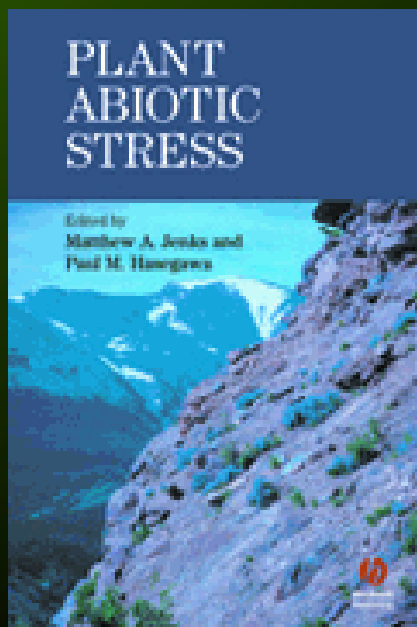


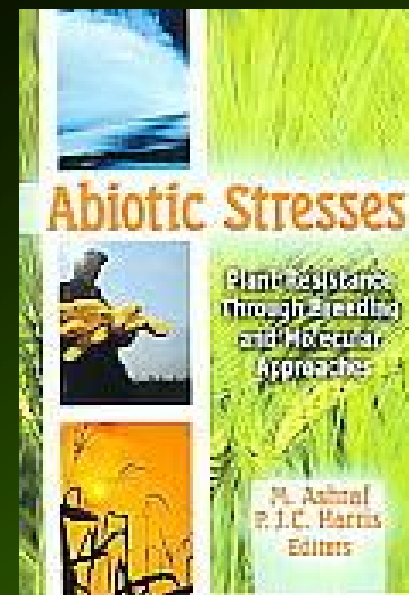
## 4) Reakce rostlin k abiotickému stresu

- a) Vodní deficit
- b) Zasolení a osmotické přizpůsobení a jeho role v toleranci k suchu a zasolení



Jenks M *et al.* (2005)  
Plant Abiotic Stress.  
Blackwell Publishing

Ashraf M *et al.* (2005)  
Abiotic Stresses. The  
Haworth Press Inc.



<http://www.haworthpress.com/store/product.asp?sku=5288>

<http://www.blackwellpublishing.com/book.asp?ref=1405122382>

## Stresové faktory působící na rostliny:

**Stres** = vnější faktor, který vykonává vliv nevýhodný pro rostlinu

**Biotické** – vyvolané jinými organizmy

**Abiotické** – vznikají vlivem přemíry či deficitu fyzikálních  
či chemických vlivů

- přebytek vody či sucho
- vysoká a nízká teplota
- mnoho či málo světla
- zasolení

**Rychle působící (minuty): tepelný stres**

**Pomalu působící (dny až měsíce) : nedostatek vody půdě,  
nedostatek minerálních látek**

**Pochopení mechanismů adaptace, aklimatizace a fyziologických procesů  
fungujících při stresech je důležité v zemědělství a ekologii.**

**Update 2008**

Muns R, Tester M (2008) Annu Rev Plant Biol 59: 651 - 681

Review o mechanismech tolerance rostlin k zasolení

**Tolerance ke stresu** = schopnost rostliny překonat pro ni nepříznivé podmínky

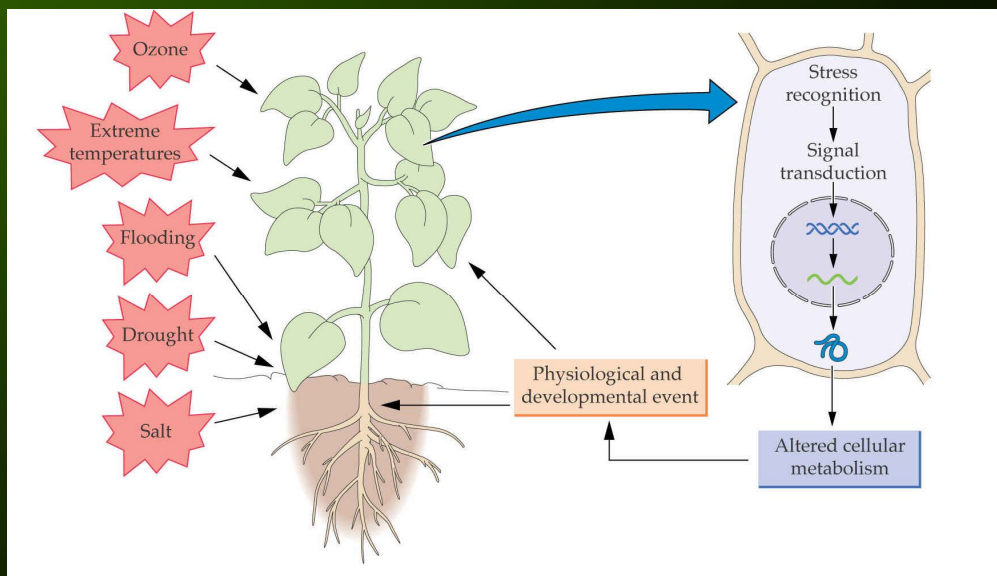
Pojmy tolerance a rezistence se často používají jako ekvivalenty – tolerance je správnější

**Aklimatizace** – zvýšení tolerance rostliny ke stresu jako výsledek postupného vystavení stresovým podmínkám

**Adaptace** – geneticky determinovaná hladina tolerance získaná během selekce v průběhu mnoha generací

**Stresy → změna exprese genů a buněčného metabolismu**

**Změny v buněčném cyklu a buněčném dělení, změny v endomembránovém systému a vakuolizaci buněk, změny v architektuře buněčné stěny.**



**Změny v expresi genů zahrnují indukci signálních drah. V nich jsou zapojeny:**

- hormony (ABA, JA, etylén)
- sekundární přenašeče (Ca<sup>2+</sup>)

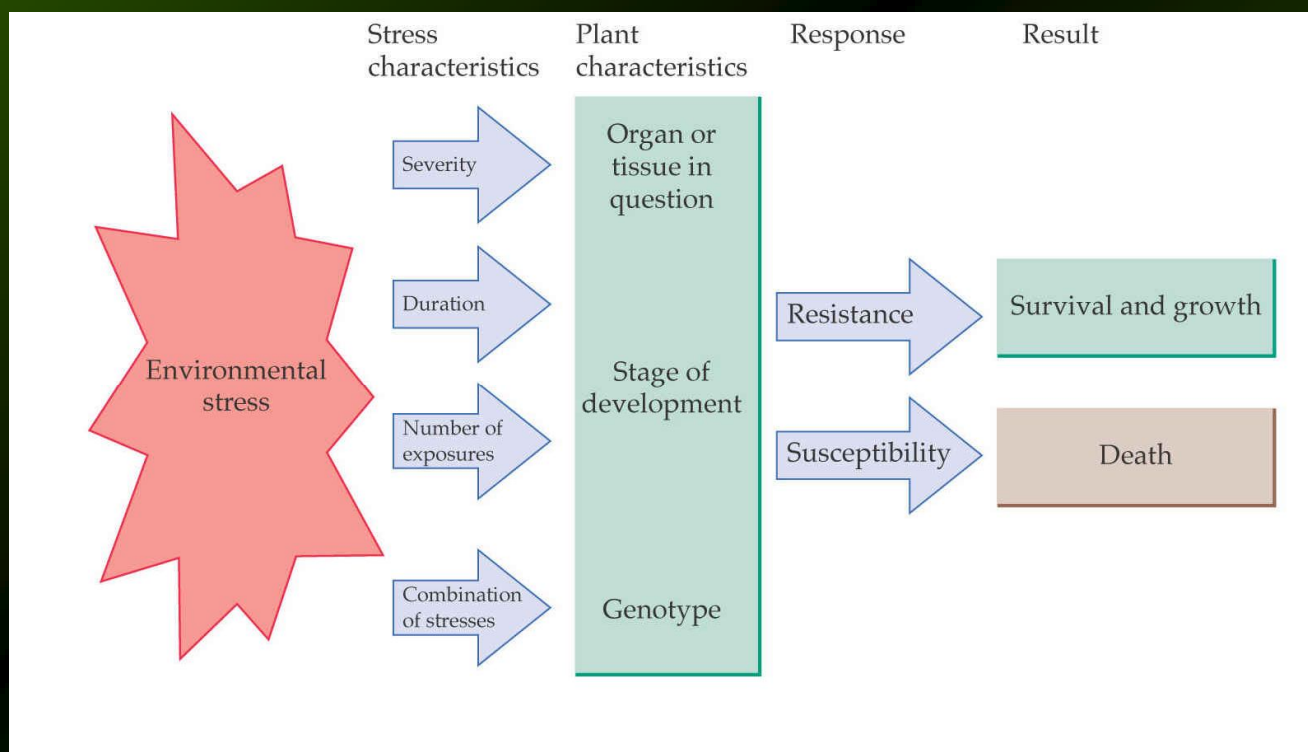
**Geny – silně exprimované  
– slabě exprimované**

**Protein – studium funkcí a mechanismů exprese**

**Centrum výzkumu – transkripční a posttranskripční regulace exprese**

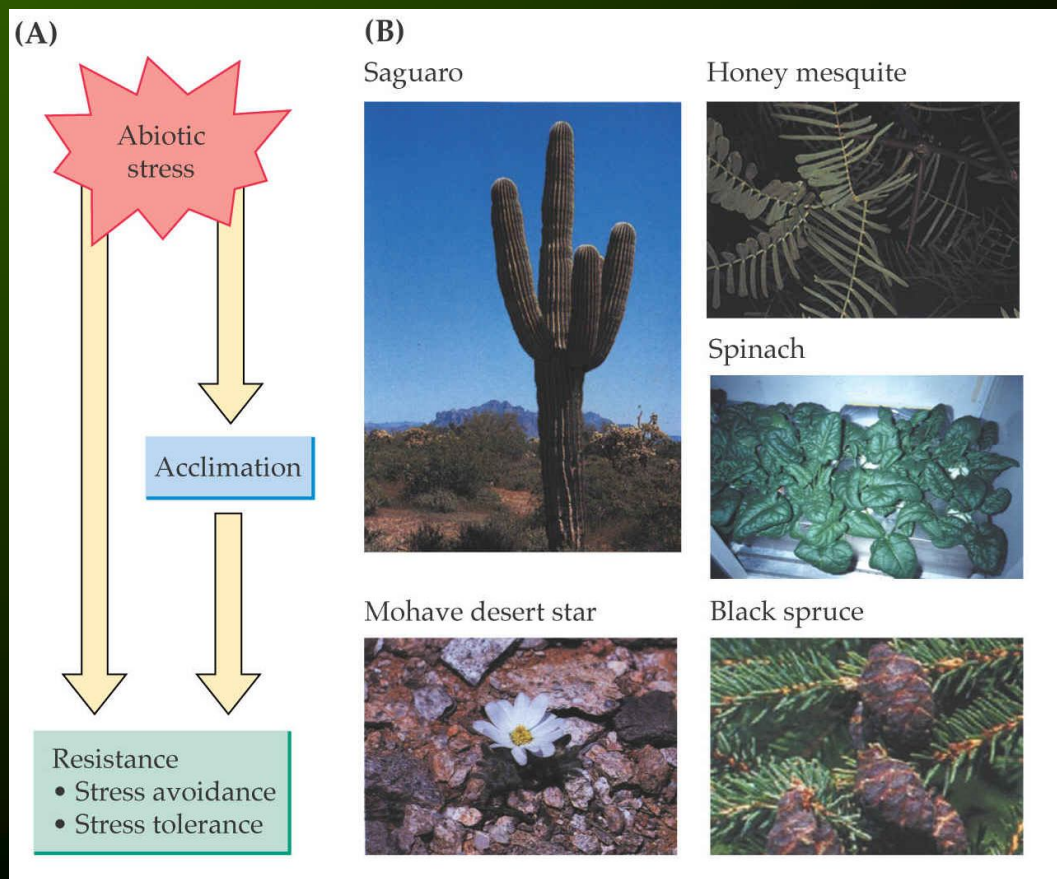
Schopnost rostlin tolerovat stres závisí na:

- intenzitě stresu
- délce působení stresu
- rychlost příchodu stresu
- orgánu rostliny



Ztráty na zemědělské produkci způsobené abiotickými stresy: 65 – 80%

Mechanizmy rezistence



Znalost mechanismů rezistance

Aplikace biotechnologických metod

- časování životního cyklu
- hluboké kořeny
- vývoj stomat, trnů

## a) Vodní deficit

- nedostatek vody v prostředí
- množství vody není omezeno, ale voda je pro rostlinu nedostupná (zasolení, nízké teploty, vysoká transpirace rostliny)

### Parametry popisující vodní stav rostliny:

- vodní potenciál  $\Phi_w$
- relativní obsah vody (RWC – relative water content)

**Vodní potenciál – vyjadřuje úroveň s jakou je buňka, orgán, celá rostlina hydratovaná (schopnost odevzdávat vodu)**

$$\Phi_w = \Phi_s + \Phi_p + \Phi_g + \Phi_m$$

$$\Phi = [f\ddot{f}]$$

**$\Phi_s$  = potenciál rozpuštěné látky (osmotický potenciál, solute potential)**

Je určen počtem částic rozpuštěných ve vodě.

$$\Phi_s \uparrow \Rightarrow \Phi_w \downarrow$$

**$\Phi_p$  = tlakový potenciál (press potential)**

Odráží fyzikální síly působící na vodu v jejím prostředí.

Pozitivní tlak (turgor) – PM tlačí na buněčnou stěnu

Negativní tlak (tenze) – PM tlačí na vodu v buňce, odchlpuje se od buněčné stěny

$$\Phi_p \uparrow \Rightarrow \Phi_w \uparrow$$

**$\Phi_g$  = gravitační potenciál (gravitational potential)**

Projevuje se pouze při transportu vody v rostlině na vzdálenost 5-10 m

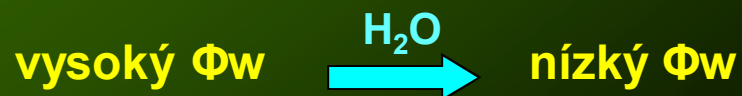
**$\Phi_m$  = matriční potenciál (matric potential)**

Vysvětluje jak tvrdé povrchy interagují s vodou a potlačují  $\Phi_w$ . Prakticky je velice malý.



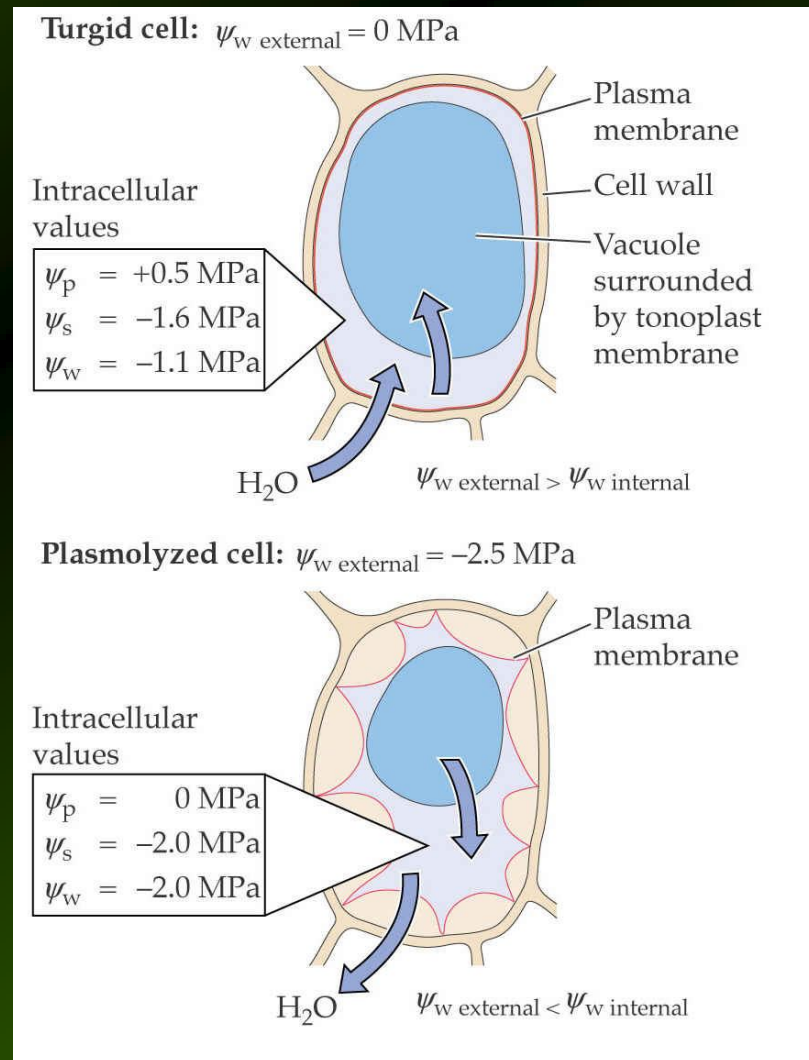
# Vodní potenciál - dovoluje předpovědět pohyb vody do a z rostlinné buňky

Spontánní pohyb vody:



1. Buňka umístěna do čisté H<sub>2</sub>O

2. Buňka umístěna do koncentrovaného roztoku soli



Fyziologické a metabolické změny detekované v rostlinách vystavených vodnímu stresu ne vždy korelují se změnami  $\Phi_w$ .



Relativní obsah vody (RWC – relative water content)

Příjem vody kořeny pokrývá ztrátu vody listy => RWC = 85-95%

Kritická hladina RWC < 50% => pletivo odumírá

Obecně platí:  $\Phi_w \downarrow \Rightarrow \text{RWC} \downarrow$

Vyjimky – rostliny schopné udržovat vysoké RWC i při klesajícím  $\Phi_w$

Rostliny schopné se osmoticky přizpůsobovat



## b) Zasolení a osmotické přizpůsobení a jeho role v toleranci k suchu a zasolení

### Zasolení (salinity stress)

Vážný problém v zemědělství – zasolení půdy drasticky snižuje výnos: pobřežní oblasti, záplavová území, nízko položená území



Fotografie použity se svolením  
autorky  
Ivany Fellnerové  
(za tučný honorář)

Salinita se stanovuje měřením vodivosti půdy – čistá voda má velice nízkou vodivost; konduktivita se zvyšuje se zvyšující se koncentrací solí

**TABLE 25.6**  
Properties of seawater and of good quality irrigation water

Property	Seawater	Irrigation water
Concentration of ions (mM)		
Na <sup>+</sup>	457	<2.0
K <sup>+</sup>	9.7	<1.0
Ca <sup>2+</sup>	10	0.5–2.5
Mg <sup>2+</sup>	56	0.25–1.0
Cl <sup>-</sup>	536	<2.0
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	28	0.25–2.5
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	2.3	<1.5
Osmotic potential (MPa)	-2.4	-0.039
Total dissolved salts (mg L <sup>-1</sup> or ppm)	32,000	500



Kvalita (obsah solí) záplavové vody se liší

Střední tok: 900 mg/L

Horní tok:

50 mg/L



Hoover dam



LEGEND	
	STATE BOUNDRIES
	COAST LINES
	COLORADO RIVER
	OTHER RIVERS

THE COLORADO RIVER  
 BASE IMAGE OBTAINED VIA THE  
 XEROX PARC MAP SERVER AT  
[HTTP://PUBWEB.PARC.XEROX.COM/](http://pubweb.parc.xerox.com/)

Podle schopnosti tolerovat vyšší hladinu soli rozdělujeme rostliny na:

- halofyty (halophytes) – velice tolerantní k zasolení (~ 1% světové flóry)
- glykofyty (glycophytes; nonhalophytes) – citlivé k zasolení

Zemědělské plodiny citlivé k zasolení:

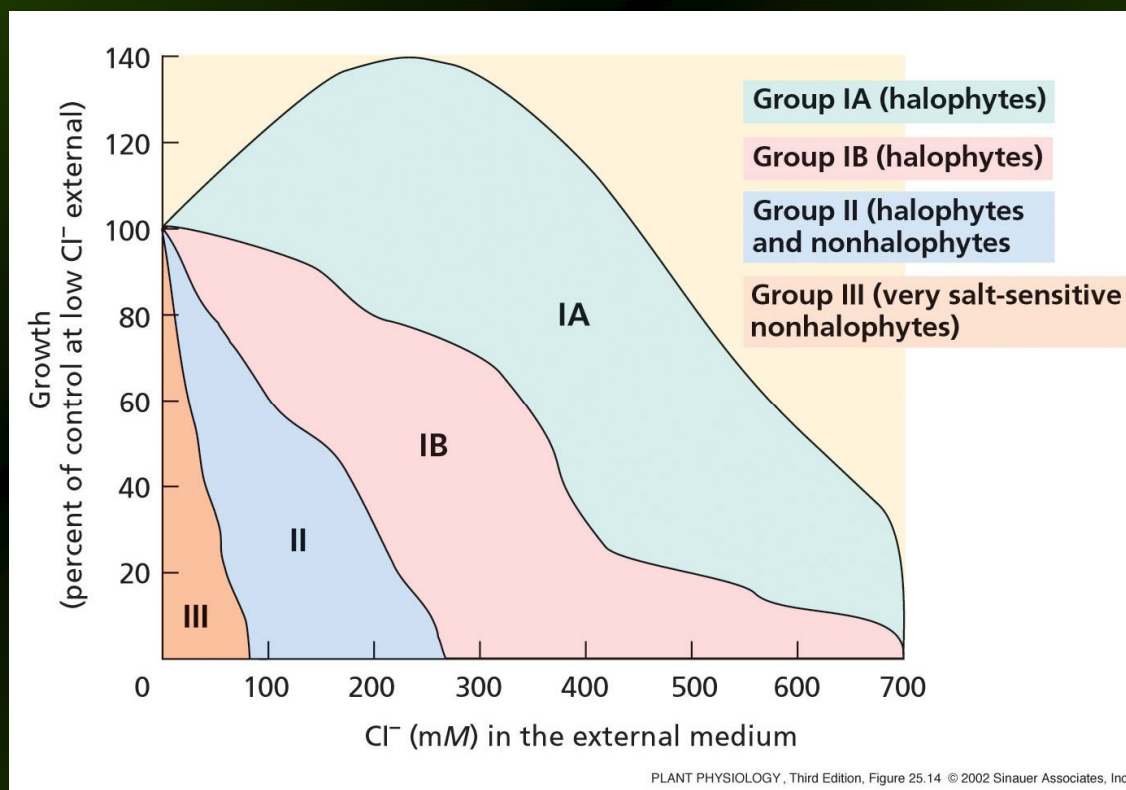
- kukuřice
- cibule
- citrusy
- salát
- fazole

Zemědělské plodiny méně citlivé k zasolení:

- bavlník
- ječmen

Zemědělské plodiny tolerantní k zasolení:

- cukrovka
- palma datlová



Update 2008

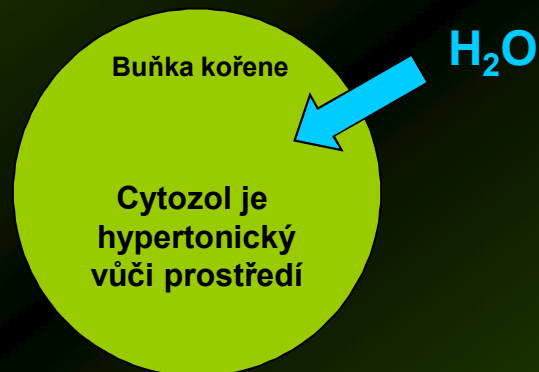
Flowers TJ, Colmer TD (2008) New Phytologist 179: 945-963

Review o halofytech a jejich toleranci k zasolení

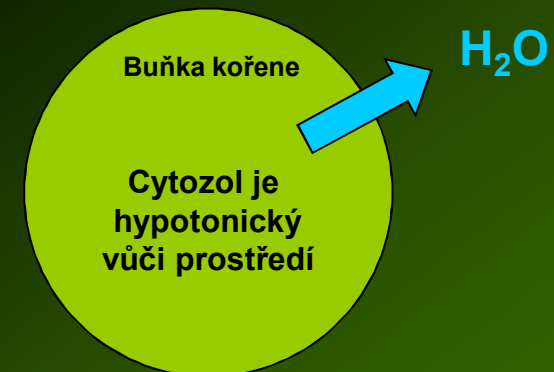
## Negativní efekt zasolení na rostliny:

- nepřímý – osmotický stres: kolem kořenů se zvyšuje osmotický tlak => snižuje se schopnost kořenů brát vodu, protože prostředí kořenových buněk se stává hypotonickým vůči roztoku kolem kořene

### Normální prostředí



### Zasolené prostředí



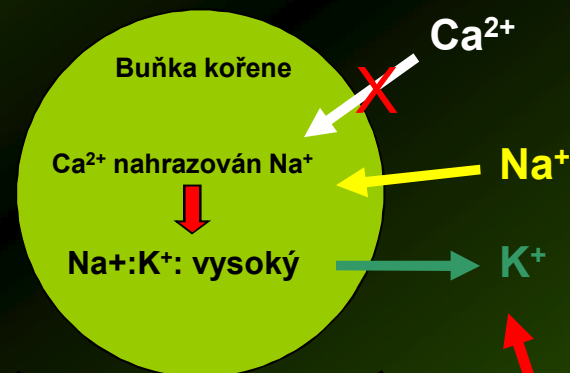
- **přímý toxický efekt iontů akumulujících se v buňce:  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$**

### Normální prostředí



Optimální funkce enzymů

### Zasolené prostředí



Inhibice syntézy proteinů

Funkce enzymů inhibována

Změna permeability membrány

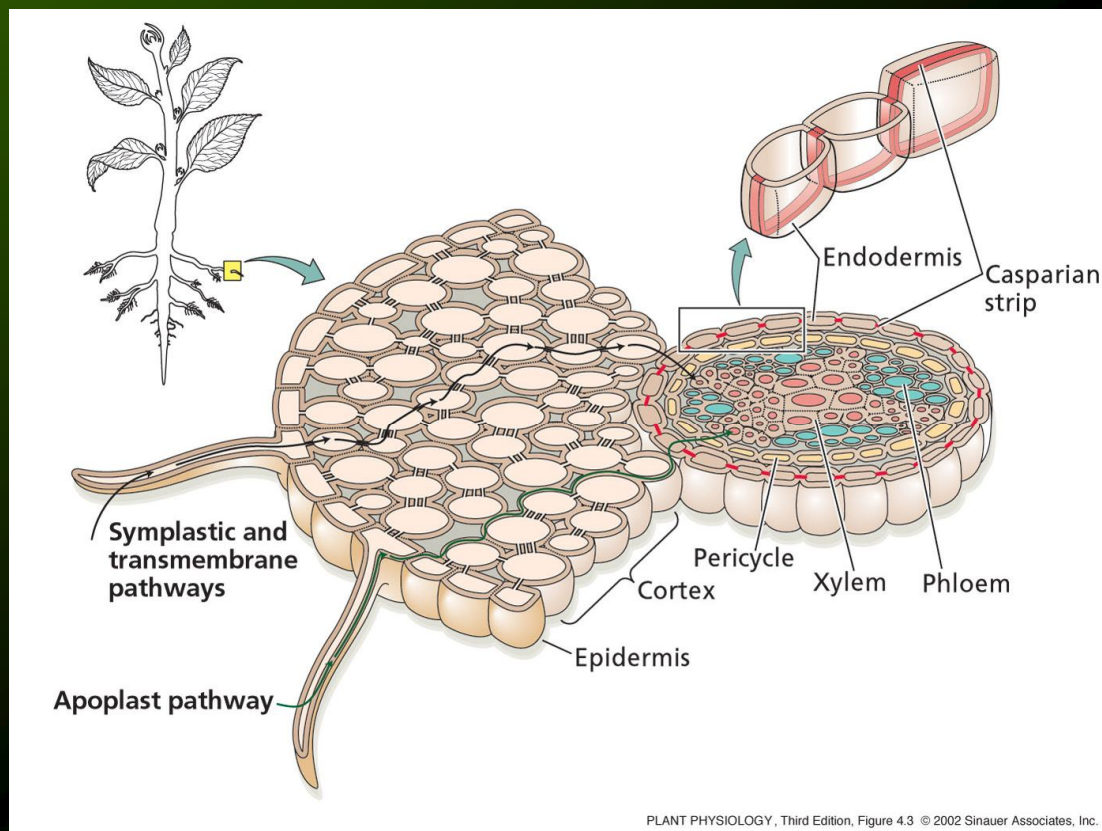
Inhibice fotosyntézy:  $\text{Na}^+$  a  $\text{Cl}^-$  se akumulují v chloroplastech => metabolismus nebo fosforylace jsou inhibovány ( $e^-$  transport je necitlivý k solím).

Enzymy izolovány z halofytů mají stejnou citlivost k solím jako enzymy glykofytů => rezistence halofytů je důsledkem jiných mechanismů, než je rezistence metabolismu



**Rostliny citlivé k zasolení se brání nadměrnému množství solí v půdě omezením transportu iontů do stonku a listů**

**Aby se ionty dostaly do xylému musí místo apoplastické cesty (Casparian proužky brání v pohybu iontů) použít cestu symplastickou přes membránu.  $\text{Na}^+$  se dostávají do kořene pasivně (díky elektrochem. potenciálu) => buňky musí transportovat  $\text{Na}^+$  z buňky aktivně.**



**Buňky jsou schopny samy regulovat množství  $\text{Na}^+$  v buňce**

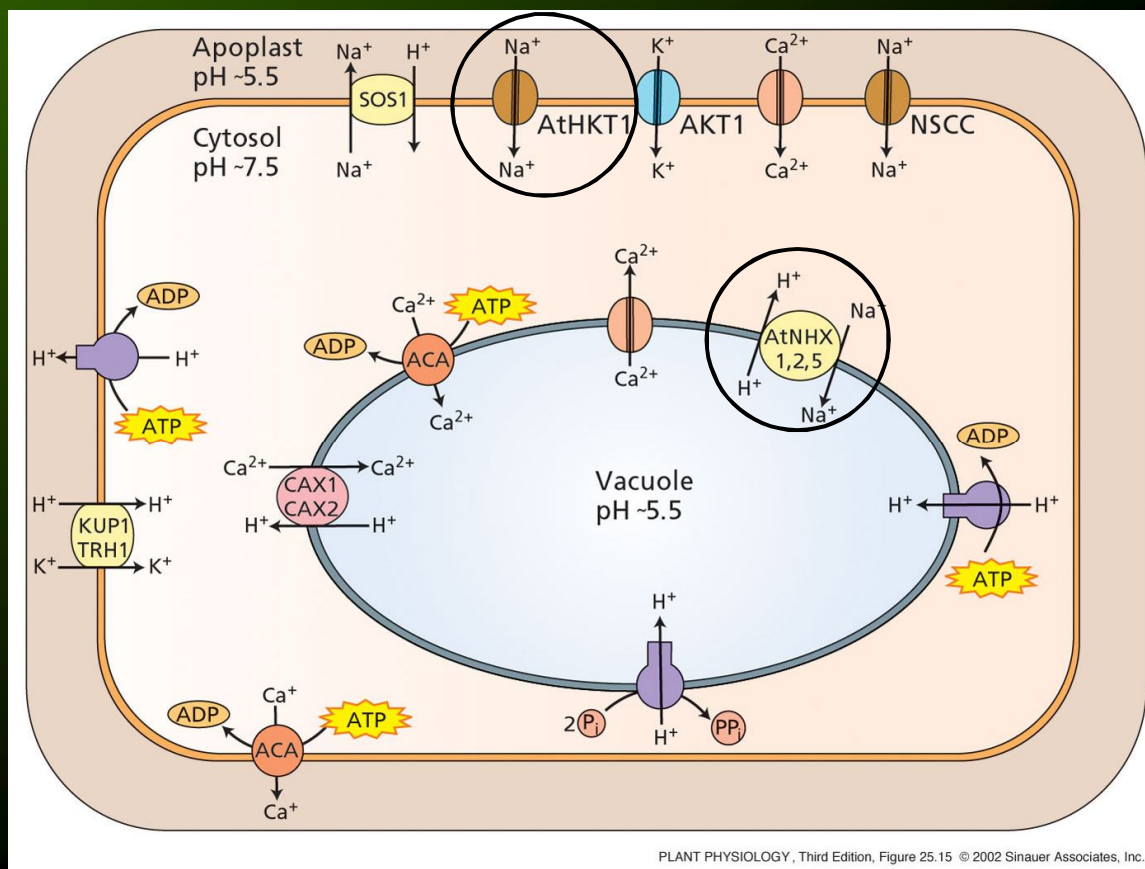
**Část  $\text{Na}^+$  je rovněž absorbována z transpiračního proudu**

**Další redukce množství  $\text{Na}^+$  v listu**

*Atriplex* – solné žlázy

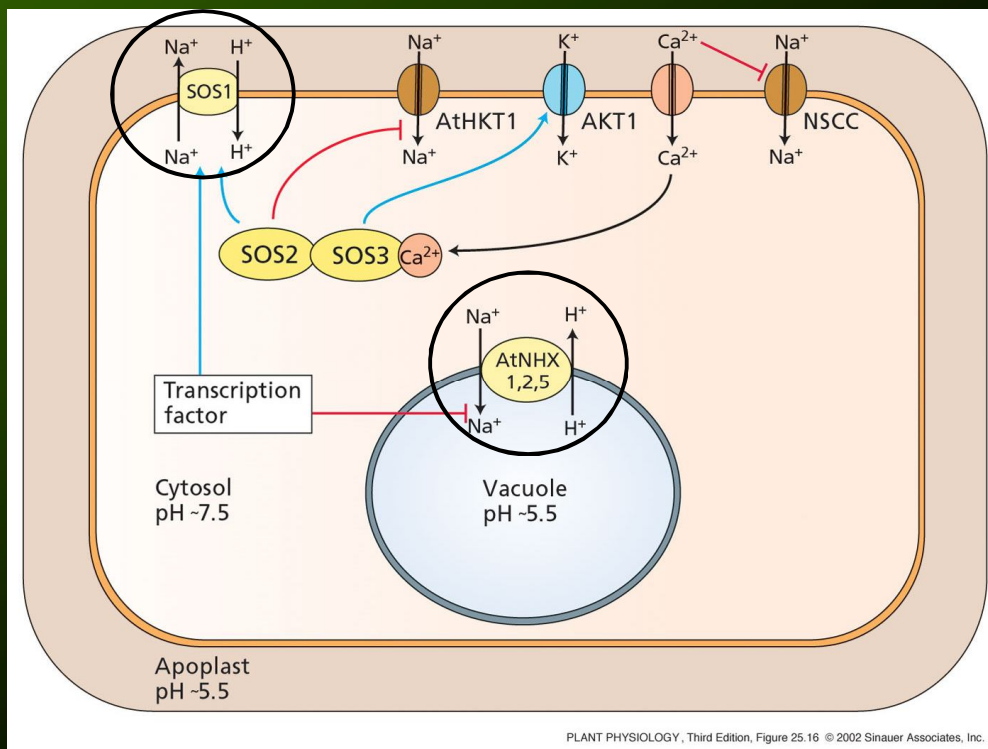
NaCl – nejběžnější sůl, která vyvolává stres => transportní systém umožňující kompartmentaci Na<sup>+</sup> do vakuoly je velmi důležitý.

Vysoká [Na<sup>+</sup>] → Příjem K<sup>+</sup> buňkou pomocí high-affinity transportéru HKT1 je inhibován a pouze Na<sup>+</sup> je pouštěn tímto transportérem



**ALE:** Ca<sup>2+</sup> zvyšuje K<sup>+</sup>/ Na<sup>+</sup> selektivitu => K<sup>+</sup> je přednostně transportován do buňky => zvyšuje toleranci k zasolení

H<sup>+</sup>-ATPáza iniciuje rozdíl pH a membránový potenciál přes plazma membránu a tonoplast.  
 Zajišťuje sílu (H<sup>+</sup> elektrochemický potenciál) pro sekundární transport iontů.  
 Aktivita H<sup>+</sup> pumpy se zvyšuje salinitou a indukovanou expresi genů.



Buňka má sílu bránit se nadměrnému zasolení tím, že transportuje nadbytečný Na<sup>+</sup> z buňky ven a do vakuoly

SOS1 Na<sup>+</sup>-H<sup>+</sup> antiporter

SOS1 - regulován produkty SOS2, SOS3

SOS2 - serine/threonine kináza aktivovaná Ca<sup>2+</sup> přes SOS3

SOS3 - protein fosfatáza regulována Ca<sup>2+</sup>

Vakuolární kompartmentace Na<sup>+</sup> je zprostředkována Na<sup>+</sup>- H<sup>+</sup> antiportem AtNHX1

## Osmotické přizpůsobení a jeho role v toleranci k suchu a zasolení

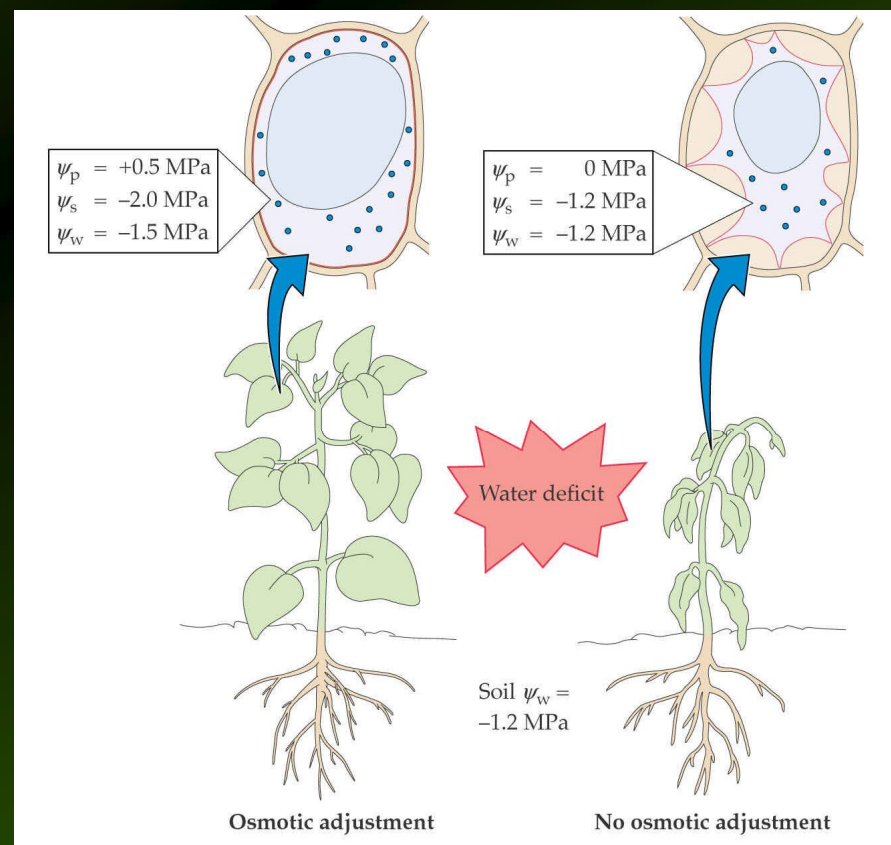
Osmotické přizpůsobení – biochemický mechanismus umožňující aklimatizaci k suchu a zasolené půdě

$\Phi_w$  v kořenech  $<$   $\Phi_w$  v půdě



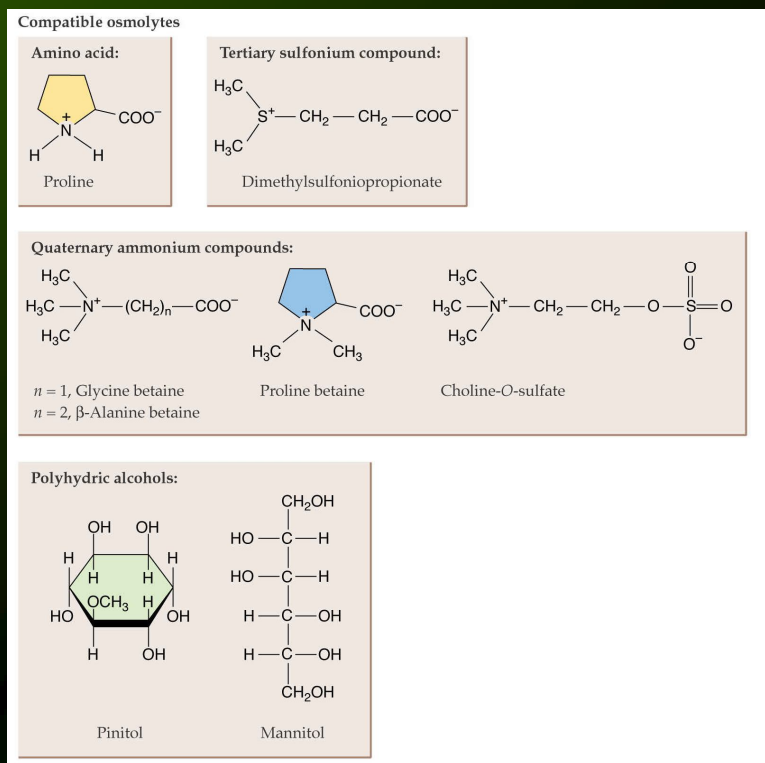
Rostlina je schopna brát vodu z půdy

Rostlina je schopna se osmoticky přizpůsobovat v případě, kdy je schopna regulovat svůj potenciál rozpuštěné látky ( $\Phi_s$ ), tj. zvyšovat počet rozpuštěných látek v buňce, tj. snižovat vodní potenciál v buňce.



- Osmotické přizpůsobení zahrnuje:**
- metabolické změny
  - snížení asimilace nízkomolekulárních org. sloučenin
  - zvýšení syntézy nízkomolekulárních org. sloučenin

**Kompatibilní rozpuštěné látky = osmolyty**



- prolin

- alanin betain, glycin betain, prolin betain

- dymetylsulfoniopropionát

- manitol, pinitol



## Osmoticky aktivní anorganické látky – ionty:

Nabité, váží se ke kofaktorům,  
substrátům, membránám, enzymům

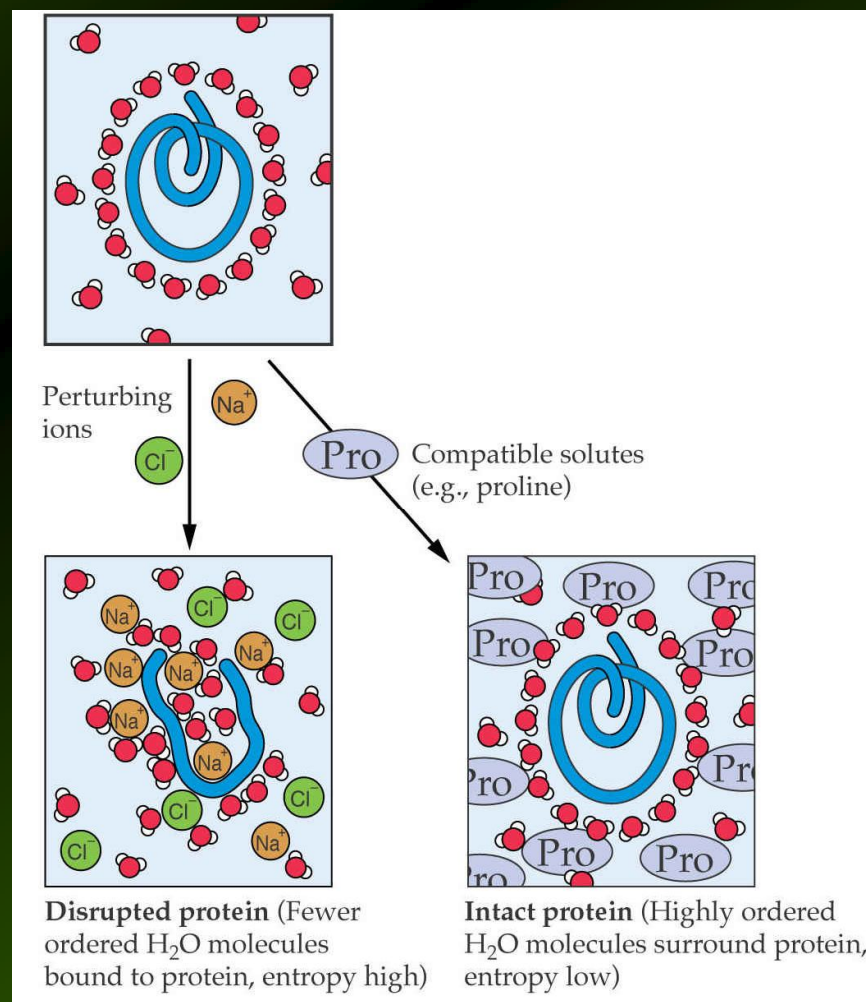


Toxické: změna vlastností,  
vstup do hydratační obálky proteinů  
=> denaturace proteinů

Organické osmolyty – tendenci být  
nabity neutrálně při fyziol. pH



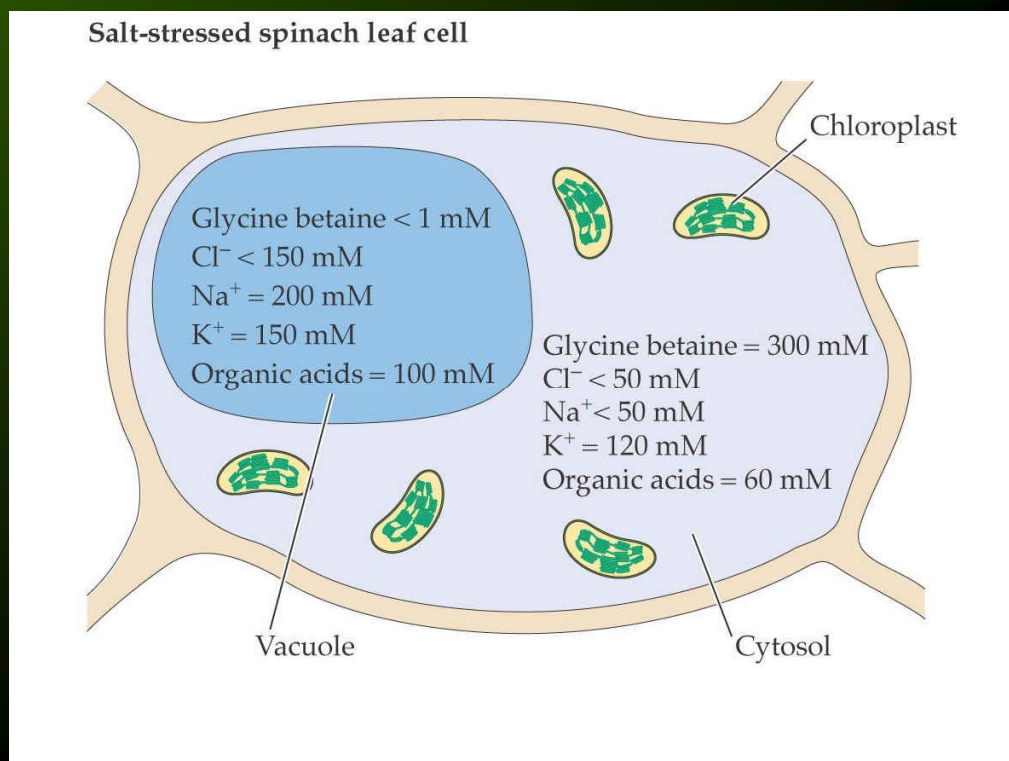
Nevstupují do hydratační  
obálky proteinů



**Kompatibilní osmolyty – nemusí se akumulovat ve vakuole**

**Zůstávají v cytoplazmě**

**Schopnost cytoplazmy dosáhnout osmotické rovnováhy s vakuolou**



**Kompatibilní osmolyty se akumulují i v jiných organelách, podle potřeby**

**Existence přenašečů a transportérů**

**(např. transportéry prolinu)**

## Ochranná funkce některých kompatibilních osmolytů - osmoprotekce

**Přímé důkazy osmoprotekce u bakterií.**

**Rostliny – transgenní rostliny syntetizující vysokou hladinu glycin betainu se vyznačují zvýšenou tolerancí k abiotickým stresům**

- Glycin betain chrání Rubisco enzym před inaktivacemi solemi a tak před destabilizací komplexu fotosystému II
- Antioxidační aktivity – likvidace  $\text{OH}\cdot$  sorbitolem, manitolem, prolinem

**Update 2008**

Chen THH, Murata N (2008) TIPS 13: 499 - 505

Review o úloze glycin betainu v toleranci rostlin k abiotickým stresům