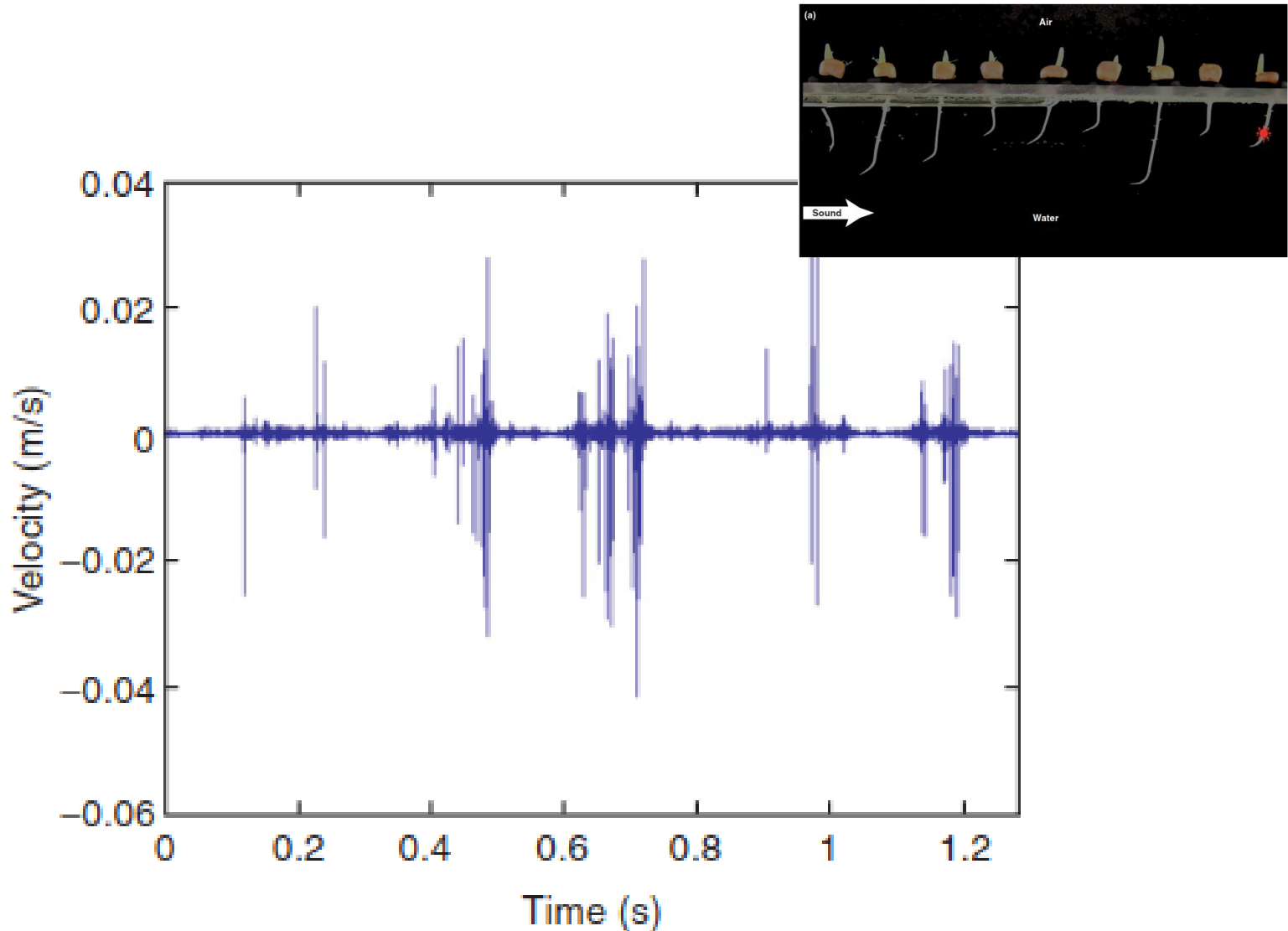


Mucuna haltoni

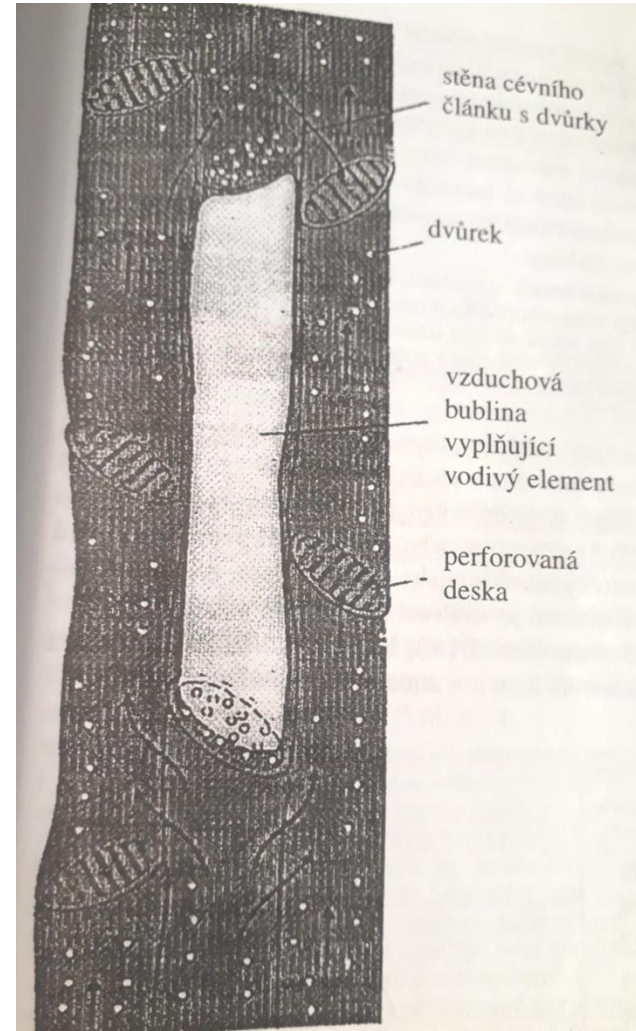
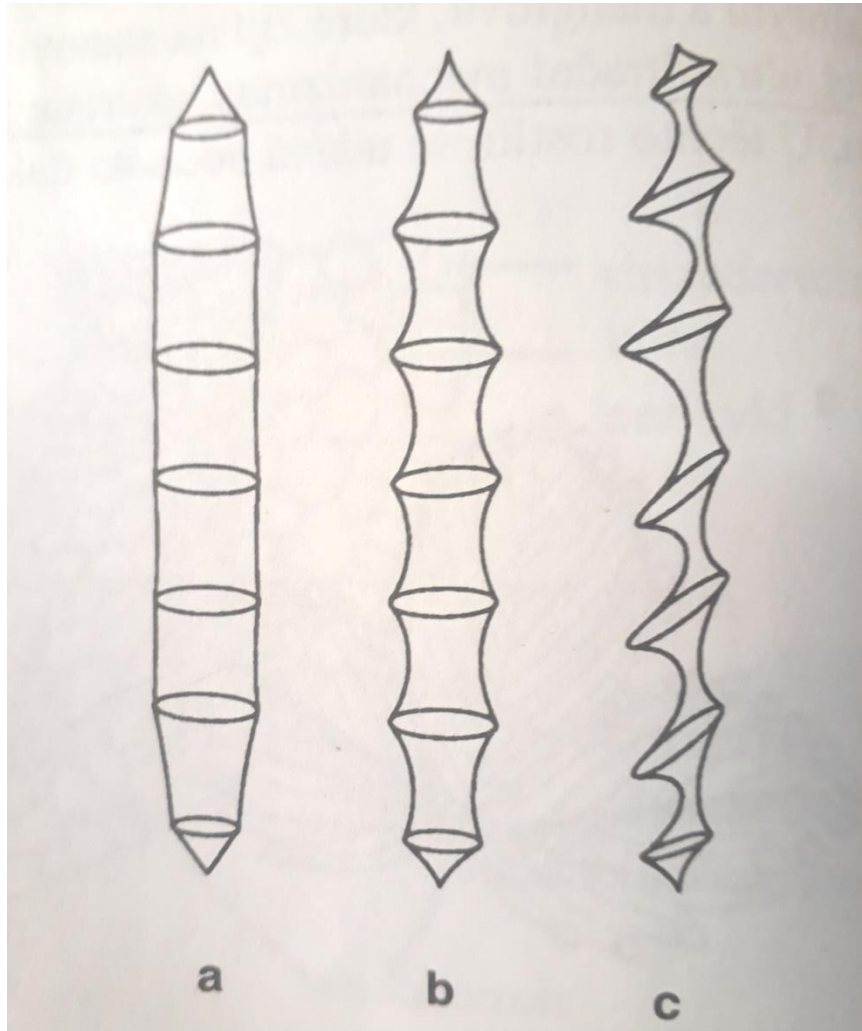


Mladé kořeny kukuřice vydávají vibrace: opakované hlasité cvakání

Měřeno v elongační zóně kořene pomocí laserového Dopplerova vibrometru



Kavitace (vznik bubliny) a embolie (narušení transportu vody) – měřeno přímo na R



Plants emit informative airborne sounds under stress

BioRxiv, prosinec 2019

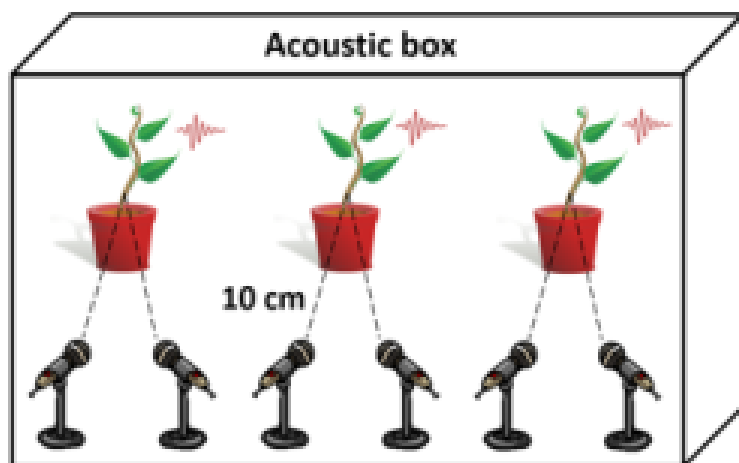
Ultrazvuk (20-150 kHz) zaznamenan v 10 cm od R

Authors:

I. Khait^{1,5}, O. Lewin-Epstein^{1,5}, R. Sharon^{3,1,5}, K., Saban¹, R. Perelman¹, A. Boonman², Y. Yovel^{2,†},

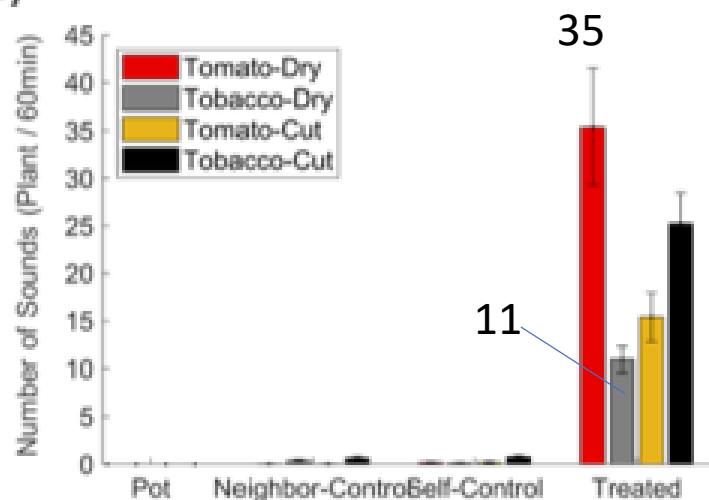
L. Hadany^{1,†,*}

(a)



2 mikrofony – eliminují elektrický šum

(b)



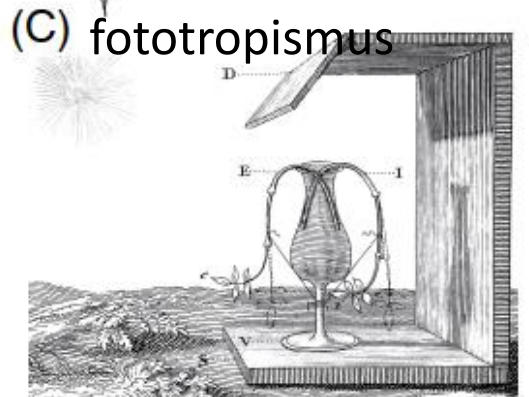
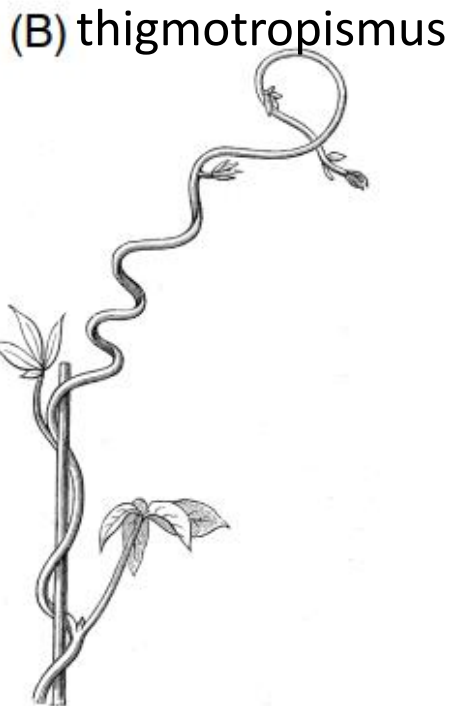
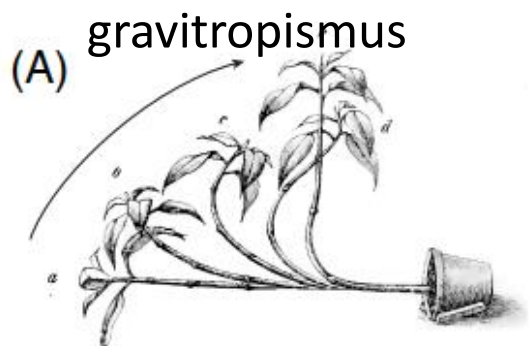
y: Průměrný počet zvuků během 60 min (35, 11)

Kontroly: prázdné květníky, táž R před stresem, sousední R

V čem je to nové? ultrazvuk zaznamenan ze **VZDÁLENOSTI** (10 cm) od R (ekofyziologicky relevantní)

Jak rostlina ví, kde je

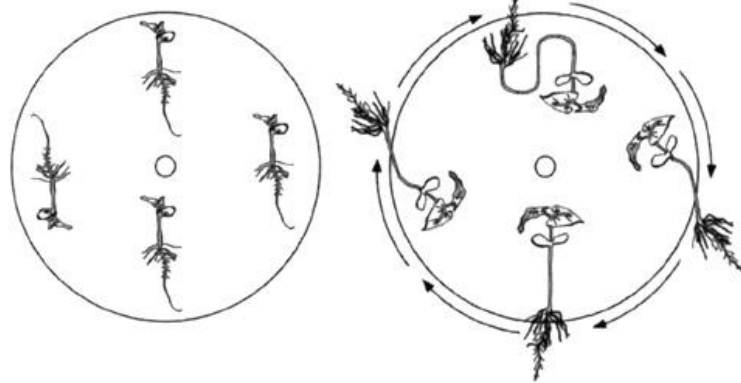
Historie výzkumu tropismů: klasické Bonnetovy a Duhamelovy pokusy (18. stol.)



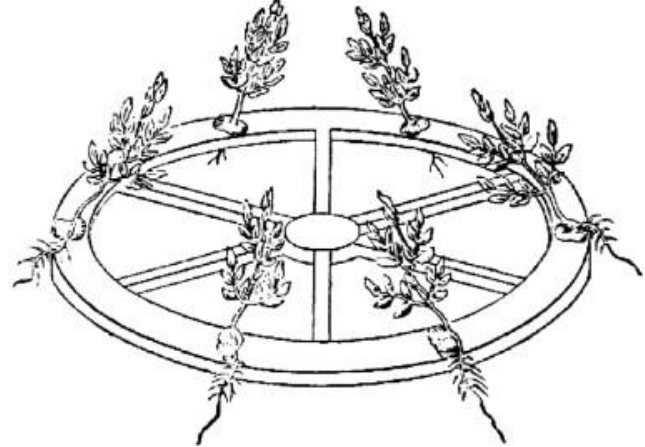
Moulton *et al.*, 2020

Thomas Andrew Knight – 1806

Vertikální poloha 150 otáček/min

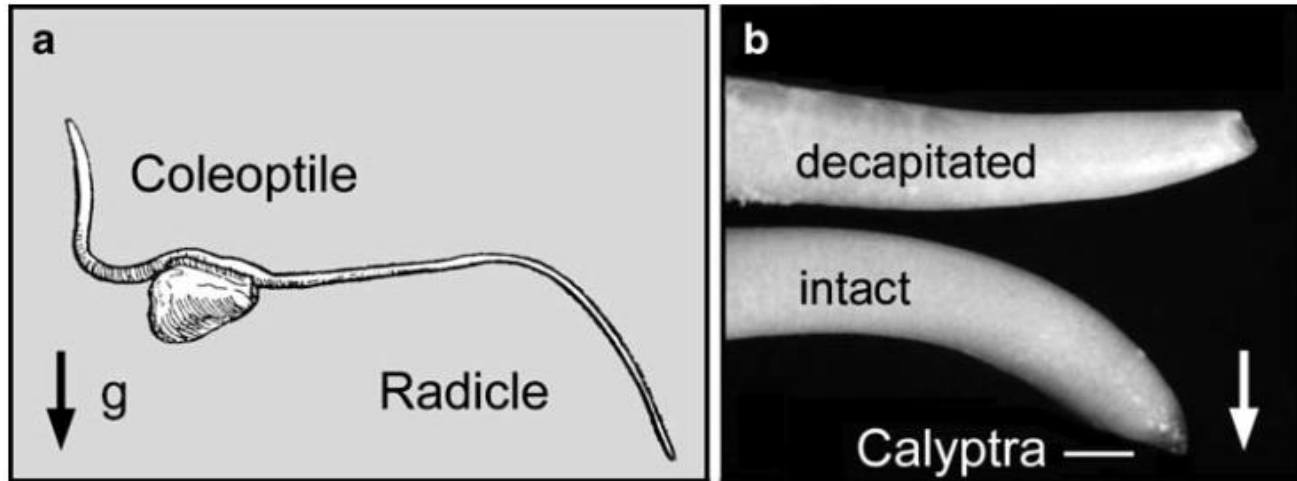


Horizontální poloha, pomalejší otáčení



Růst kořenů v úhlu 45° – výsledek působení odstředivé síly a gravitace

Darwinovy pokusy s gravitropismem



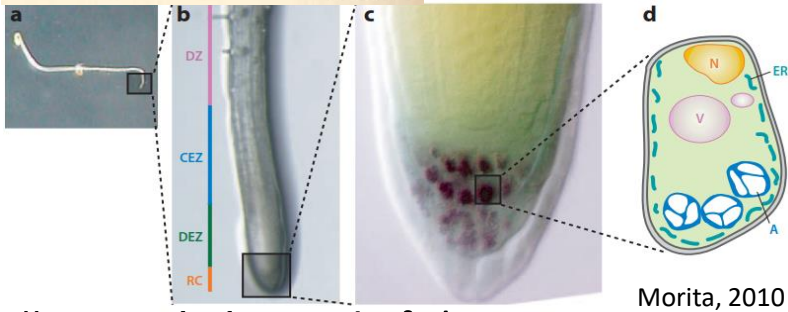
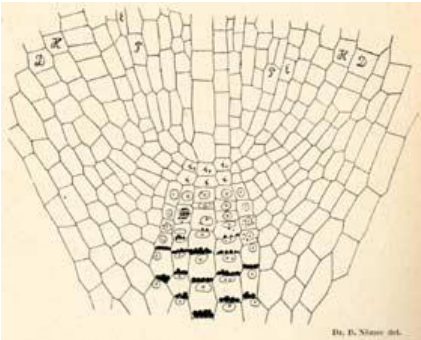
Vicia faba, Pisum sativum, Zea mays etc.

Ch. Darwin, *The Power of Movements in Plants*, 11. vydání, 2004

Mechanismus gravitropismu

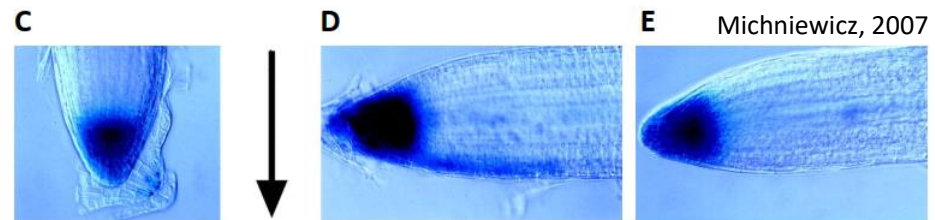
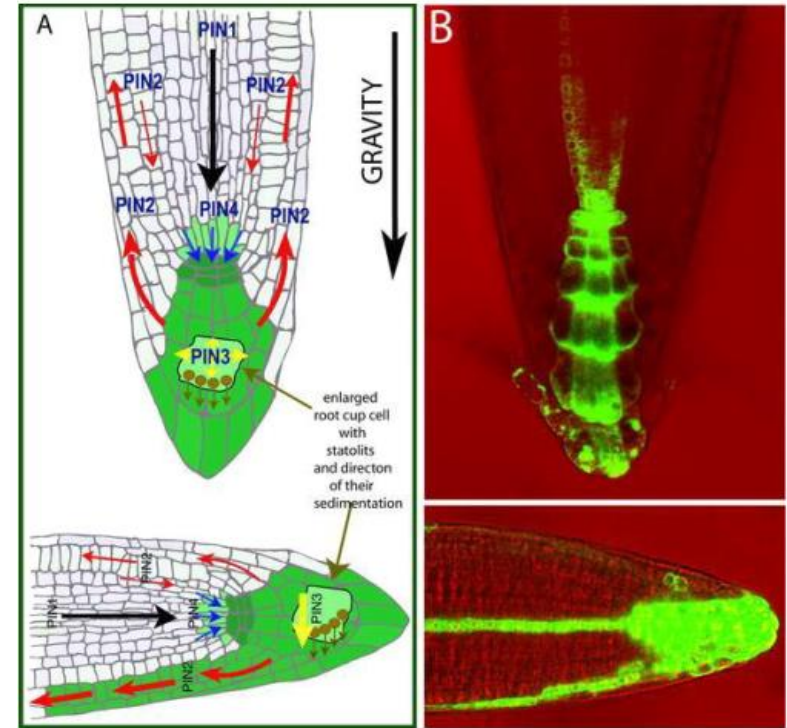
Bohumil Němec (1873 – 1966)
1900 statocyty se statolity
(amyloplasty)

Úloha auxinu a jeho přenašečů – hlavně PIN3
PINs = efflux carriers



Přesouvání statolitů (mutanty s menšími amyloplasty – menší míra přesunu, menší vliv na změnu transportu auxinu a menší ohýbání)

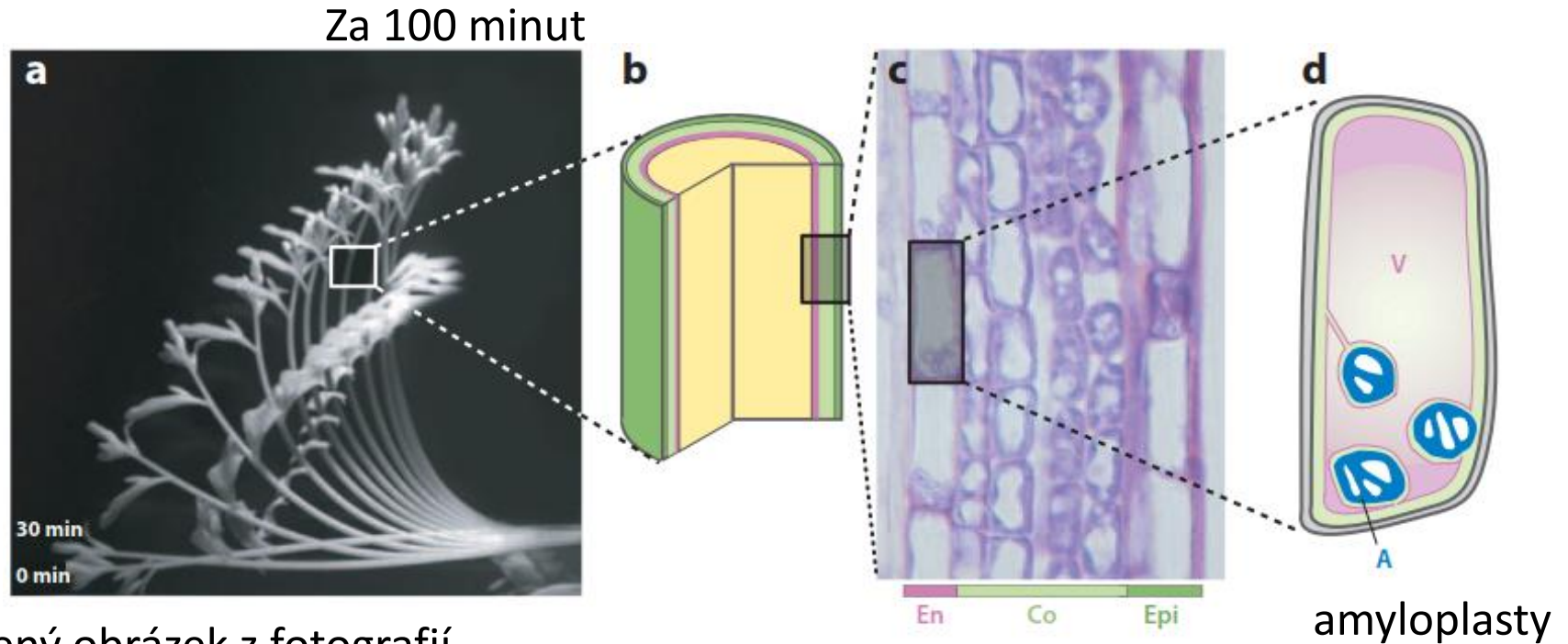
Záhadná signalizace – role ER, AF, mechanosenzorů (již Darwin – dotyky radikuly)?



Rashotte et al., 2007

Kořen a stonek – specifické vnímání gravitace – odlišné místo

Stonek – statocyty = buňky endodermis



Složený obrázek z fotografií pořizovaných každých 10 min (1. po 30 min po gravistimulaci)

Pharbitis nil - povíjnice



shutterstock.com · 1509975452



Rockriver, flickr



Cirkumnutace

=pohyb v opakovaných spirálách

- Liší se u jednotlivých druhů
- Způsobená gravitací či vrozená?

Je zřejmě nezávislá na gravitaci, ale její mechanismus zahrnuje vnímání gravitace

Jak se na to přišlo?

Ve vesmíru !!!

Cirkumnutace hypokotylů u slunečnice na oběžné dráze **Circumnutations of Sunflower Hypocotyls in Satellite Orbit¹**

Allan H. Brown*, David K. Chapman, Robert F. Lewis, and Allen L. Venditti²

*Gravitational Plant Physiology Laboratory of the University City Science Center and Biology Department,
University of Pennsylvania, Philadelphia, Pennsylvania 19104-6017*

B

Circumnutation In μg



Typický pohyb – sledovali celkem
13 rostlin

Cirkumnutace, aspoň u slunečnice, stále
probíhá

JENŽE!

vyklíčila na Zemi

Rostliny, které vyklíčily ve vesmíru, mají
méně výrazné nutace, ty však zesílí po
působení gravitace

Závěr:

Gravitace není pro nutace nutná, ale
zesiluje je

Co dalšího se u rostlin zkoumá ve vesmíru a v podmínkách, které vesmír simulují?

Rostliny: zdroj kyslíku a jídla

zmírnění psychických dopadů u letů s lidskou posádkou (na Mars)

Veggie – saláty na ISS (mizuno, červený římský a tokijská kapusta)



3 pokusy (ve dvou misích): Veg-01A, VEG-01B, VEG-03A

- LED osvětlení, 7,2 kg, 53x40x45 cm
- sklizeň 33.den, u VEG-03A 33. den a poté 3x po týdnu
- polštářky se semeny a speciální tampony pro zásobení vodou a pomalé uvolňování hnojiva
- Stanoveny mikroorganismy – nižší počty než na Zemi
- a hladiny živin (K, Fe, P, S, Zn) – 1. 2 pokusy -nepatrné změny v hladinách prvků, 3. pokus – signifikantně nižší hladiny K a Fe, ale vyšší u P, S, Zn (dáno zřejmě stresem pro R ve vesmíru)

Výzkum NASA: **bioregenerativní moduly** – napodobují interakce mezi mikroorganismy, R a Ž

= podpůrné prostředky k životu ve vesmíru

(odpad = zdroj pro 2. kategorii)

rostliny hrají podstatnou úlohu (CO_2 , O_2 , čištění H_2O transpirací)

Studium gravitačních změn u R (díky ESA):

Drop tower - Brémy



146 m věž, pokusy s volným pádem
(5 s, napodobuje stav beztíže)



Supercentrifuga – Noordwijk,
gravitace jako na Jupiteru (2,5 g,
experimenty s až 100 kg)

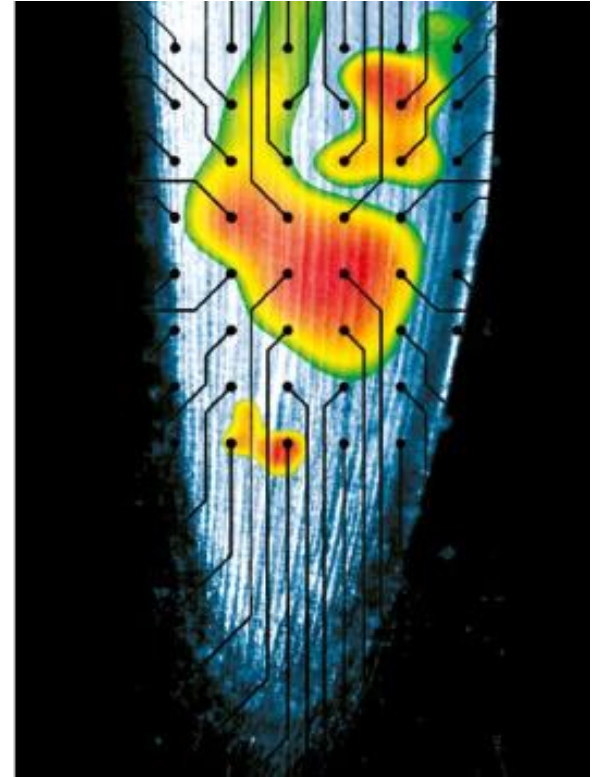


sounding rockets – Kiruna, rakety,
45 min beztíže

Parabolické lety a výsledky u R

Airbus A300 ZeroG, 3 dny, 3 lety, 30 parabol/let, Bordeaux

V kořenové špičce kukuřice – vzniká akční potenciál již 1,5 s po vystavení stavu beztíže



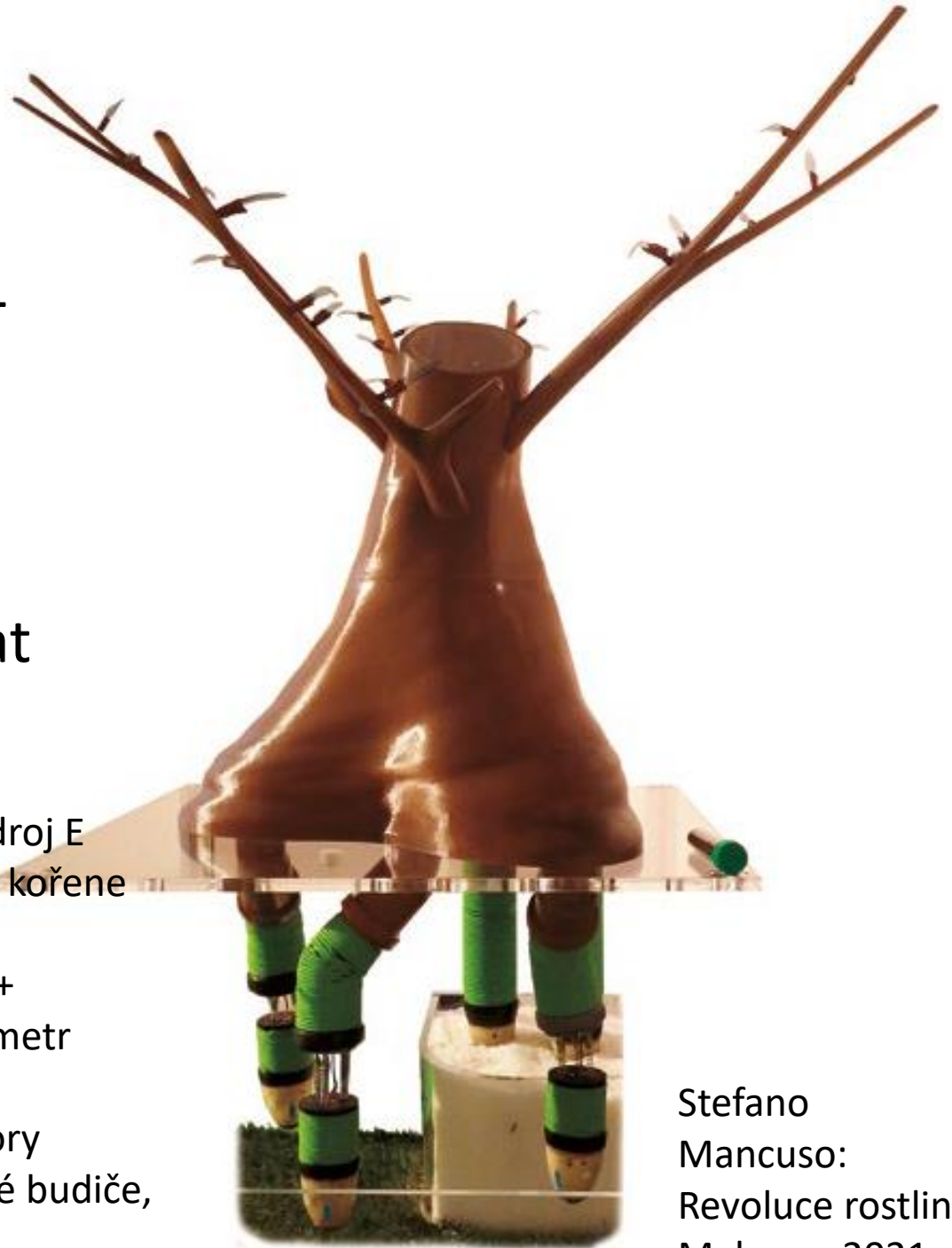
Změny ve vesmíru v delším časovém horizontu:

- Anomálie na chromozomech
- Změny buněčného cyklu

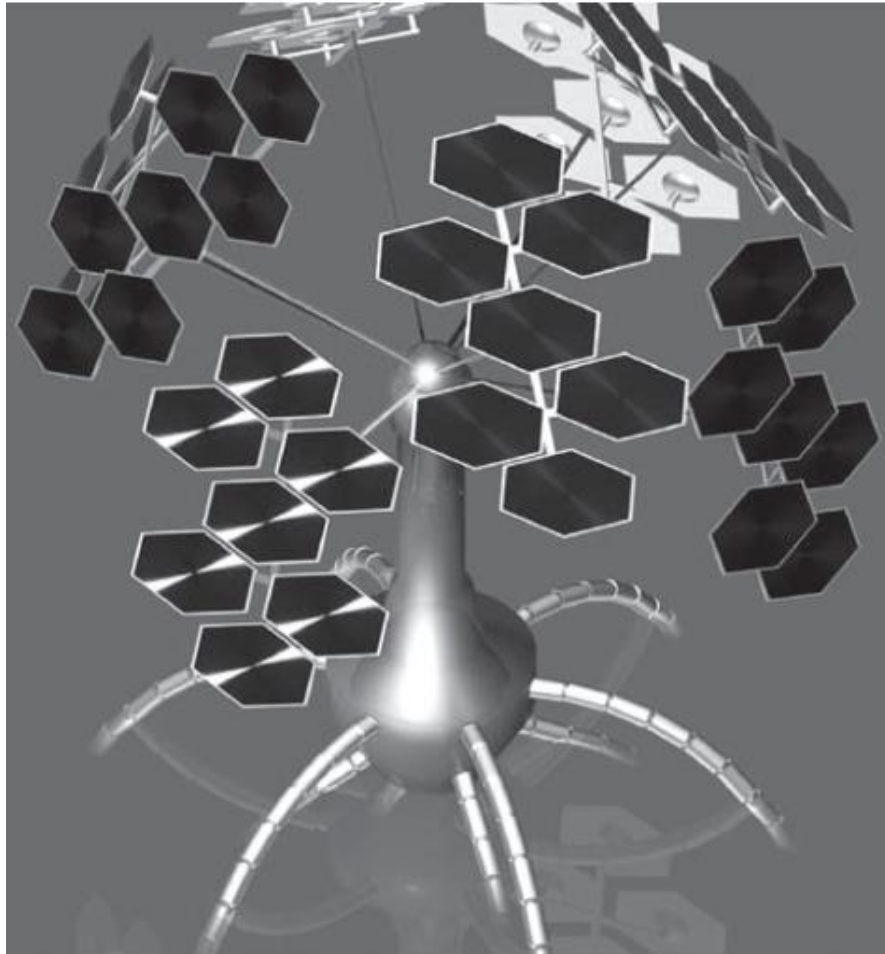
Stefano Mancuso:
Revoluce rostlin,
Malvern, 2021

Rostlinné smysly v praxi:
první prototyp plantoidu
postavený v rámci
evropského projektu FET
(Future and Emerging
Technologies), jehož
kořenové špičky se
dovedou v půdě rozrůstat

- cca 10-15 cm
- větší počet - na Mars
- Místo listů fotovoltaické články – zdroj E
- Technická výzva: napodobení růstu kořene (buněčné dělení – meristém - a prodlužování – prodlužovací zóna) + napodobení signalizace – akcelerometr (gravitace), senzor vlhkosti (hydrotropismus?), chemické senzory (obdoba „transportérů“), osmotické budiče, mikrokontrolor



Stefano
Mancuso:
Revoluce rostlin,
Malvern, 2021



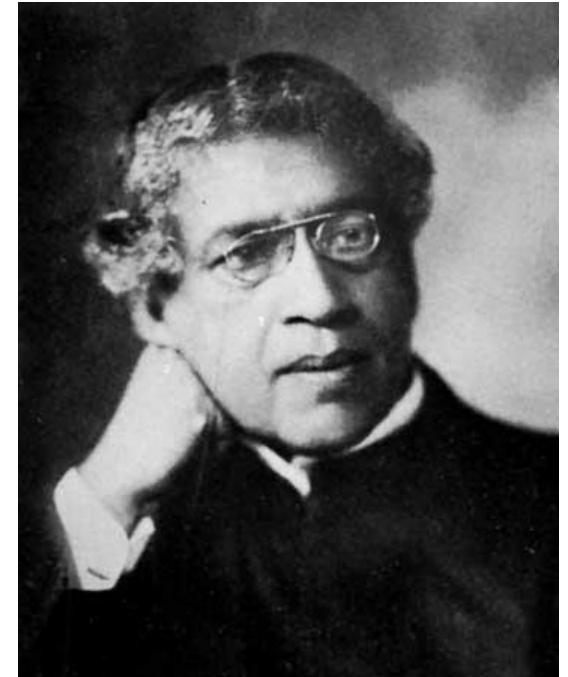
Co si rostlina pamatuje

Sir Jagadish Chandra Bose (1857 – 1937)

poprvé navrhl, že rostliny se umějí učit a pamatovat si

Mimo to:

dotyk vyvolává u citlivky elektrický AP – šíří se R – sklopení listů



knihy:

Response in the Living and Non-Living (1902) a *The Nervous Mechanism of Plants* (1926)

Úponky hrachu si pamatují dotyk

1977: Mark Jaffe, Science

- U R rostoucích na světle: mnutí abaxiální strany vede k rychlému stáčení úponku.
- Pokud jsou úponky 3 dny ve tmě, následné mnutí ke stáčení NEVEDE, dokud nejsou osvětleny („paměť“?).
- Mnutí při 25°C → na 1 h do 5°C → 25°C → stočí se („paměť“?)
- Mnutí a 25°C → stáčení
- Mnutí a 5°C → nic se neděje
- Po stimulaci mnutím mohou být až 2 h ve tmě, přesto se po osvitu hned zkroutí.



adaxiální
(spodní strana
listu)

abaxiální
(svrchní strana
listu)

→ Vystala otázka, jak přesně R uchovávají paměť

?

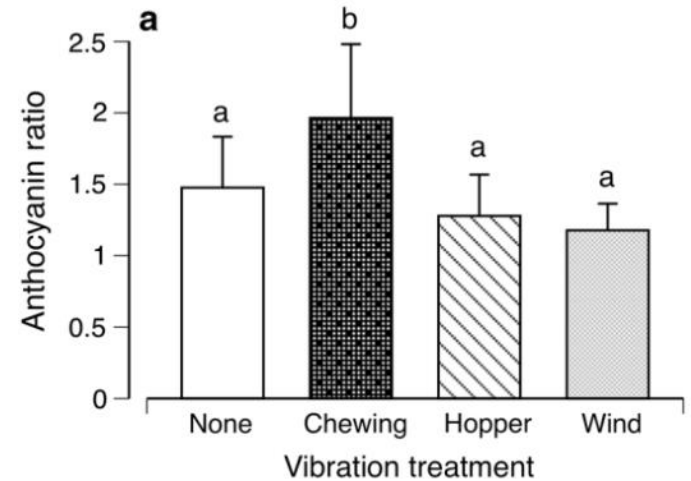
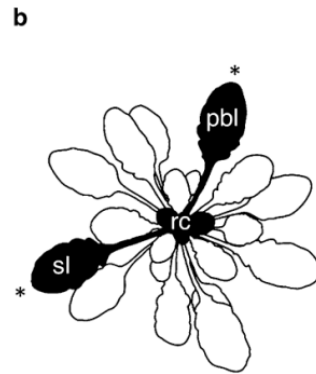
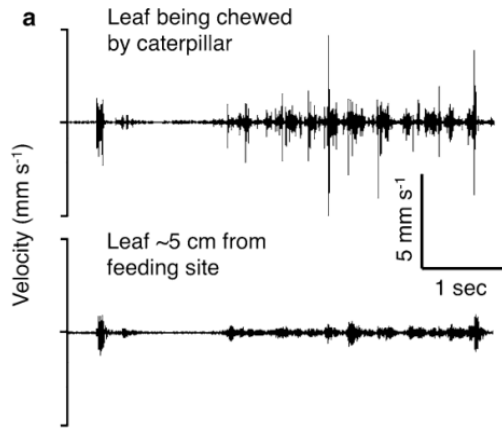
Je možno považovat zvýšení obsahu antokyanů a glukosinolátů při napadení housenkou po předchozím působení zvukových vibrací též za paměť?

(také se zde uplatňuje udržení informace a její pozdější vyvolání)

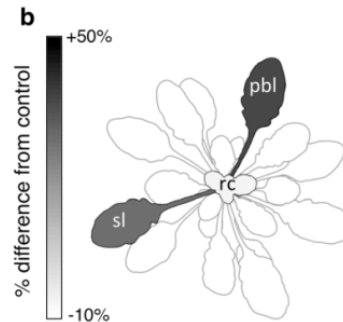
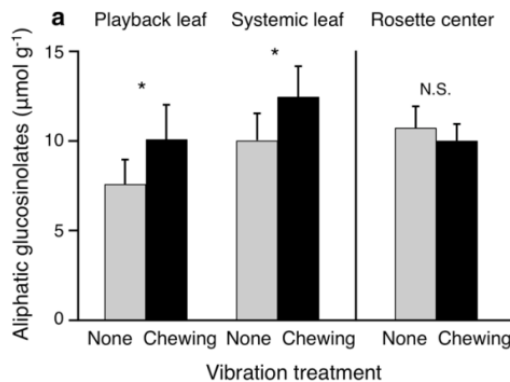
Plants respond to leaf vibrations caused by insect herbivore chewing

H. M. Appel · R. B. Cocroft

Oecologia (2014) 175:1257–1266



playback

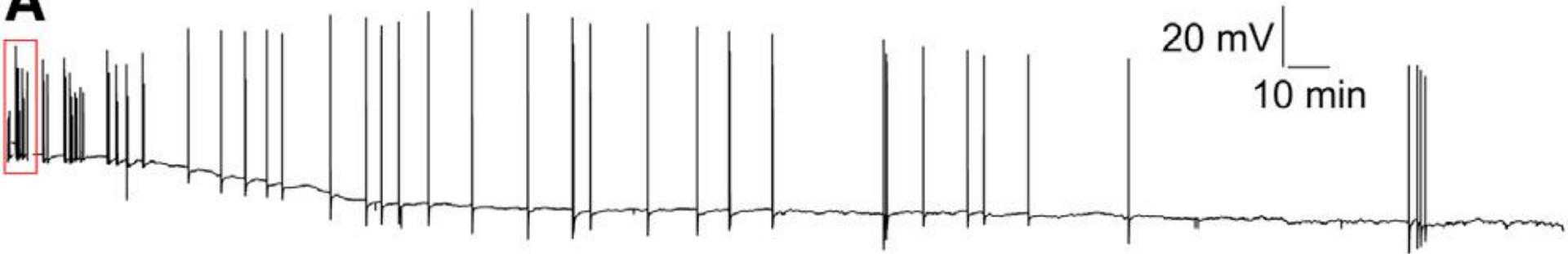


Vibrace žvýkajícího hmyzu (specifického herbivora) zvyšují obsah glukosinolátů a antokyanů při dalším napadení

Mucholapka podivná (*Dionaea muscipula*)

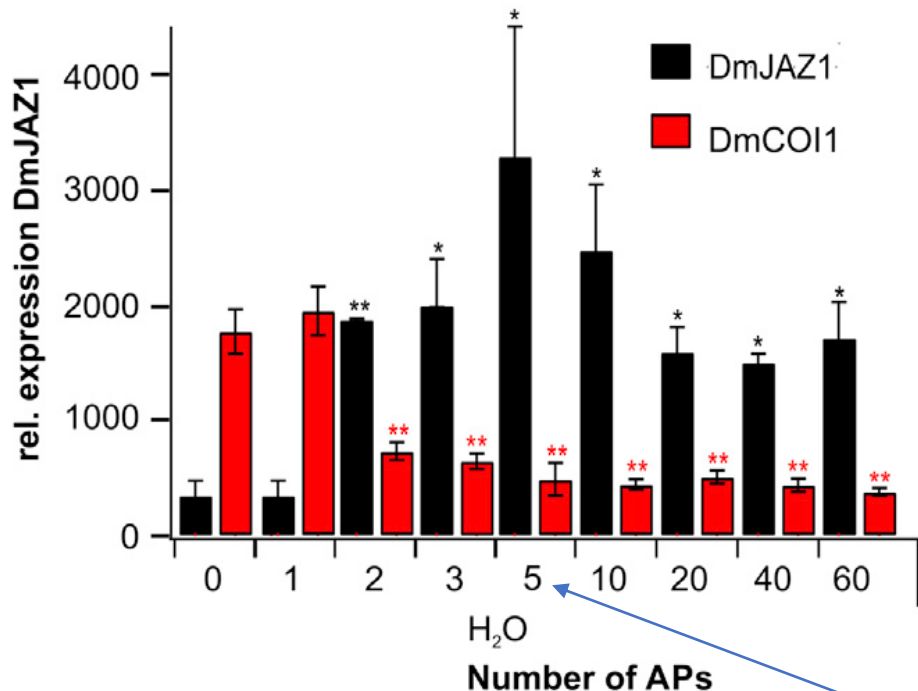
Cvrček (~24 mg) v pasti: ne dva, ale 63 ± 13 AP během 1. hodiny (>100 AP během 6 h)

A



Böhm *et al.*, 2016

...pozorování mucholapky naznačuje, **kolik** podnětů si R „pamatuje“ (5)



Dle autorů „počítá mucholapka do 5“ (transkripce JAZ1 a hydroláz, které štěpí potravu, je závislá na počtu mechanických stimulů)

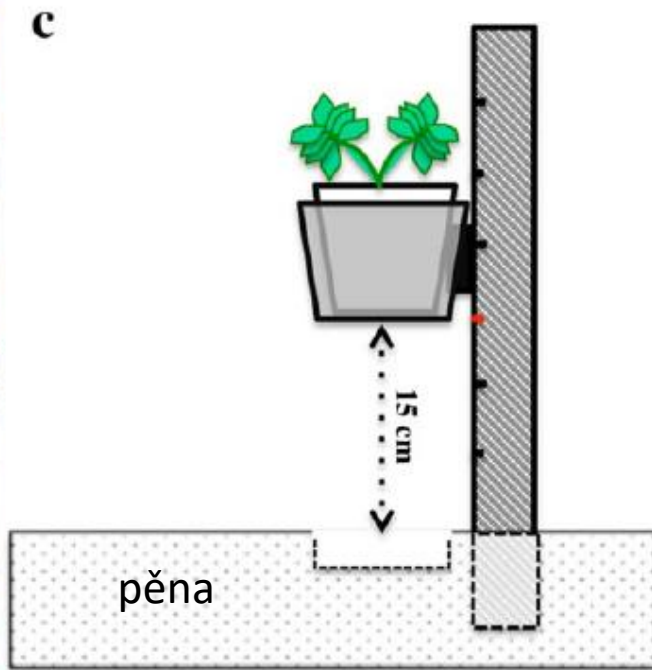
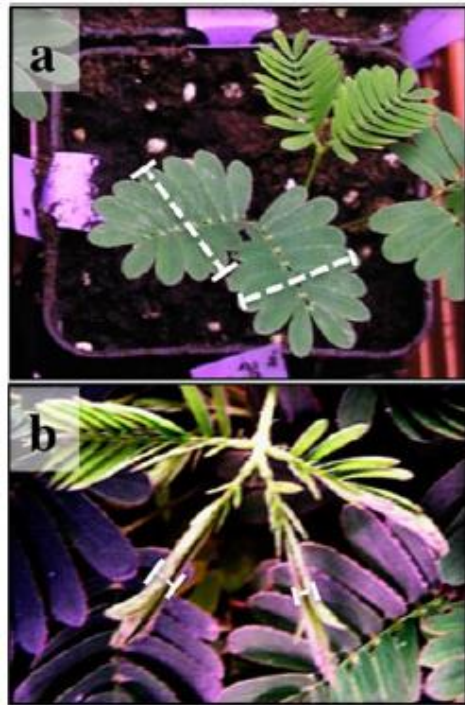
Jak dlouho si rostlina pamatuje?

...minimálně měsíc:

Experience teaches plants to learn faster and forget slower in environments where it matters

Monica Gagliano · Michael Renton ·
Martial Depczynski · Stefano Mancuso

aneb Rostlina se naučí (ze zkušenosti), které podněty jsou důležité (tj, na které má reagovat obrannou rčí) a které může ignorovat



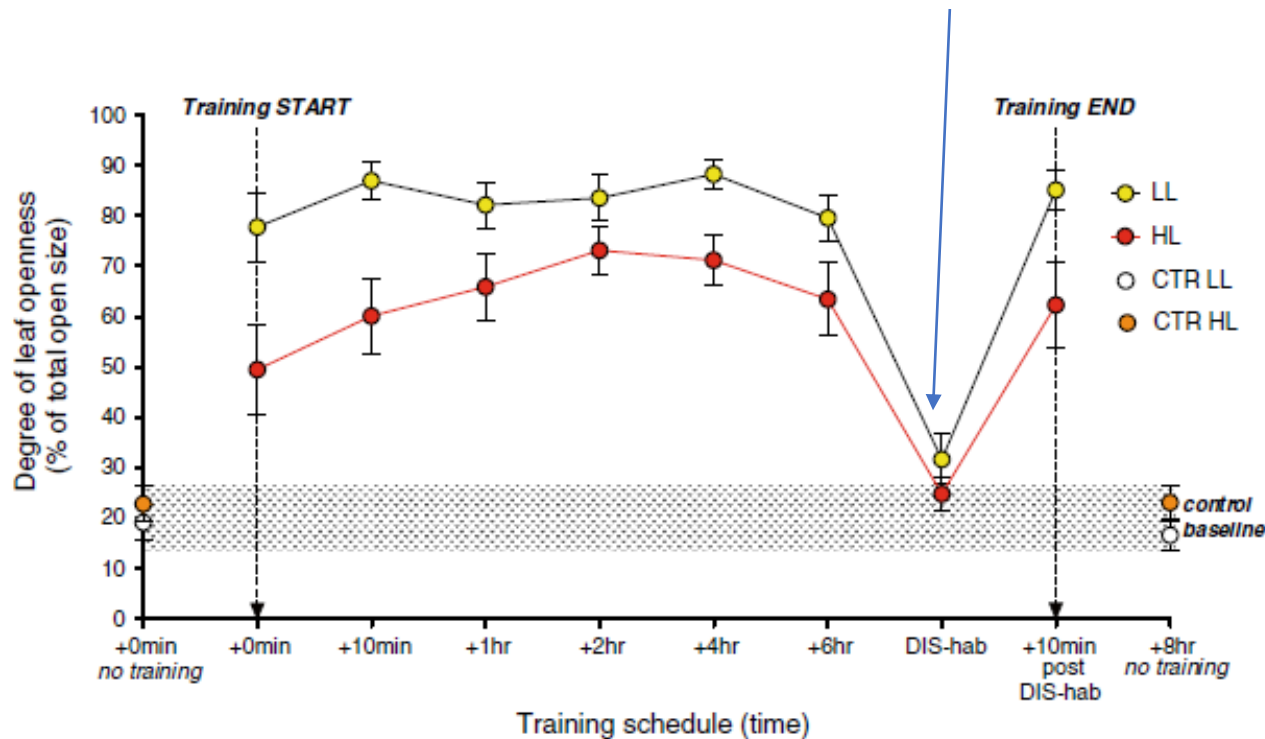
- U mimózy – jasná habituace (návyk, přivykání) při obranném skládání listů v reakci na fyzické rušivé podněty ukazuje jasnou habituaci - naznačuje základní formu učení
- Habituace (návyk) je zřetelnější a trvalejší u R z prostředí s vyššími energetickými náklady
- Naučená odpověď přijde i po měsíci odpočinku
- Obdoba trvalé habituace na základě předchozí zkušenosti u živočichů

Postup

2) „trénink“ (28 LL a 28 HL R):

7 sérií o 60 pádech (mezi pády 5-10 s). Série prováděny s delšími odstupy v 1 dni

Odvykací kúra – třepání na třepačce 250 rpm, 5 s



Jak to dopadlo?

R , kt. podstoupily plný trénink, se rychle učí – listy se znovu otevírají, ještě než skončí série se 60 pády – již po 4.-6. pádu, v případě nového vyvolání reakce se do konce série již plně otevřely či se nezavřely vůbec

Rozdíl LL a HL R: v LL se listy rozevírají více

SCIENTIFIC REPORTS

OPEN

Learning by Association in Plants

Monica Gagliano¹, Vladyslav V. Vyazovskiy², Alexander A. Borbély³, Mavra Grimonprez¹ & Martial Depczynski^{4,5}

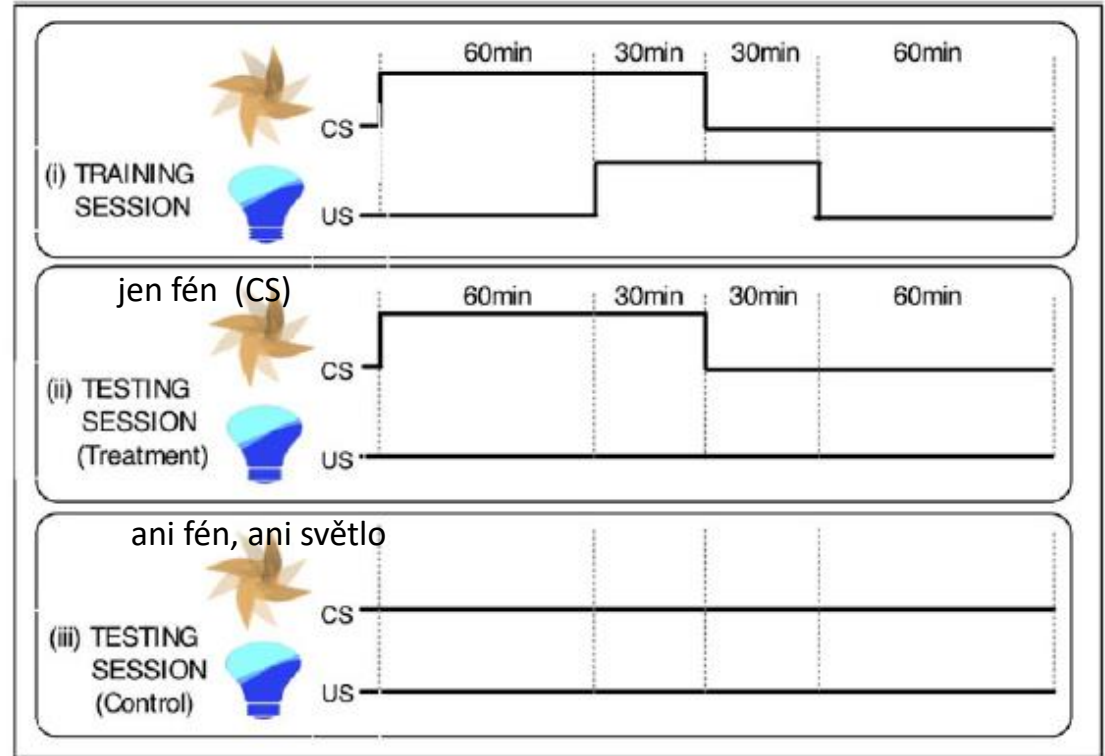
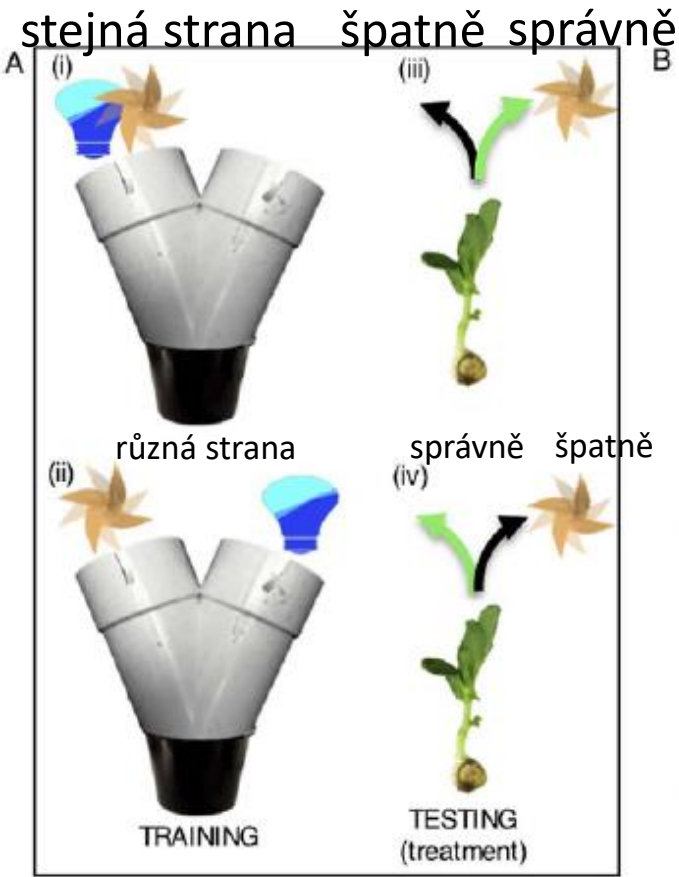
využití vnějších podnětů (fén) k lokalizaci a zapamatování si, kde se nachází kvalitní zdroje (světlo) = účinnější shánění potravy a zvýšení pravděpodobnosti přežití

hrách setý (*Pisum sativum*)

učení se asociacím: podnět (fén) znamená potrava (světlo)

pozice neutrálního podnětu, který předpovídal pozici světla (~potravy), ovlivnil směr růstu R (přebil i vrozený fototropismus)

nejprv fén (CS), pak světlo (US) s 30 min současného působení CS i US

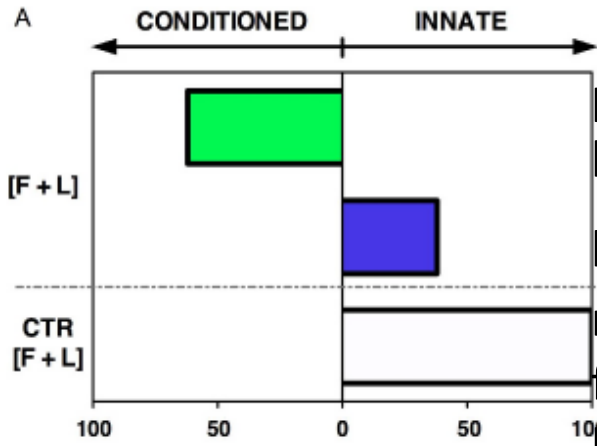


3 dny: každý d 3 dvou hodinové tréninky

špatně správně

Převrácení Y-květináče a 90 min jen fénu (=test) ...

zde je féna na stejné straně jako světlo

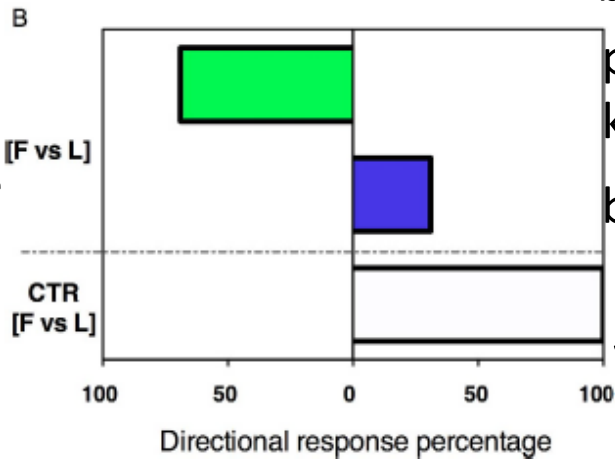


podmíněné chování („naučené“) – rostou k té straně, která byla během tréninku asociována se světlem

bez fénu rostou všechny R ke světlu

nenaučily se asociaci, chování na základě vrozeného fototropismu (féna umístěn na opačnou stranu, než bylo naposledy „viděno“ světlo)

zde je féna na opačné straně než světlo



podmíněné chování („naučené“) – rostou k té straně, která byla během tréninku asociována se světlem

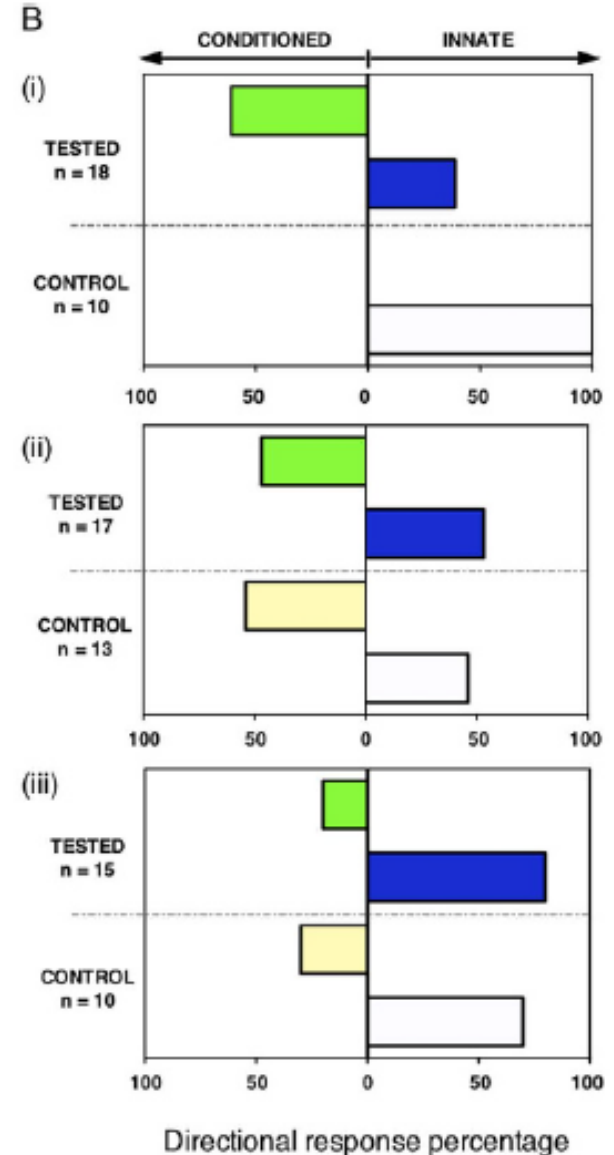
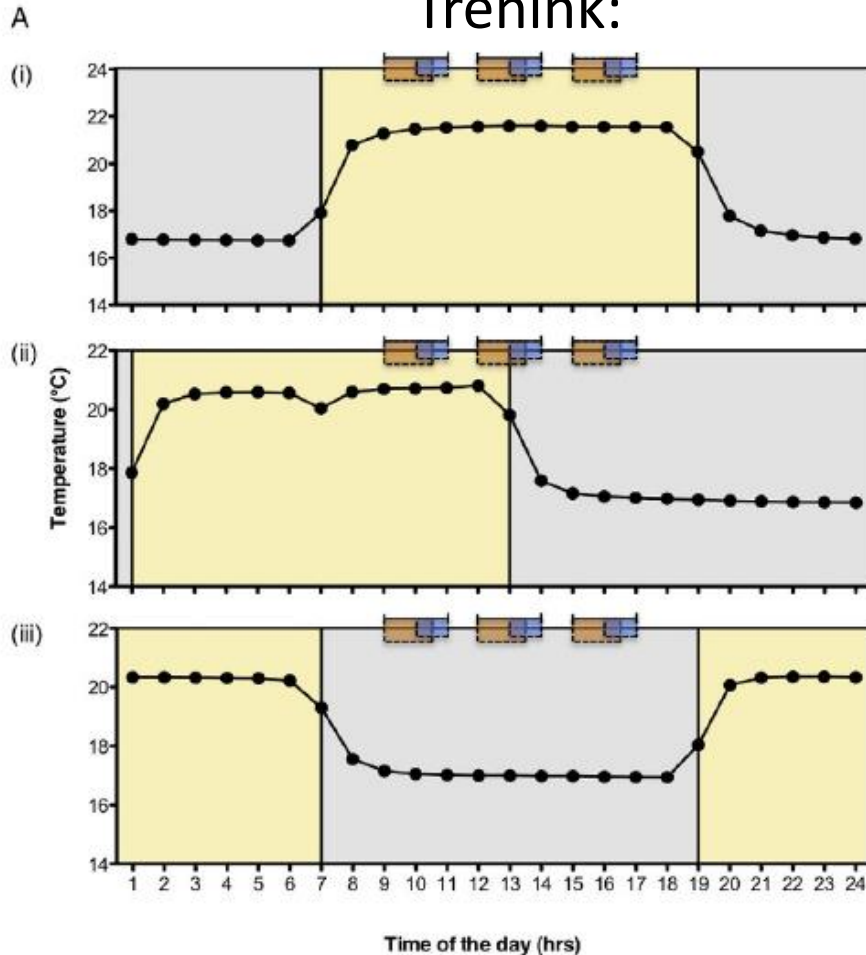
bez fénu rostou všechny R ke světlu

nenaučily se asociaci, chování na základě vrozeného fototropismu (féna umístěn na tutéž stranu, kde bylo naposledy světlo)

Directional response percentage

Vliv cirkadiální fáze na asociativní učení (a na fototropismus):
 učení jde nejlépe ve dne a fototropismus je závislý na cirkadiální fázi

Trénink:



Rostliny a dotyk

Mucholapka – zavírání pasti – elektrochemické potenciály – 2 doteky

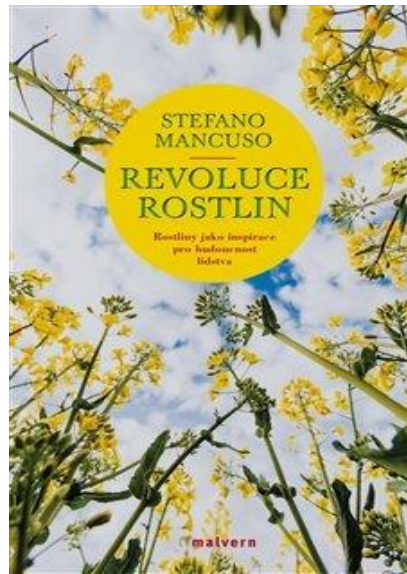
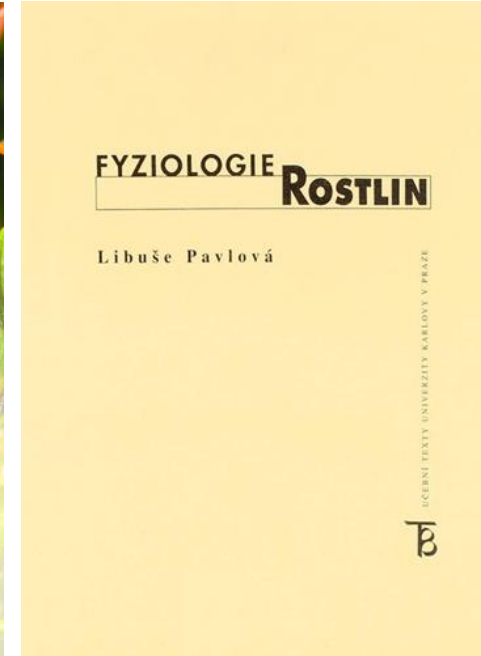
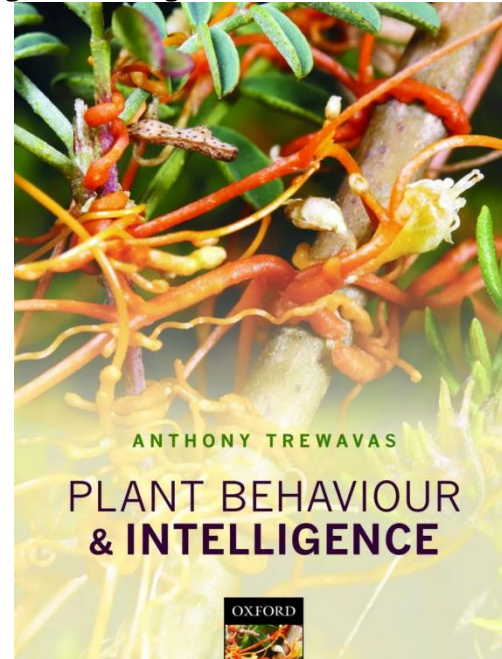
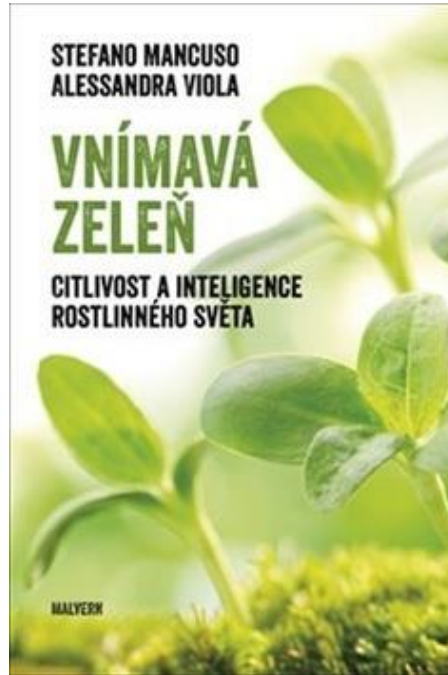
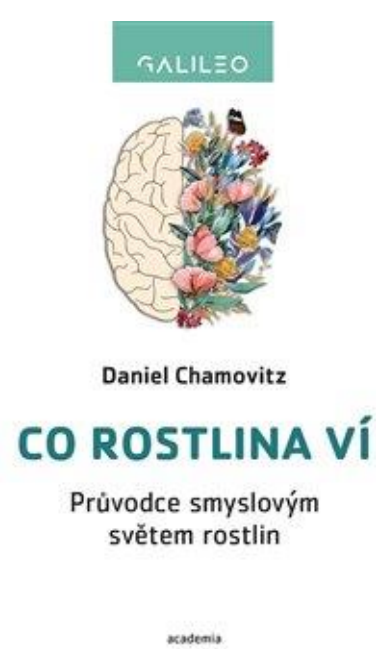
Každodenní dotek zabrzdí růst listu – *TCH* geny

Vítr – trpasličí vzrůst – stromy na horách – geny *TCH* – kalmoduliny, Ca^{2+} signalizace

Mnutí úponků hrachu – souvislost s pamětí

Totéž citlivka (*Mimosa*) – sklápění listů – pulvini, pumpování vody, iontové kanály

Rostlinné smysly - literatura



email: akcni.krtecek@post.cz

Rostlinné smysly - literatura

