

**SLOVENSKÁ POĽNOHOSPODÁRSKA UNIVERZITA V  
NITRE  
FAKULTA AGROBIOLÓGIE A POTRAVINOVÝCH  
ZDROJOV**

1126706

**ÚČINOK ZNÍŽENEJ DOSTUPNOSTI VODY NA RASTOVO-  
VÝVINOVÉ PROCESY A FYZIOLOGICKÉ REAKCIE  
RASTLÍN**

**2010**

**Ľuboslava Cichá**

**SLOVENSKÁ POĽNOHOSPODÁRSKA UNIVERZITA V  
NITRE  
FAKULTA AGROBIOLÓGIE A POTRAVINOVÝCH  
ZDROJOV**

**ÚČINOK ZNÍŽENEJ DOSTUPNOSTI VODY NA RASTOVO-  
VÝVINOVÉ PROCESY A FYZIOLOGICKÉ REAKCIE  
RASTLÍN**

**Bakalárska práca**

Študijný program:	Udržateľné poľnohospodárstvo a rozvoj vidieka
Študijný odbor:	6.1.1 Všeobecné poľnohospodárstvo
Školiace pracovisko:	Katedra fyziológie rastlín
Školiteľ:	Ing. Jana Repková, PhD.

## **Čestné vyhlásenie**

Podpísaná Ľuboslava Cichá vyhlasujem, že som záverečnú prácu na tému „Účinok zníženej dostupnosti vody na rastovo-vývinové procesy a fyziologické reakcie rastlín“ vypracovala samostatne s použitím uvedenej literatúry.

Som si vedomá zákonných dôsledkov v prípade, ak uvedené údaje nie sú pravdivé.

V Nitre 14. mája 2010

Ľuboslava Cichá

## **Pod'akovanie**

Dovoľujem si týmto poďakovať vedúcemu bakalárskej práce Ing. Jane Repkovej, PhD. za odborné vedenie, usmerňovanie a pomoc pri jej vypracovaní, ktorú mi bola ochotná kedykoľvek poskytnúť.

## Abstrakt

V prirodzených podmienkach sú rastliny vystavované rôznym zmenám prostredia. Medzi najčastejšie sa vyskytujúci environmentálny limit patrí nedostatok vody, ktorý následne vyvoláva vnútorný vodný deficit. Voda má v rastlinnom organizme nezastupiteľné miesto. Je to faktor, ktorý limituje rast a vývin, ale aj produkčné vlastnosti rastlín. Spolu s teplotou sa podieľa na znižovaní výšky a kvality dosiahnutých úrod v posledných rokoch. Cieľom práce bolo zhodnotiť účinok zníženej dostupnosti vody na rast, vývin a vybrané fyziologické procesy rastlín jačmeňa jarného a bôbu konského. Namerané výsledky poukazujú na redukovaný rast listovej plochy v priebehu vegetačného obdobia vplyvom zníženej dostupnosti vody, u jačmeňa nastala 45-50%-ná redukcia a u bôbu 25%-né zníženie veľkosti celkovej listovej plochy u variantov s polovičnou dávkou vody. Rovnako aj vývin rastlín bol ovplyvnený zníženou dodávkou vody, nastal posun fenologických fáz, výraznejšie u bôbu, u ktorého sa fáza kvitnutia urýchlila o týždeň v porovnaní s variantom s plnou zálievkou. Počet prieduchov na  $1\text{mm}^2$  sa u bôbu znížil o 25%, pričom u jačmeňa neboli zaznamenané výrazné rozdiely. Z hľadiska pôsobenia vysokej teploty bolo u jačmeňa s polovičnou dávkou vody zaznamenané nižšie poškodenie na úrovni fotosystému II a to aj vďaka ochrannej úlohe vyššieho osmotického prispôsobenia, ktoré u bôbu pozorované nebolo.

**Kľúčové slová:** dehydratácia, rast a vývin, fotosyntéza, teplota

## Abstract

Under natural conditions plants are affected by different environment changes. The most frequent of environmental limit is water deficiency that causes a plant water deficit. Water plays an unreplaceable role for plant organisms. It is a factor that limits plant growth, development and biomass production. Included with high temperature water deficit decreases a quality and quantity of plant crop yields in last years. The aim of the work was evaluate the effect of reduced water availability on growth, development and physiological processes of spring barley and fava bean. The results show that leaf growth and leaf area was reduced during growing season as a consequence of water deficit, for barley in 45-50% and for fava bean in 25%. The phenology of plants was affected too. It was observed a shift of flowering phase for fava bean with reduced water availability in one week earlier. The amount of stomata was decreased in 25% for fava bean, but for barley with water deficit this fact was not observed. The high temperature effect caused a smaller damage of photosystem II measured for barley plants with water deficit. It was due to a protective role of higher osmotic adjustment of barley plants that was not observed for fava bean plants.

**Key words:** dehydration, growth and development, photosynthesis, temperature

# 1 Obsah

<b>Obsah</b> .....	6
<b>Zoznam skratiek a značiek</b> .....	8
<b>Úvod</b> .....	9
<b>1. Prehľad o súčasnej problematike</b> .....	10
1.1 Zmeny zásoby sladkej vody na Zemi v dôsledku klimatických zmien.....	10
1.2 Význam a potreba vody pre rastlinný organizmus.....	12
1.3 Úloha vody v rastovo – vývinovom procese.....	14
1.3.1 Vplyv zníženej dostupnosti vody na rast listovej plochy.....	15
1.3.2 Nástup fenologických fáz počas obdobia nedostatku vody.....	17
1.4. Význam vody vo fotosyntetických procesoch.....	19
1.4.1 Nedostatok vody a regulácia prieduchovej otvorenosti listov.....	21
1.4.2 Počet prieduchov v závislosti od zásobenosti rastlín vodou.....	24
1.4.3 Efekt nedostatku vody na reakcie fotosyntézy rastlín.....	25
1.5 Interakcia pôsobenia vysokej teploty a zníženej dostupnosti vody na fyziologické procesy rastlín.....	26
<b>2 Cieľ práce</b> .....	28
<b>3. Materiál a metódy</b> .....	29
3.1 Biologický materiál.....	29
3.2 Spôsob pestovania.....	29
3.3 Relatívny obsah vody v listoch (RWC).....	29
3.4 Kvantitatívne stanovenie asimilačných pigmentov.....	30
3.5 Meranie vodivosti prieduchov porometricky.....	31
3.6 Určovanie počtu prieduchov.....	31
3.7 Rýchla kinetika fluorescencie chlorofylu <i>a</i> .....	31
3.8 Meranie modulovej fluorescencie chlorof. <i>a</i> pomocou MaxiImaging-Pam.....	32
3.9 Rastové charakteristiky.....	33
<b>4. Výsledky a diskusia</b> .....	34
4.1 Rastovo-vývinové charakteristiky bôbu a jačmeňa.....	34
4.1.1 Rast listovej plochy u vybraných plodín.....	36

4.1.2 Priebeh fenologických fáz počas sledovaného obdobia.....	38
4. 2 Znížená dostupnosť vody a jej účinok na fyziologické procesy rastlín.....	40
4. 2.1 Prieduchová vodivosť a počet prieduchov na liste.....	40
4.2.2 Štruktúra fotosyntetického aparátu.....	42
4.3 Interakčné pôsobenie stresových faktorov – vysoká teplota a nedostatok vody....	42
<b>5. Záver.....</b>	<b>47</b>
<b>Zoznam použitej literatúry.....</b>	<b>48</b>



---

## Zoznam skratiek a značiek

**ABA** – kyselina abscisová

**ATP** - adenzíntrifosfát

**CO<sub>2</sub>** – oxid uhličité

*chl a* – chlorofyl *a*

*chl b* – chlorofyl *b*

**F<sub>0</sub>** – minimálna fluorescencia

**F<sub>m</sub>** – maximálna fluorescencia

**F<sub>v</sub>/F<sub>m</sub>** – maximálna fotochemická efektívnosť

**H<sup>+</sup>-ATPáza** – vodíková protónová pumpa

*kar* - karotenoidy

**K<sup>+</sup>** - katión draslíka

**O<sub>2</sub>** . molekula kyslíka

**LAI** – index listovej pokrývnosti

**MPa** – mega pascal

**NADPH** – nikotínamidínukleotidfosfát, redukovaná forma

**P.I.** – index výkonnosti

**PSI** – fotosystém I

**PSII** – fotosystém II

**RWC** – relatívny obsah vody v listoch

**°C** – stupeň Celzia

---

## Úvod

Voda je jednou z najdôležitejších látok na Zemi, bez ktorej by život nemohol existovať. Tvorí väčšinu našej Zeme, vďaka čomu dostala prívlastok modrá planéta. Nachádza sa v oceánoch, v ľadovcoch, riekach a jazerách, ale aj v telách rastlín a živočíchov. Hoci vody ako takej je na Zemi obrovské množstvo, treba si uvedomiť, že len nepatrné množstvo z nej sa dá využiť na pitné účely. Takmer 97 % z množstva nachádzajúceho sa na Zemi je slaná voda. Ostávajú iba 3 % z celkového množstva, ktoré možno využiť na pitné účely a z nich 99 % je vo forme, ktorá sťažuje využívanie na pitné účely. Funkcia vody je mnohoraká, má stavebnú, termoregulačnú, fyziologickú a mnohé iné funkcie. Je nenahraditeľná pre všetky sféry života. Priamo sa zúčastňuje jedného z najdôležitejšieho biochemického procesu a to fotosyntézy, ktorá zabezpečuje produkciu biomasy v ekosystémoch, nielen prirodzených, ale aj poľnohospodárskych.

V posledných rokoch stúpa počet obyvateľov a s tým aj zvýšené nároky na vodu, Nedostatok vody patrí v globálnom meradle medzi najzávažnejšie problémy. Sucho znamená dlhodobý deficit pôdy. Je to limitujúci faktor hlavne pre poľnohospodárstvo, a teda aj pre pestovanie rastlín určených na ľudskú výživu. Deficit vody spôsobuje rad morfológických, metabolických a fyziologických zmien rastlín. Spôsobuje, že pestované rastliny nedosahujú normálne rozmery. Rast sa brzdí, naopak vývin sa zrýchľuje a celková výška úrody sa redukuje, napriek skutočnosti, že si poľné plodiny vyvinuli rôzne mechanizmy na ochranu voči suchu, ktoré im napomáhajú prispôbiť sa dočasnému alebo trvalému deficitu vody.

V našich podmienkach sa najmä na konci vegetačného obdobia okrem deficitu vody často objavujú aj vysoké teploty, ktoré spolupôsobia na rastliny a tak priamo zasahujú proces fotosyntézy a v konečnom dôsledku aj celkovú úrodu. Preto z hľadiska trvaloudržateľnej vysokej produkcie vysoko kvalitných úrod je nevyhnutné sa zaoberať pôsobením oboch faktorov na fyziologické procesy rastlín.

---

# 1. Prehľad o súčasnej problematike

## 1.1 Zmeny zásoby sladkej vody na Zemi v dôsledku klimatických zmien

Všetky rastliny a živé bytosti vrátane človeka pozostávajú z prevažnej časti z vody a sú od nej úplne závislé. Na Zemi je 1350 miliónov metrov kubických vody. Z toho je 97,2% slanej vody v oceánoch, 2,5% sladkej vody v ľadovcoch, 0,009% vo sladkovodných jazerách, 0,0001 % vo vodných tokoch, 0,001% v atmosfére, 0,0005% v živých organizmoch (URL, 1).

Klimatické zmeny na našej planéte budú mať s najväčšou pravdepodobnosťou výrazný vplyv na väčšinu, ak nie na všetky ekosystémy našej planéty. Rozšírenie mnohých druhov a spoločenstiev je do veľkej miery výsledkom klimatických faktorov prostredia, a teda ich zmeny sa rôznou mierou ovplyvnia budúci vývoj a charakter súčasných ekosystémov. Podľa najjednoduchšieho scenára meniace sa klimatické charakteristiky prostredia povedú k zmenám prirodzeného rozšírenia jednotlivých druhov a spoločenstiev. Zmeny priemerných teplôt môžu spôsobiť posun vegetačných zón a stupňov smerom k vyšším zemepisným šírkam alebo nadmorským výškam. Posuny budú výraznejšie vo vyšších zemepisných šírkach, kde sa očakáva výraznejší nárast priemerných teplôt ako v rovníkových oblastiach. V regiónoch strednej zemepisnej šírky (45 - 60°) sa predpokladá posun súčasných teplotných zón o 150 až 550 km smerom k pólom. Celkové množstvo zrážok sa spolu s obdobiami sucha prejaví ako limitujúci existenčný faktor. Extrémne záplavy ovplyvnia vývoj rozsiahlych území, najmä riečnych a údolných ekosystémov. Tropické a subtropické oblasti môžu trpieť rozsiahlym nedostatkom vody a následným rozširovaním púští – niektoré štúdie dokonca predpovedajú vysychanie veľkých oblastí Amazónie. V mnohých prípadoch dôjde k problémom spôsobeným komplexnosťou vzájomnej interakcie druhov a ich rôznej citlivosti na zmeny stanovištných podmienok. Určité druhy organizmov sa oveľa rýchlejšie dokážu adaptovať na zmenené ekologické podmienky ako iné. Táto skutočnosť zvýši ich konkurenčné schopnosti voči iným druhom. Zmeny týkajúce sa dĺžky ročných období sú v súčasnosti badateľné už v mnohých oblastiach mierneho pásma. Príroda sa zo zimného spánku prebúda podstatne skôr, jarný aspekt sa začína objavovať už v "pôvodne" zimných mesiacoch. V kultúrnej krajine využíwanej na produkciu poľnohospodárskych plodín môžu zmeny v dĺžke vegetačného obdobia viesť

---

k zvýšeniu ich produkcie, najmä v krajinách stredných zemepisných šírok. V krajinách ležiacich ďalej na sever sa môže takto zvýšiť výmera pôdy vhodnej na obrábanie. Negatívne dopady klimatických zmien sa budú prejavovať intenzívnejším pôsobením hmyzích škodcov, častejším výskytom rôznych chorôb a neúrodou spôsobenou dlhotrvajúcimi suchami alebo povodňami. Zvýšené koncentrácie atmosférického CO<sub>2</sub> okrem priamo dokázateľného vplyvu na globálne otepľovanie sú "zodpovedné" aj za zvyšovanie intenzity fotosyntézy a lepšie hospodárenie rastlín s vodou (URL 2).

Voda má mimoriadny význam v prírode. Je vlastne integrujúcim prvkom v celom ekosystéme, nakoľko je sprostredkovateľom rozhodujúcej časti energie v tomto systéme. Preto každý významnejší zásah do vodného režimu sa prejaví aj na energetickej bilancii systému, a tým aj na celkovej produkcii a kvalite biomasy. Z týchto dôvodov je pre poľnohospodársku výrobu dôležitý vodný režim pôdy. Pritom si treba uvedomiť, že vodný režim pôdy je najlabilnejší faktor výrobného potenciálu prostredia a v poľnohospodárskej praxi sa o ňom aj najmenej vie. Takmer všetko je sledované (vývoj počasia, fenofázy a pod.), ale v podstate rozhodujúci faktor sa priamo nesleduje vôbec, len sa odhaduje, alebo predpokladá, aký je vlhkosťný stav pôdy, čo je pre zodpovedné riadenie a plánovanie úrod veľmi málo (ZAPOTOČNÝ, 2003).

Život na Zemi existuje vďaka energii pochádzajúcej zo Slnka. Slnčná energia preniká od Slnka k Zemi a teplo sa odráža späť do atmosféry vo forme infračervených lúčov. Atmosféra Zeme je plná plynov ako CO<sub>2</sub>, metán, oxidy dusíka, ozón, ktoré na jednej strane umožňujú slnečnej energii preniknúť na Zem, ale absorbujú a zachytávajú časť z infračervenej radiácie, ktorá sa odráža naspäť od povrchu planéty. Tento proces, pri ktorom plyny zachytávajú teplo a spôsobujú ohrievanie planéty môže byť prirovnaný k procesom, ktoré prebiehajú v skleníku odkiaľ pochádza zaužívaný názov „skleníkový efekt“. Tento nie je sám o sebe problémom. Problém spôsobuje narušenie jemnej rovnováhy zemskej klímy prídávaním umelo vytvorených plynov do atmosféry a vzniká prehrievanie (URL 3).

Prudký nárast svetovej populácie a jej koncentrácia do veľkých urbanizovaných celkov pri porovnaní so svetovými zdrojmi vody vyvoláva napätie už teraz, lebo v mnohých oblastiach sveta sú už tieto zdroje vyčerpané. Podľa najnovších a výhľadových štúdií FAO a ďalších uznávaných inštitúcií sa bude v spojitosti s rastom populácie napr. do roka 2020 výrazne zvyšovať spotreba vody v absolútnom množstve

---

najmä v rozvojových krajinách pre spotrebu priemyselnú a domácnosti. Relatívny podiel spotreby vody pre pôdohospodárske účely sa však v budúcnosti zníži. V rozvinutých krajinách dokonca spotreba vody pre pôdohospodárske účely bude tvoriť cca iba 40% z celkovej spotreby. Podobný trend môžeme očakávať aj na Slovensku (MIŠTINA, 2004).

## 1.2 Význam a potreba vody pre rastlinný organizmus

Voda sa priamo zúčastňuje biochemických procesov. Je reakčnou zložkou fotosyntézy, určuje smery enzymatického účinku. Mnohé biochemické reakcie, ako hydrolyza a syntéza polysacharidov, sa uskutočňujú prijímaním alebo odštiepením molekuly vody. Je aktívnou zložkou rastového procesu, zvlášť predlžovania. Zabezpečuje turgescenčný stav pletív, ktorý je veľmi dôležitý pre normálny priebeh fyziologických procesov. Voda nakoniec vytvára spojenie rastliny s pôdou a atmosférou, a tým zabezpečuje jednotu organizmu a prostredia. Aktívne reguluje teplotné faktory prostredia i rastliny. Vodná para v atmosfére pôsobí ako filter pre slnečnú radiáciu, mení intenzitu a kvalitu toku radiácie na zemský povrch a rastliny (KOSTREJ et al., 2000). Vodu prijímajú rastliny najmä koreňmi a do nadzemných častí je transportovaná pomocou tlakových gradientov vyvolaných hlavne transpiráciou. Presúvanie molekúl vody sa deje vďaka vodnému potenciálu. Narušenie hodnôt vodného potenciálu nastáva v dôsledku prevahy výdaja vody nad jej príjmom.

Význam vody:

- existencia života na Zemi je podmienená prítomnosťou vody na Zemi,
- väčšina živých organizmov, vrátane rastlín, obsahuje viac ako 70 a niektoré aj viac ako 90 % tzv. konštitučnej (stavebnej) vody,
- voda je najrozšírenejšia látka na Zemi. Pokrýva asi dve tretiny zemského povrchu a vo forme vodných pár sa vždy vyskytuje aj v zemskej atmosfére,
- voda je nezastupiteľným a podmieňujúcim faktorom životných prejavov a fyziologických funkcií všetkých živých organizmov, vrátane rastlín,
- voda je nezastupiteľným a podmieňujúcim faktorom životných prejavov a fyziologických funkcií všetkých živých organizmov,
- všetky fyziologické funkcie a procesy v rastlinách prebiehajú vo vodnom prostredí,

- 
- voda svojimi termostatickými vlastnosťami veľmi účinne eliminuje extrémne teplotné výkyvy vnútorného i vonkajšieho prostredia rastlín, čím vytvára vhodné prostredie pre ich rast (DEMO, BIELEK et al., 2000).

V priebehu evolúcie rastliny vyvinuli rôzne adaptačné mechanizmy, sprevádzajúce ich domestikáciu v nových klimatických a pestovateľských prostrediach. Kapacita adaptácie na dané prostredie prvočne závisí od zmien v dĺžke ich životného cyklu, ktoré dovoľujú vyhnúť sa nepriaznivým podmienkam a až v ďalšom rade od schopnosti tolerovať ich. V tomto smere hrala a hrá v adaptácii druhov významnú úlohu fotoperiódá. Zvyšovanie úrod v závislosti od dĺžky ontogenéz sa však realizuje len po určitú hranicu. Za týmto bodom je ďalší rast produkcie podmienený pôsobením iných environmentálnych, ale aj pestovateľských podmienok.

Disponibilita vody je jedným z faktorov, ktoré determinujú produkciu a jej parametre na zemskom povrchu. V prípade obmedzenia disponibilnosti pôdnej vody a deficitu zrážok (ak prevažujú evaporačné požiadavky) vzniká pôdne sucho. Stav vody v rastline závisí od príjmu vody v systéme pôda – rastlina – atmosféra. Zníženie pôdnych zásob môže vyvolať zmenu stavu vody v rastlinách a rôznu stupeň dehydratácie pletív. Silná dehydratácia môže spôsobovať modifikáciu tvorby proteínov, poruchy lamelárnej štruktúry a fosfolipidovej dvojvrstvy membrán alebo pasívne zvýšenie koncentrácie určitých látok na hranicu toxicity, a teda spôsobovať viac-menej reverzibilnú inhibíciu komplexu fyziologických procesov.

Pre únik pletív z dehydratácie rastliny iniciujú množstvo morfológických, anatomických a fyziologických reakcií, pokrývajúce dve skupiny stratégií rezistencie na sucho, a to limitujúce straty vody. Aby rôzne druhy boli schopné tolerovať rôzne úrovne dehydratácie, je nevyhnutné formovať mechanizmy a zlepšovať stav vody, udržiavať nepretržitý rast koreňového systému, absorpciu a efektívny transport vody počas evaporačných porúch, alebo zvýšiť rezistenciu voči difúzii vodnej pary z listov do atmosféry (BRESTIČ, OLŠOVSKÁ, 2001 )

Každé semienko obsahuje zárodok k vzniku novej rastliny. Na to, aby vyklíčila nová rastlina, je potrebné semenu poskytnúť vhodné podmienky. Medzi základné životné podmienky v tomto prípade zaraďujeme vodu, teplo a vzduch (svetlo nie je nevyhnutne potrebné). Pri bližšej špecifikácii podmienok zistíme, že voda musí mať určitú kvalitu, hlavne by nemala obsahovať choroboplodné zárodky (aj keď rastlina si

---

pri klíčení vytvára látky proti rozmnoženiu baktérii a plesní) a veľa minerálov, či iných rozpustných látok vo vode (URL 4).

### **1.3 Úloha vody v rastovo – vývinovom procese**

Vývin rastlinného organizmu je komplexný proces. Z oplodnenej vajej bunky (zygoty) delením, predlžovaním a diferenciaciou vznikajú pletivá a orgány tvoriace organizmy. Na opísanie rôznych aspektov zmien, ktorými rastliny podliehajú počas svojho životného cyklu, sa používa niekoľko termínov. Vývin (morfogénéza) je pojem zahrňujúci sumu všetkých zmien, ktoré v organizme prebiehajú počas jeho ontogenézy od klíčenia cez vegetatívny rast, dospievanie, kvitnutie až po starnutie. Rast sa vzťahuje ku kvantitatívnym zmenám veľkosti a hmoty rastlín. Diferenciaciou pôvodné meristémové bunky menia svoju štruktúru, pričom nadobúdajú definitívnu funkciu v pletivách a orgánoch. Rast je najcharakteristickejším prejavom života rastlín.

Rastlinné spoločenstvá tvoria významnú zložku životného prostredia. Vývin rastlín ako jedincov, aj vývin rastlinných spoločenstiev ako celku prechádza viacerými etapami. Tento proces je podmienený vnútornými aj vonkajšími faktormi. Na úrovni jednotlivých rastlín je vývin ovplyvnený počasím a podnebím, ktoré patria medzi faktory vonkajšieho prostredia, prejavuje každoročne sa opakujúcimi životnými etapami, čiže fenologickými fázami. Veda, zaoberajúca sa časovým priebehom pravidelne sa opakujúcich prejavov živých organizmov v závislosti od počasia a podnebia sa nazýva fenológia. Je významnou doplnujúcou disciplínou nielen biometeorológie a bioklimatológie, ale aj mnohých ďalších vedných odborov (agronómie, lesníctva, geografie a pod.). Časová postupnosť fenologických fáz je ovplyvnená okrem vonkajších faktorov prostredia aj vnútornými danosťami rastlinného druhu (napr. kvitnutie pred zalisťovaním, dozrievanie plodov až v ďalšom vegetačnom období a pod.) (BÉDY, 2002).

Voda je nevyhnutným zdrojom pre život človeka i rastlín. V podmienkach, kde je nedostatok vody, je potrebný manažment vodných zdrojov tak, aby sa zachoval trvalo udržateľný charakter a stabilita prostredia. Keďže hrozba sucha a zasoľovania je stále aktuálna, je potrebné popísať, ako môžu rastliny optimalizovať využitie vody.

Zvýšenie efektívnosti využitia vody poľnohospodárskymi agroekosystémami je kritické z hľadiska zachovania potravinovej bezpečnosti a stability poľnohospodárskych

---

produkčných systémov. Napriek všetkému je stále nedostatok informácií medzi zainteresovanými a taktiež značná neochota spolupracovať.

Pár možností na zlepšenie porastov by bolo, ak by bolo možné transformovať hlavné porastové plodiny (napr. pšenicu) a identifikovať hlavné kľúčové gény a regulačné mechanizmy tzv. značkovaním alebo mutagenézou. Rovnako, nezanedbávať tradičné disciplíny, akou je napríklad fyziológia porastu, ktorá umožňuje lepšie porozumieť niektorým procesom na úrovni porastov (HABASCH, 2004).

### **1.3.1 Vplyv zníženej dostupnosti vody na rast listovej plochy**

Vodný deficit rastlín definuje vodnú bilanciu väčšiny rastlín s prevládajúcim transpiráciou nad príjmom vody v denných hodinách. Vodný deficit predstavuje rozdiel medzi skutočným obsahom vody v rastline a obsahom vody pri maximálnom nasýtení. Podľa doby trvania pasívnej vodnej bilancie rozlišujeme trvalý a prechodný vodný deficit. Trvalý vodný deficit je spôsobený nedostatočnou absorpciou vody z normálnych podmienok, najmä poklesom obsahu vody v pôde. Trvalý vodný deficit môže nastať aj v extrémnych podmienkach atmosférického sucha. V závislosti od veľkosti vodného deficitu dochádza k vädnutiu rastlín. Dočasné vädnutie ešte nie je prerušená schopnosť koreňov prijímať vodu a turgor rastlín sa obnoví a poklesne rýchlosť transpirácie. Trvalé vädnutie porušuje fyziologické procesy – fotosyntézu, spomalenie rastu až jeho zastavenie a tým aj výrazný pokles produkcie (MIŠTINA, 2004).

Pod veľkosťou listovej plochy rozumieme jej rozmery vyjadrené ako plocha jednej strany listu. Dynamika jej rastu sa mení v čase a priestore v závislosti od druhu plodín, vonkajšieho prostredia, ekofyziologických vzťahov v poraste, ako aj od zmien človekom regulovaných opatrení. Pre kvantitatívny opis zmien listovej plochy sa používajú presne definované ukazovatele a časovo – priestorové charakteristiky.

Trend klimatických zmien za posledných sto rokov signalizuje stály pokles sumy ročných atmosférických zrážok a pokles priemerných ročných priemerov relatívnej vlhkosti vzduchu. Súčasne sa zvyšujú priemerné ročné teploty vzduchu a narastajú evapotranspiračné požiadavky na vodu. Periódy sucha medzi atmosférickými zrážkami sa predlžujú, takže rastliny často trpia nedostatkom vody. Vodný stres (stres zo sucha) sa stáva prvoradým abiotickým stresovým faktorom, ktorý obmedzuje rast a produktivitu rastlín. Veľkosť vodného stresu možno hodnotiť napríklad i podľa stavu vodného potenciálu listov rastlín. Vo väčšine mezofilných rastlín hodnoty vodného



---

potenciálu  $-0,5$  MPa indukujú pôsobenie mierneho vodného stresu, od  $-0,5$  do  $-1,5$  MPa stresu stredne veľkého, a pri hodnotách pod  $-1,5$  MPa stresu veľmi silného. Pri veľmi silnom strese často klesá turgorový tlak v bunkách listov na nulu a listy začínajú vädnúť. Všeobecne, na dlhotrvajúci vodný stres rastliny reagujú rôznymi aklimačnými a adaptačnými reakciami a mechanizmami. Predovšetkým je to obmedzenie rastu a veľkosti listovej plochy. Na vode je závislý už embryonálny rast a zvlášť predĺžovací rast. Pri ňom je potrebná voda ako pre rast bunkovej steny, tak i protoplazmy (OLŠOVSKÁ, BRESTIČ, 2001; HAY, PORTER, 2006).

K merateľnému spomaleniu rastu buniek a listov dochádza pri poklese vodného potenciálu a tiež i turgoru o  $0,1$  až  $0,2$  MPa. Úplne zastavenie rastu nastáva pri poklese turgoru na  $0,3$  až  $0,4$  MPa, ešte pred zjavným vädnutím listu a ovplyvnením jeho najdôležitejších metabolických funkcií (vrátane fotosyntézy a transportu asimilátov) (MASAROVÍČOVÁ, REPČÁK et al., 2002). Podstatne sa zvyšuje koncentrácia ABA v listoch, kde má za následok zatváranie prieduchov. Rastliny môžu pokračovať v absorpcii vody len dotedy, dokedy ich vodný potenciál je nižší ako je vodný potenciál zdroja vody.

V prirodzených podmienkach je vývoj listov silne ovplyvňovaný premenlivosťou teploty prostredia a množstvom žiarenia v prostredí. Ak sú rastliny počas ontogenézy zasiahnuté zníženou dostupnosťou vody a listy, ktoré pribúdajú na rastline, sa vyvíjajú v podmienkach vodného stresu, ich výsledná listová plocha bude menšia ako potenciálna plocha daného listu. Aktuálna veľkosť listov však bude závislá na sile stresu a stupni osmotickej adjustácie (HAY, PORTER, 2006).

V konečnom dôsledku sa vodný stres prejaví na veľkosti listovej plochy nielen pri raste listovej plochy, ale aj v priebehu ontogenézy, kedy v dôsledku zvýšenej produkcie etylénu dochádza k stimulácii starnutia a opadu listov.

Vodný stres často mení disipáciu (rozptyľovanie) energie z listov. Ich teplota sa môže znížiť až o  $8$  °C, oproti teplote okolitého prostredia. Rôzne rastliny to dosahujú napríklad skrúcaním listov (napríklad kukurica), tvorbou trichómov rozptyľujúcich energiu žiarenia, otáčaním listov a podobne. Môžeme tu zaradiť aj vytváranie čo najmenších listov a prípadne stratu listov vôbec. Vodný deficit indukuje v niektorých rastlinách ukladanie hrubej vrstvy vosku na povrchu listov. Je dokázané, že pri vodnom strese sa rast listov zastavuje skôr ako ich fotosyntéza a fotosyntéza skôr ako transport asimilátov (MASAROVÍČOVÁ, REPČÁK et al., 2002).

---

### 1.3.2 Nástup fenologických fáz počas obdobia nedostatku vody

Globálne otepľovanie je najvýznamnejší environmentálny aj socioekonomický problém v doterajšej histórii ľudstva, ktorého dôsledky sa v plnej miere prejavujú už v 21. storočí (LAPIN, 1994). Jedno z rizík, ktoré by svojím dlhodobým charakterom mohlo podstatne ovplyvniť život ľudskej spoločnosti, je zmena klímy. Možné dopady klimatických zmien možno stručne špecifikovať nasledovne: zmeny teplotnej zabezpečenia rastlinnej výroby, zmenou fenologických podmienok rastlín, zmeny radiačnej zabezpečenia pôdnej vlhkosti, zmeny podmienok prezimovania rastlín, zmeny koncentrácie CO<sub>2</sub> a rast plodín, zmeny fyzikálnych a chemických vlastností pôd, zmeny vo výskyte chorôb, škodcov a burín (ŠPÁNIK, TOMLAI, 1997).

Fenologické pozorovania sú dôležitým indikátorom zmien environmentálnych podmienok, preto je im v súčasnosti venovaná stále väčšia pozornosť. Z hľadiska praktického poľnohospodárstva majú fenologické pozorovania nezanedbateľný význam z mnohých dôvodov. V dôsledku predpovedí nástupu fenofáz je možné určiť vhodný termín aplikácie postrekoch na ochranu rastlín proti chorobám a škodcom, závlahy (ŠIŠKA, MEZEYOVÁ, 2006).

Väčšinou sa fenologické fázy kryjú s obdobím intenzívneho rastu a tvorby reprodukčných orgánov. Obzvlášť citlivé na nedostatok vody sú peľové zrná, ktoré sa vplyvom sucha deformujú, strácajú životnosť a klíčivosť. Následkom je nedostatočné oplodnenie, niekedy neprerastenie peľu a tvorba napr. hluchých, sterilných častí v klase obilnín, šúľka kukurice a pod. Podobné následky však môže mať aj nadbytočná vlhkosť (ZIMA, 1997).

V našich klimatických podmienkach je typický výskyt periód sucha v posledných etapách ontogenetického cyklu obilnín s dopadom na výslednú úrodu. Jedným z účinných mechanizmov pre udržanie vysokých a stabilných úrod aj v rokoch charakteristických výskytom období sucha je posun kriticky dôležitých a citlivých fenofáz pred nástup vodného deficitu – únik pred stresom. To znamená, že sa fenofáza s vysokým nárokom na vodu posunie do obdobia, kedy ešte voda nie je limitujúcim faktorom (SLAFER et al., 2005).

Z hľadiska tvorby úrody sú najcitlivejšie dva procesy: fotosyntéza – produkcia asimilátov a založenie, vývin a rast generatívnych orgánov – ukladanie

---

nasyntetizovaných asimilátov. Fotosyntéza je realizovaná prostredníctvom listovej plochy a je značne ovplyvnená deficitom vody. Veľkosť celkovej fotosyntetickej produktivity je úmerná veľkosti listovej plochy, preto z produkčného hľadiska je obdobie dosiahnutia maximálnej listovej plochy kritickým obdobím (KOSTREJ et al., 1998).

V ontogenéze rastlín sú obdobia, kedy sú rastliny mimoriadne citlivé na nedostatok vody. Tieto obdobia nazývame kritickými a pre hlavné poľnohospodárske plodiny spadajú do nasledujúcich fenologických fáz:

- zimné obilniny – steblovanie a klasenie,
- jarné obilniny – tesne pred klasením,
- proso – klasenie a nalievanie zrna, kvitnutie až mliečna zrelosť,
- strukoviny – kvitnutie, nalievanie semien,
- zemiaky – kvitnutie, tvorba hl'úz,
- rajčiaky – kvitnutie, formovanie plodov,
- ovocné stromy (dreviny) – rast výhonkov, začiatok rastu plodov (ZIMA, 1997).

U jednotlivých plodín je potrebné rešpektovať kritické obdobia, kedy je rastlina zvlášť citlivá na nedostatok vody. Nedostatok vody je kritickým bodom rastu a produktivity rastlín. Ak chceme zvýšiť produkciu hospodársky významných rastlín potrebujeme poznať obranné a adaptačné mechanizmy kontrolujúce vodnú prevádzku rastliny. Vo všeobecnosti platí, že závlaha má najväčší vplyv tesne pred kvitnutím a v čase tvorby generatívnych orgánov. Veľmi dobrý efekt sa prejavuje v čase nalievania zrna. Ak je však veľké sucho v čase intenzívneho vegetatívneho rastu, je taktiež potrebné zavlažiť – má to vplyv na tvorbu kvetov. Rastlina v tomto období je o niečo menej citlivá na nedostatok vody a taktiež ju to núti lepšie rozvinúť koreňový systém (ZÁPOTOČNÝ, 2003).

Obdobie vodného stresu sa v našich pestovateľských podmienkach zvyčajne vyskytuje až v neskorších reprodukčných fázach a fáze naplňania zrn obilnín. Z hľadiska tvorby úrody je dôležité, kedy vodný stres nastupuje. Pri nástupe vodného deficitu pred kvitnutím dochádza u obilnín k poklesu počtu produktívnych klasov a poklesu počtu zrn v klase. Ak nastupuje stres v období od kvitnutia po dozrievanie,

---

znižuje sa hmotnosť zŕn redukciou rýchlosti a skrátením obdobia naplňania zŕn (SLAFER et al., 2005).

Vodný deficit najvýraznejšie ovplyvňuje počet zŕn v klase a percento neproduktívnych odnoží. Podľa IZANLOO et al. (2009) odrody tolerantné na sucho využívajú odlišné mechanizmy na redukciu účinkov vodného stresu, najmä vyššiu schopnosť osmotickej adjustácie, vyššiu prieduchovú vodivosť, nižší obsah ABA a schopnosť rýchlej adaptácie na podmienky dobrej zásobenosti vodou v cyklickom strese. Uvádza, že najmä kapacita osmotickej adjustácie je významným mechanizmom, ktorý zvyšuje toleranciu rastlín na sucho a tým prispieva aj udržaniu stabilných úrod.

Úroveň poklesu úrod závisí od intenzity, dĺžky pôsobenia sucha a špecifity druhu, resp. kultivaru. Aj keď sa výskum suchovzdornosti zameriava na štrukturálne a funkčné parametre všetkých orgánov rastlín, v centre pozornosti zostávajú najviac fotosyntetizujúce orgány (BRESTIČ, 2001).

#### **1.4 Význam vody vo fotosyntetických procesoch**

Udržanie života na Zemi nie je možné bez existencie autotrofných rastlín a organizácie procesov lokalizovaných cez štruktúry a aktivitu fotosyntetických pigmentov. Jeho celková kapacita na zemskom povrchu tvorí gigantický konvektor, ktorý transformuje energiu slnečného žiarenia na energiu chemických väzieb, využívanú ostatnými živými organizmami, emitujúc do prostredia kyslík. Suchozemská vegetácia, ktorá má esenciálne funkcie v ekosystémoch, vo výmene plynov, v produkcii kyslíka, biomasy a komponentov potrebných v kolobehu látok a energie ako aj v poľnohospodárskej produkcii, je v priebehu aktívnej činnosti vystavená edafickým, klimatickým a atmosférickým nerovnovážnym stavom (BRESTIČ, OLŠOVSKÁ, 2001).

Z hľadiska faktorov, ktoré rozhodujúcou mierou ovplyvňujú proces fotosyntézy, sú najvýznamnejšie:

- vlnová dĺžka a intenzita svetla - najvýhodnejšou zložkou svetla pre fotosyntézu je červené a modrofialové svetlo. Rastlina dokáže zo svetla, čo na ňu dopadne využiť asi 2%. Ostatné svetlo sa odráža, alebo prepúšťa. Pri zvyšovaní intenzity svetla fotosyntéza stúpa, ale zvyšovanie nad hranicu ďalšie zvyšovanie fotosyntézy neprináša,
- oxid uhličitý - z jedného gramu oxidu uhličitého sa vytvorí asi 0,5g sušiny. V atmosfére je koncentrácia CO<sub>2</sub> 0,03%. Veľké zvýšenie, alebo zníženie

---

koncentrácie spomaľuje až zastavuje fotosyntézu, menšie zmeny ju neovplyvňujú,

- o teplota - teplota ovplyvňuje fotosyntézu výrazne. Optimálna teplota sa u rôznych druhov rastlín pohybuje okolo 25-30°C. U väčšiny našich rastlín prebieha fotosyntéza v rozmedzí teplôt 0-40°C,
- o voda - je materiálom na fotolýzu vody. Ak je v rastline nedostatok vody, zatvoria sa prieduchy, ktorými do rastliny vniká CO<sub>2</sub> a spomalí sa fotosyntéza (URL 5).

Rastliny majú málo špecializované senzorické orgány. Receptory externých signálov sú často distribuované po celej rastline. Listy, stonky, kvety a plody obsahujú fotoreceptory, chlorofyly a karotenoidy, ktoré zachytávajú slnečné žiarenie pre fotosyntézu, určite jeden z najvýznamnejších biologických procesov (BRESTIČ, OLŠOVSKÁ, 2001). Fotosyntézu možno charakterizovať ako súbor fotofyzikálnych, fotochemických a biochemických procesov v rastlinnej bunke obsahujúcej asimilačné pigmenty, pomocou ktorých rastlina vytvára za účasti energie žiarenia z anorganických látok organické látky. Hovoríme o primárnych metabolitoch, ktoré sú zase základom pre syntézu sekundárnych metabolitov.

Z vnútorných fyziologických faktorov fotosyntézu najvýznamnejšie ovplyvňuje množstvo a kvalita chlorofylu, vodný potenciál pletiva, natívne rastové látky a stav ontogenetického vývinu rastliny. Z vonkajších faktorov najdôležitejšími sú energia žiarenia (kvalita i kvantita), koncentrácia CO<sub>2</sub>, teplota, zásobenie rastliny vodou a živinami. Ekotypové rozdiely vo výmene CO<sub>2</sub> medzi rastlinou a prostredím sa dávajú do vzťahu so zmenami v správaní sa prieduchov vo vzťahu k vodnému deficitu.

Rýchlosť fotosyntézy je inhibovaná vodným deficitom, pričom inhibícia je sprevádzaná zatváraním prieduchov a poklesom aktivity fotosyntetického aparátu. Pohyby prieduchov ovplyvňujú fotosyntézu a transpiráciu rôznou mierou. Kým transpirácia je ovplyvňovaná prakticky lineárne vodivosťou prieduchov začínajúc ich úplným otvorením, citlivosť príjmu CO<sub>2</sub> je nepriamo úmerná štvorcovej vodivosti prieduchov. Táto rôzna zmena citlivosti fotosyntézy a transpirácie pri poklese vodivosti prieduchov je spôsobom, ktorým mechanizmus spätných väzieb ovplyvňujúcich stav prieduchov reguluje difuzibilitu pokožky nezávisle pre vodnú paru a CO<sub>2</sub> (MASAROVÍČOVÁ, REPČÁK, 2002).

---

Spojenie medzi fotosyntézou a vodným režimom je podmienené vplyvom vody na veľký komplex životných procesov rastlinného organizmu. Pri nedostatku vody sa mení zloženie prvotných produktov fotosyntézy. Je potlačená tvorba zložitejších látok a narastá podiel dusíkatých frakcií voľných aminokyselín (hlavne alanínu a prolínu). Pôdne aj atmosferické sucho nielen znižuje rýchlosť fotosyntézy, ale ovplyvňuje rozdelenie produktov tvoriacich sa vo fotosyntéze (ŠVIHRA et al., 1989). Okolo 40 °C dochádza u väčšiny rastlín k výraznému poklesu fotosyntézy, ale fotorespirácia ešte stále pokračuje (URL 6).

V prirodzených podmienkach sú rastliny často ovplyvňované prítomnosťou vodného deficitu a s tým súvisiaceho stresu zo zasolenia. Fotosyntéza, rovnako ako celý proces rastu, je ovplyvňovaný týmito stresovými faktormi. Účinok oboch stresových faktorov na fotosyntézu je priamy (limitácia difúzných procesov cez prieduchy a v mezofyle, ako aj modifikácia metabolických procesov), alebo sekundárny, ako je oxidatívny stres, ktorý vyplýva z pôsobenia viacerých stresových faktorov. Uhlíková bilancia rastlín počas periódy stresu a následná obnova závisí od schopnosti fotosyntézy znášať stres a rýchlosti a stupňa stresu. Súčasné pohľady poukazujú na schopnosť rastlín rýchlo modifikovať expresiu génov paralelne s fyziologickými a biochemickými reakciami, čo nadobúda význam najmä pri miernom strese.

Z výsledkom vyplýva, že obidva stresové faktory (sucho a zasolenie) znižujú expresiu niektorých génom priamo súvisiacich s fotosyntézou. V porovnaní so suchom, zasolenie zasahuje viac génov a vo väčšej miere, čo vyplýva z kombinovaného efektu dehydratácie a osmotického stresu vzniknutého zo zasolenia (CHAVES, FLEXAS, PIHNEIRO, 2009).

#### **1.4.1 Nedostatok vody a regulácia prieduchovej otvorenosti listov**

Prieduchy (stomata) sú dvojice buniek fazuľovitého (obličkovitého) tvaru, medzi ktorými je prieduchová štrbina. Prieduchové bunky majú na strane štrbiny zhrubnutú bunkovú stenu. Na rozdiel od buniek pokožky obsahujú chloroplasty. Cez prieduchovú štrbinu rastlina odovzdáva do prostredia prebytočnú vodu vo forme vodnej pary - transpirácia - a taktiež uskutočňuje výmenu plynov (O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>). Výdaj vody sa deje regulovane. Prieduchové bunky obsahujú plastidy, a preto v nich prebieha fotosyntetická tvorba cukrov, čím stúpa ich osmotická hodnota, a preto osmoticky

---

prijímajú vodu. Tým v nich stúpa vnútorné napätie, turgor a štrbina je otvorená. Polykondenzáciou glukózy vzniká škrob, ktorý je málo rozpustný, čím sa zmenia osmotické pomery v bunke a tá stráca vodu. Poklesnutím turgoru v bunke sa mení ich tvar a štrbina sa uzatvorí, a tak sa znemožní ďalšie odparovanie vody cez prieduchy. (URL 7).

V prirodzených podmienkach sú rastliny nepretržite vystavené zmenám vonkajších faktorov a reagujú na intenzitu a kvalitu svetla, CO<sub>2</sub>, relatívnu vzdušnú vlhkosť, kyslík, teplotu, prístupnosť v pôde atď. Tieto faktory pôsobia simultánne na stupeň otvorenosti prieduchov stimuláciou, resp. inhibíciou otvárania, alebo ich zatvárania. Kontrolovaním efektívnosti výdaja vody rastlina súčasne upravuje fotosyntetickú aktivitu ako základ produkcie biomasy (BRESTIČ, OLŠOVSKÁ, 2001).

Prieduchy hrajú kľúčovú úlohu v aklimácii a adaptácii rastlín na ich prostredie. Intenzívne reagujú na početné impulzy z prostredia (intenzitu a kvalitu svetla, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, teplotu a relatívnu vlhkosť vzduchu, pôdnu zásobenosť vodou) ako aj na vnútorné pomery v rastline. Zohrávajú dôležitú úlohu v procese asimilácie – prostredníctvom ich prioritnej regulácie vodného režimu a prieniku CO<sub>2</sub> do rastliny. Zvýšená vodivosť prieduchov nie je len priamou výhodou pre fotosyntézu, ale znižuje teplotu porastu a predstavuje typ tolerancie k vysokým teplotám počas horúcich dní (FISCHER et al., 1998).

Pôdne sucho pôsobí na listy a prieduchový aparát bezprostredne a pôdne sucho je snímané prostredníctvom koreňov. Preto ich časový aj funkčný prejav bude odlišný. Atmosferické sucho pôsobí veľmi rýchle na mechanizmus hydroaktívneho zatvárania prieduchov. Pôdne sucho, vznikajúce postupne, vedie k adaptačným reakciám realizujúcich sa odlišnou intenzitou. Vodivosť prieduchov je v tesnejšej korelácii s obsahom vody v pôde ako s obsahom vody v listoch, čo dokumentuje existenciu mechanizmu nezávislého od hydraulického efektu. V špičkách koreňov sa syntetizuje ABA, ktorá funguje ako mediátor a chemický signál o sucho. Transpiračným prúdom sa dostáva do listov, kde spôsobuje zatváranie prieduchov, znižuje ich konduktivitu a transpirácie bez výraznejšej zmeny vodného potenciálu. Pre signalizovanie vysychania pôdy a zmien prístupnosti pôdnej vody je postačujúce malé množstvo koreňov, ktoré vytvorí dostatočné množstvo ABA (OLŠOVSKÁ, BRESTIČ, 2001).

Prieduchová regulácia strát vody, pôvodne pripisovaná strate turgescencie prieduchových buniek pri reakcii na dehydratáciu, sa zdá byť viac ako odpoveď rastlín

---

na vysychanie pôdy. Kyselina abscisová syntetizovaná v apexe koreňov a transportovaná transpiračným tokom až do listov, zohráva úlohu signálu indukujúceho zatváranie prieduchov. Strata vody sa uskutočňuje prostredníctvom tých istých prieduchových štrbín ako absorpcia CO<sub>2</sub>. Zatváranie prieduchov teda možno vyjadriť ako zvýšenie rezistencie k difúzii CO<sub>2</sub> od hraničnej vrstvy až po intercelulárne priestory. V rastlinách C3 typu metabolizmu je vonkajšia koncentrácia CO<sub>2</sub> pre fotosyntézu limitujúca. Vzniká však riziko, že dehydratácia a zatváranie prieduchov bude tiež redukovať čistú asimiláciu CO<sub>2</sub>. Význam zatvárania prieduchov v redukcii fotosyntézy pri vzniku edafického sucha, vystupuje veľmi frekventovane cez paralelizmus medzi znížením čistej asimilácie CO<sub>2</sub> a vodivosti prieduchov (DAVIES, ZHANG, 1991).

Endogénnym regulátorom vodnej bilancie rastlín je kyselina abscisová (ABA). Hlavným miestom jej syntézy sú listy, ale bola tiež zistená v koreňoch. Pri vodnom deficite sa v rastline prudko zrýchľuje jej syntéza. Pri silnom zvädnutí bolo zistené až 40- násobné zvýšenie obsahu ABA (PROCHÁZKA et al., 1998). ABA indukuje rýchle zatváranie prieduchov. Mechanizmus jej pôsobenia nie je zatiaľ presne definovaný, ale predpokladá sa, že pôsobí na aktívny transport K<sup>+</sup>, poprípade na hydrolýzu škrobu v zatváracích bunkách. Zároveň ABA zvyšuje permeabilitu koreňov pre vodu a je dôležitým regulátorom pre rastlinu niektorých životne dôležitých procesov, ako napr. latentnosť, dozrievanie semien, rast vegetatívnych orgánov alebo adaptácia rastlín voči nepriaznivým účinkom (GIRAUDAT et al., 1994).

Efektívnym mechanizmom udržiavajúcim vodu v listoch je heterogenita v zatváraní prieduchov. Je v prvej fáze dehydratácie, kedy umožňuje pokračovanie fotosyntetickej asimilácie až do štádia, keď dochádza k úplnému zatvoreniu prieduchov a pokles asimilácie CO<sub>2</sub> pod úroveň kompenzačného bodu.

Vyššie rastliny majú epidermu nadzemných orgánov pokrytú nepriepustnou kutikulou. Výmena plynov je na liste lokalizovaná v prieduchoch, ktoré tvoria ostiolu ohraničenú dvoma prieduchovými bunkami. Schopnosť apertúry prieduchov umožňuje regulovať výmenu plynov medzi rastlinou a atmosférou.

Pohyby prieduchov, resp. modulácia výmeny plynov s okolitým prostredím sú dôsledkom gradientov endogénnych faktorov v systéme koreň – stonka – list a signálov vonkajšieho prostredia. Kontrolovaním efektívnosti výdaja vody rastlín simultánne moduluje fotosyntetickú aktivitu determinujúcu produkciu biomasy. V prirodzených podmienkach sú rastliny nepretržite vystavené zmenám vonkajších faktorov. Reagujú na



---

rôzne signály: intenzitu a kvalitu svetla, CO<sub>2</sub>, saturačný deficit vodných pár v atmosfére, kyslík, teplotu, disponibilitu vody v pôde. Tieto faktory pôsobia simultánne na stupeň otvorenosti prieduchov stimuláciou alebo inhibíciou ich otvárania alebo zatvárania (OLŠOVSKÁ, BRESTIČ, 2001).

#### **1.4.2 Počet prieduchov v závislosti od zásobenosti rastlín vodou**

Tým, že rastliny sú súčasťou biosféry, v interakčnom vzťahu s jej jednotlivými prvkami sú nútené zachytávať environmentálne signály a reagovať na ne. Komunikačným prostriedkom rastlín zostávajú prieduchy, ktoré môžu mať vyvinuté špeciálne receptory pre priame zachytenie a prenos signálov. Prieduchy tvoria približne 0,1 – 3% celkovej plochy listu a sú principiálnou cestou vstupu CO<sub>2</sub> pre fotosyntézu a výstupu vodnej pary. Rýchlosť straty vody z prieduchov je porovnateľná s rýchlosťou výparu z voľnej hladiny ploche rovnajúcej sa ploche listu v dôsledku vejárovitej difúzie vody nad prieduchovými otvormi. Otvorenými prieduchmi dospelých listov sa realizuje 90-95% všetkej výmeny plynov medzi rastlinou a prostredím. Hustota prieduchov na mm<sup>2</sup> listovej plochy sa pohybuje od 15 – 1000 a ich veľkosť je závislá nielen od druhu rastliny, ale aj podmienok stanovišťa. Na liste sa súčasne nachádzajú prieduchy v rôznom štádiu vývinu. Sú lokalizované na vrchnej - adaxiálnej strane listu (epistomatické), spodnej - abaxiálnej (hypostomatické), alebo na oboch stranách listu (amfistomatické) (ZIMA, 1997). Najviac prieduchov je v pokožke listov. U suchozemských dvojkličnolistových rastlín sú prieduchy v spodnej pokožke listu, u jednokličnolistových rastlín väčšinou po oboch stranách listu. Rastliny, ktorým listy plávajú na vode majú prieduchy vo vrchnej pokožke. V pokožke listov sa nachádzajú zariadenia podobné prieduchom, ale bez schopnosti zatvárať sa - hydratody. Rastlina cez ne v určitých podmienkach (vysoká vlhkosť vzduchu, nižšia teplota) vytláča vodu vo forme kvapiek, čomu hovoríme gutácia (URL 7).

Nakoľko neexistuje vzťah medzi počtom prieduchov a transpiráciou listu, je možné urobiť záver, že rastliny zmenu v počte prieduchov kompenzujú veľkosťou prieduchových otvorov. Veľkosť prieduchových buniek je tiež variabilná a to i v rámci jednej rastliny. Veľkosť sa mení v závislosti od postavenia listu na stonke. Polyploidné rastliny majú spravidla väčšie prieduchy. Počet prieduchov na jednotku listovej plochy

---

závisí od ekologických podmienok, od postavenia listu na stonke. Počet prieduchov na 1 mm<sup>2</sup> je od 100 do 300. Suchomilné rastliny majú 1 mm<sup>2</sup> približne 50 prieduchov (HUDÁK et al., 1988).

#### **1.4.3 Efekt nedostatku vody na reakcie fotosyntézy rastlín**

Fotosyntéza je komplexným procesom zahŕňajúcich difúzne, biofyzikálne a biochemické procesy, detekovateľné na úrovni proteínov, makromolekulárnych komplexov, chloroplastov, protoplastov, listov až porastu. Predpokladá sa, že počas sucha sa stupeň dehydratácie stáva jediným limitujúcim faktorom a difúzia CO<sub>2</sub> do listu je daná otvorenosťou prieduchov. Obsah vody v listoch hydratovaných rastlín kolíše okolo 90% RWC. Ak prebieha dehydratácia rastlín v konštantných podmienkach žiarenia a teploty, obsah vody v mezofyle sa príliš nemení a znižuje sa v priemere o 5 - 7%. Predpokladá sa, že tento stav, korešpondujúci s vodným potenciálom  $\Psi_w = -0,5$  až  $-0,9$  MPa, je regulovaný rýchlym zatvorením prieduchov a osmotickou úpravou, ktorá má tendenciu udržať turgor a intaktnosť fyziologických procesov v listoch.

Napriek tomu, že listy obsahujú dostatok vody, zatváranie prieduchov limituje prísun CO<sub>2</sub> do chloroplastov. Zníženie vodivosti prieduchov má za následok pokles čistej asimilácie CO<sub>2</sub> a zníženie interného tlaku CO<sub>2</sub>. Touto reakciou sa veľmi rýchlo dosahuje kompenzačný bod fotosyntézy. Od tohto obdobia prakticky neprebíha výmena plynov medzi atmosférou a listom, avšak konverzia žiarivej energie ako aj tvorba produktov fosforylácie (ATP, NADPH) pokračuje (BRESTIČ, 2001).

Znížená vodivosť prieduchov má za následok obmedzenie prístupu CO<sub>2</sub> do listov a tým aj pokles rýchlosti čistej fotosyntézy. Podľa CHAVES et al. (2002) je RWC 70- 75% hranicou, pri ktorej sa objavuje limitácia fotosyntézy poklesom aktivity enzýmu Rubisco.

Na úrovni fotosyntetického aparátu sa veľmi citlivým k environmentálnym stresom javí fotosystém II. Z literatúry je známa jeho pomerne veľká rezistencia k vodnému deficitu (LU, ZHANG, 1999) a stálosť maximálnej fotochemickej efektívnosti i pri vysokom deficite vody. Fluorescencia chlorofylu *a*, ako rýchly

---

a nedeštrukčný prostriedok, umožňuje v krátkom časovom intervale sledovať zmeny redoxného stavu na úrovni PSII.

## **1.5 Interakcia pôsobenia vysokej teploty a zníženej dostupnosti vody na fyziologické procesy rastlín**

Environmentálne stresy limitujú produkciu porastov a kvalitu ich úrody. Optimalizácia produkcie porastov a kvality úrody pre dané podmienky závisí od schopností kontrolovať a regulovať tri hlavné faktory:

- pôdne prostredie a v ňom dostupnosť vody, minerálov a vzduchu,
- prostredie porastu a v ňom veľkosť aridných zón z dôvodu nízkeho osmotického potenciálu zapríčineného vodným potenciálom listovej plochy a svetelný režim,
- a pomer medzi vegetatívnou a generatívnou zložkou (BRAVDO, 2009).

V prirodzených podmienkach nie je možné oddeliť pôsobenie jednotlivých environmentálnych faktorov, preto sa často hovorí o tzv. kombinovanom strese, t. j. keď niekoľko faktorov pôsobí súčasne na rastlinný organizmus. Je dôležité si uvedomiť, že takéto pôsobenie môže u rastlín vyvolávať odlišné reakcie v porovnaní s pôsobením jednotlivých faktorov samostatne, pretože dochádza ku tzv. interakciám (MITTLER, 2009).

Vysoká teplota zasahuje fotosyntézu zmenou distribúcie excitačnej energie na úrovni tylakoidnej membrány a mení aktivitu Calvinovho cyklu a ďalších metabolických procesov. S narastajúcou teplotou dochádza najprv k rozpadu jednotlivých častí fotosystému a následne k denaturácii proteínov. Teplota limituje dostupnosť CO<sub>2</sub> zvýšením rezistencie difúzie plynov v listoch alebo zmenou relatívnej rozpustnosti CO<sub>2</sub> a O<sub>2</sub>.

V prirodzených podmienkach nie je možné eliminovať pôsobenie niektorého z abiotických faktorov prostredia. Ich vzájomný vzťah je pomerne zložitý a prejavuje sa synergickým alebo antagonistickým pôsobením s výsledným dopadom na fyziologické procesy rastlín. Napríklad, kým nie je dostupnosť vody limitujúca, transpirácia zabraňuje prehrievaniu listov, a tým eliminuje účinok teploty na minimum (REPKOVÁ, 2007).

Predpokladané zvýšenie teplôt vzduchu v súvislosti so zvýšenou koncentráciou CO<sub>2</sub> môže tiež spôsobiť zvýšenie intenzity fotosyntézy. Intenzita fotosyntézy je totiž

---

výrazne závislá na teplote rastlinného pletiva. Známe sú zovšeobecnené závislosti medzi intenzitou fotosyntézy a teplotou (JONES, 1983). Tieto závislosti majú maximum pri teplotách medzi 20 až 40 °C, pričom teplomilné druhy majú maximum posunuté smerom k vyšším teplotám. Maximálna intenzita fotosyntézy zemiakov je pri teplote pletív 31°C, rajčiak má maximum pri 35°C, uhorka pri 37°C. Pri teplotách pletív prevyšujúcich maximá, intenzita fotosyntézy prudko klesá. Teplota, pri ktorej je intenzita fotosyntézy toho istého rastlinného druhu maximálna, závisí na teplotách prostredia, v ktorom rastlina vegetovala. To znamená, že rastlina rastúca v relatívne chladnejších podmienkach má maximum pri nižších teplotách ako rastlina neadaptovaná na vyššie teploty. Porušenie buniek zemiakov môže nastať pri teplotách vyšších ako 42°C, pre teplomilné rastliny z púštného prostredia sa bunky neporušia ani pri teplote pletív 52°C (JONES, 1983). Z hore uvedeného vyplýva, že pre rastliny mierneho pásma, kde teploty listov zriedkavo presahujú 25°C, zvýšenie ich teploty môže spôsobiť zvýšenie intenzity fotosyntézy (ŠPÁNIK, 1994).

JIANG et al. (2006) zaznamenal, že termostabilita fotosyntetického aparátu je ovplyvnená teplotou prostredia, v ktorom sa listy vyvíjali a zvyšuje sa spolu s vekom listov. Zatiaľ čo v mladých listoch fotosystém PSII ešte nie je úplne vyvinutý a kyslík-vyvíjajúci komplex zaznamenáva vyššiu citlivosť k pôsobeniu teplôt, s nastupujúcou dospelosťou listov sa termostabilita reakčných centier fotosystémov zvyšuje.

Vzájomný vzťah medzi deficitom vody a ďalšími environmentálnymi faktormi je pomerne zložitý. Kým nie je dostupnosť vody limitujúca, transpirácia zabraňuje prehrievaniu listov, a tým eliminuje účinok teploty na minimum (LARCHER, 1995). Avšak neskôr, pri silnom deficite vody, je komplikované oddeliť priamy účinok teploty od vplyvu dehydratácie. Pri miernom deficite vody vzniká antagonistický účinok dehydratácie na účinok vysokej teploty na termostabilitu fotosystému PSII (HAVAUX, 1992; LU, ZHANG, 1999). Predpokladá, že zvýšená termostabilita PSII je spojená s akumuláciou rozpustných zlúčenín, ktoré sa syntetizujú účinkom dehydratácie a prispievajú tak k stabilizácii tylakoidnej membrány.

---

## 2. Cieľ práce

Cieľom bakalárskej práce s témou „*Účinok zníženej dostupnosti vody na rastovo-vývinové procesy a fyziologické reakcie rastlín*“ bolo definovať účinok nedostatku vody na rast listovej plochy a nástup fenologických fáz u vybraných plodín, ako aj na fotosyntetické procesy najmä v interakcii s vysokou teplotou.

---

## 3. Materiál a metódy

### 3.1 Biologický materiál

Ako biologický materiál bol použitý jačmeň jarný (*Hordeum vulgare* L.), odroda 'Xanadu', stredne skorá odroda s krátkym stebлом a stredne skorým vývojom, s vysokou hustotou rastlín a stredne vysokým počtom zrn v klase, ktorá je odolná voči poliehaniu, múčnatke trávovej, s vysokou odolnosťou voči hrdzi jačmennej a fuzariózam v klase a strednou odolnosťou voči hnedej a rychnospóriovej škvrnitosti.

Ako druhá modelová plodina bol použitý bôb konský (*Faba vulgaris* L.), ktorý má pri klíčení pomerne vysoké nároky na vlhku, ale nižšie nároky na teplotu a mladé rastliny znesú bez poškodenia aj niekoľkodňové mrazy.

### 3.2 Spôsob pestovania

Rastliny boli pestované formou nádobového vegetačného pokusu v nádobách s priemerom 18cm a plochou 0,025m<sup>2</sup> s pôdnorašelinovým substrátom, v ktorých bol aplikovaný Cererit v dávkovaní 2,5g na 1 nádobu pre optimalizáciu minerálnej výživy.

Hustota rastlín bol v prípade jačmeňa 12 rastlín na jednu nádobu, v prípade bôbu 7 rastlín na jednu nádobu.

Časť rastlín – prvý variant- bola pestovaná s plnou zálievkou a označená ako PZ a časť rastlín – druhý variant- mala zálievku obmedzenú na polovicu z dávky určenej pre prvý variant. Druhý variant bol označený ako 1/2Z.

Rastliny boli pestované v klimatizovanom boxe, kde bola nastavená fotoperiódá 14 hod deň a 10 hod noc s teplotou 23°C. V boxe bolo namerané fotosynteticky aktívne žiarenie v rozsahu 250 – 300  $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ .

Teplotný stres bol simulovaný pomocou vodného kúpeľa, kedy časť odobratej vzorky bola 30 minút inkubovaná pri teplote 40°C. Fotosyntetické parametre bol merané pred a po inkubácii pri vysokej teplote.

### 3.3 Relatívny obsah vody v listoch (RWC)

Relatívny obsah vody v listoch udáva obsah vody v pletive listu relatívne k maximálnemu obsahu vody v pletive po saturácii. Segment zo strednej časti listu sa

---

nechal saturovať destilovanou vodou 4 hod pri teplote 4°C (BARR, WEATHERLEY, 1962). Po saturácii sa vzorka vysušala 12 hod pri teplote 100°C na určenie hmotnosti sušiny. Hodnota RWC bola vypočítaná podľa rovnice:

$$RWC = \frac{FW - DW}{SW - DW} 100 \quad [ \% ]$$

kde FW je čerstvá hmotnosť, DW je hmotnosť sušiny a SW je saturovaná hmotnosť.

### 3.4 Kvantitatívne stanovenie asimilačných pigmentov

Stanovenie koncentrácie asimilačných pigmentov sa uskutočnilo spektrofotometricky (Jenway 6405 UV/Vis., UK) meraním absorbancie pigmentov v acetónovom extrakte pri vlnových dĺžkach 470 (celkové karotenoidy), 647 (chl *b*) a 663nm (chl *a*) (ŠESTÁK, ČATSKÝ, 1966). Koncentrácie pigmentov boli kalkulované podľa rovníc (LICHTENTHALER, 1987):

$$\text{chlorofyl } a = (12,25 * A_{663} - 2,79 * A_{647}) * D \quad [\text{mg.l}^{-1}]$$

$$\text{chlorofyl } b = (21,5 * A_{647} - 5,10 * A_{663}) * D \quad [\text{mg.l}^{-1}]$$

$$\text{chlorofyl } a + b = (7,15 * A_{663} - 18,71 * A_{647}) * D \quad [\text{mg.l}^{-1}]$$

$$\text{celkové karotenoidy} = [(1000 * A_{470} - 1,82 * (\text{Chl } a) - 85,02 * (\text{Chl } b)) / 198] * D \quad [\text{mg.l}^{-1}]$$

kde A- absorbanca, D- hrúbka spektrofotometrickej kvvety (cm).

Z listovej vzorky bolo vyseknutých 5 terčiekov, ktoré sa rozotreli v trecej miske spolu s kremičitým pieskom, uhličitanom horečnatým a pár kvapkami 100%-ného acetónu. Následne sa zmes kvantitatívne preliala 5ml 80%-ného acetónu, nechala odstrediť v centrifúge 2 minúty pri 2000 otáčkach. Nakoniec bola meraná absorbanca pri daných vlnových dĺžkach.

Prepočet na jednotku listovej plochy:

---

Koncentrácia pigmentov [ $\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}$ ] =  $(V/1000 \cdot 1/A) \cdot$  koncentrácia pigmentov [ $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ ],  
kde V je objem použitého roztoku 80%-ného acetónu (5 ml) a A je plocha použitej vzorky ( $\text{m}^2$ ).

### 3.5 Meranie vodivosti prieduchov porometricky

Difúzna vodivosť – konduktancia ( $\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ) individuálnych listov bola meraná porometrom Decagon Devices (USA). Princíp merania vychádza zo stanovenia rýchlosti výdaja vody z povrchovej vrstvy listu, pričom z hodnôt časových impulzov a snímanej teploty listu sa sekundárne pomocou počítačového programu zostaveného na základe kalibračného grafu vypočítajú hodnoty difúznej vodivosti.

### 3.6 Určovanie počtu prieduchov

Určenie počtu prieduchov sa uskutočnilo mikroskopicky na základe odtlačkovej metódy pozorovania prieduchov. Pomocou priesvitného laku a lepiacej pásky sa urobil odtlačok z vrchnej a spodnej strany listu oboch druhov a variantov rastlín. Na týchto odtlačkoch sa následne mikroskopicky pozorovalo uloženie a počet prieduchov na  $1 \text{ mm}^2$ .

### 3.7 Rýchla kinetika fluorescencie chlorofylu *a*

Princíp metódy vychádza zo skutočnosti, že fluorescencia pochádza prioritne z molekúl chlorofylu spojených s PSII, s malým podielom fotosystému PSI. Rýchla kinetika fluorescencie chlorofylu *a* bola meraná prenosným fluorometrom Handy PEA (Plant Efficient Analyser) (Hansatech Instruments, Norfolk, England) a analyzovaná JIP- testom (STRASSER et al., 1995), softwerom Handy PEA 1.3 a programom Biolyzer® 3.06. Použitý bol 1s pulz červeného svetla intenzity  $3500\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  po 30min adaptácii vzorky na tmu pred a po aplikácii teplotného testu. Fluorescenčné signály boli zaznamenávané v časovom úseku 1s a zobrazené v logaritmickej časovej mierke.

#### **Vybrané parametre JIP testu (STRASSER et al., 1995):**

$F_0 - F_{50\mu\text{s}}$ , fluorescencia pri  $50\mu\text{s}$  (počiatočná fluorescencia)

$F_M$  ( $F_m$ ) - maximálna fluorescencia



---

Fv – variabilná fluorescencia daná ako rozdiel maximálnej a počiatkovej fluorescencie  
Fv/Fm – maximálna fotochemická efektívnosť PSII, zisťuje sa v stave, kedy sú takmer všetky reakčné centrá otvorené a je definovaná ako kvantový výťažok transportu elektrónov na primárny akceptor.  
PI (abs) - performance index, tzv. index výkonnosti, vypočítaný na absorpčnom základe

### **3.8 Meranie modulovanej fluorescencie chlorofylu *a* pomocou MaxiImaging-Pam**

Fluorescencia chlorofylu *a* je jav vyvolaný absorpciou energie dopadajúceho žiarenia molekulami chlorofylu *a* rastlín a následnou emisiou časti tejto energie späť do okolia rastliny v podobe žiarenia s väčšou vlnovou dĺžkou. Meranie fluorescencie chlorofylu prebieha vo vlnovej dĺžke 690 nm. MaxiImaging Pam (Walz, Germany) ponúka široké spektrum možností pozorovania variability fluorescenčných reakcií na úrovni povrchu celého listu. Využíva sa pritom metóda saturačných pulzov, ktorá poskytuje nedeštruktívny prostriedok na analýzu fotosyntetickej výkonnosti rastlín.

#### **- základné merané parametre:**

F0 - fluorescencia chlorofylu *a* meraná ožiarením listu adaptovaného na tmu modulovaným červeným svetlom veľmi slabej intenzity,

Fm - fluorescencia chlorofylu *a* stanovovaná na úrovni plató počas aplikácie saturačného pulzu u listov adaptovaných na tmu,

Fm' – maximálna fluorescencia chlorofylu *a* rastlín adaptovaných na svetlo,

F – fluorescencia chlorofylu v podmienkach ustálených asimilačných procesov počas aplikácie saturačného pulzu

#### **- kalkulované parametre:**

Fv/Fm - maximálna fotochemická efektívnosť, zisťovaná po adaptácii vzorky na tmu, keď sú všetky reakčné centrá otvorené a nefotochemická disipácia je minimálna

$$Fv/Fm = (Fm-F0)/Fm$$

Y(II) – efektívny kvantový výťažok fotosystému II

---

$$Y(II) = (Fm' - F) / Fm'$$

ETR - rýchlosť elektrónového transportu, predstavuje počet elektrónov pretransportovaných fotochemickým reťazcom za časovú jednotku,

$$ETR = Y(II) * FAR * 0,5 * 0,84$$

kde FAR je intenzita fotosynteticky aktívneho žiarenia (FAR), 0,5 je podiel PSII na pohlcovaní FAR, 0,84 je pomerná pohltivosť FAR listom

qP – vyjadruje úroveň energie excitónov využitej vo fotochemickom reťazci, tento koeficient vyjadruje celkovú otvorenosť reakčných centier,

$$qP = (Fm' - F) / (Fm' - F0')$$

kde F0' je minimálna fluorescencia osvetlenej vzorky, kalkulovaná ako  $F0' = F0 / (Fv / Fm + F0 / Fm')$

qN – pokrýva frakciu excitačnej energie vyžiarenej z antén vo forme tepla,

$$qN = (Fm - Fm') / (Fm - F0'),$$

kde F0' je minimálna fluorescencia osvetlenej vzorky, kalkulovaná ako  $F0' = F0 / (Fv / Fm + F0 / Fm')$

NPQ - pokrýva frakcie excitačnej energie vyžiarenej z antén vo forme tepla

$$NPQ = (Fm - Fm') / Fm'$$

### 3.9 Rastové charakteristiky

Predmetom zisťovania rastovej analýzy boli charakteristiky (ŠESTÁK, ČATSKÝ, 1966):

- priemerná výška rastliny,
- veľkosť listovej plochy lineárnou metódou: listová plocha =  $d * š * k$ , kde  $d$  je dĺžka listu,  $š$  je šírka listu,  $k$  je koeficient prepočtu, pre jačmeň  $k = 0,64$  a pre bôb  $k = 0,76$
- počet listov hlavného stebľa, resp. hlavnej stonky a odnoží, resp. bočných stoniek
- počet odnoží, resp. bočných stoniek – produktívnych a neproduktívnych,
- hmotnosť sušiny biomasy nadzemnej časti,
- makro a mikrofenoologická fáza.

---

## 4. Výsledky a diskusia

### 4.1 Rastovo-vývinové charakteristiky bôbu a jačmeňa

Jačmeň jarný je po pšenici najpestovanejšou obilninou na Slovensku. Je dôležitou surovinou pre výrobu sladu a následne finálneho výrobku – piva. Úroda jačmeňa jarného sa vytvára v relatívne v krátkom vegetačnom období (95 – 120 dní). Preto je potrebné, aby koreňová sústava mala dobre zaistený dostatočný príjem živín, vody a netrpela nedostatkom vzduchu. Sucho a nedostatok dusíka obmedzuje produkciu jačmeňa. Voda a účinky výživy sú v silnom vzájomnom prepojení. Zlepšenie vodnej kapacity zvyšuje príjem živín, lepšia využiteľnosť živín prispieva k účinnejšiemu využitiu dostupnej vody (BABULICOVÁ et al., 2007).

V poslednom období sme svedkami globálneho otepľovania Zeme, posunu vysokých teplôt na mesiace máj a jún. Práve v tomto čase je jačmeň jarný citlivý na nedostatok zrážok a vysoké teploty, ktoré ovplyvňujú počet produktívnych odnoží na jednotku plochy a neskôr proces tvorby zrna v klase a v záverečných fázach dozrievania zrna a jeho hmotnosť. V porovnaní s inými obilninami mierneho pásma je jačmeň jarný menej náročný na vodu. Časté zrážky predlžujú vegetačné obdobie a spravidla rozširujú pomer slamy a zrna v prospech slamy. Zhoršuje sa tým zberový index zrna a pri intenzívnych zrážkach stúpa v zrne obsah dusíka, klesá objemová hmotnosť a vyrovnanosť zrna. Transpiračný koeficient jačmeňa je 258 až 676, priemerne 300 až 350.

Optimálne zrážkové pomery pre jačmeň jarný počas ontogenézy sú nasledovné: v mesiacoch január a február 60 – 65 mm, marec 30 – 35 mm, apríl 40 – 45 mm, 50 – 60 mm v máji, jún 55 – 65 mm rovnomerne rozdelených počas jednotlivých mesiacov. Optimálne priemerné mesačné teplôt sú: marec 5 až 7 °C, apríl 10 – 12 °C, máj 17 – 20 °C, jún do 25 °C.

Minimálna teplota pre klíčenie jačmeňa je 1 - 2 °C. Po vyklíčení koreňa sa ukáže prvý list hlavného stebľa. Na hlavnom stebli sa vytvorí obvykle 8 -9 listov, neskoršie odrody môžu vytvárať viac listov. Objavenie sa posledného listu, nazývaného zástavkový list, je dôležitou fázou pre určenie aplikácie rastových regulátorov. Keď má rastlina 3 listy, začína odnožovať. Schopnosť odnožovať je dôležitým ukazovateľom

---

adaptability rastliny na meniace sa podmienky prostredia. V nepriaznivých podmienkach rastlina odnožuje málo a odnože predčasne odumierajú (KOVÁČ, 2009).

Množstvo zrážok za rok sa v našich podmienkach oblastiach pestovania jačmeňa pohybuje od 450 do 650 mm. Vzhľadom na krátku vegetačnú dobu a zvýšené požiadavky na vlahu v čase steblovania a klasenia záleží na rozdelení zrážok počas vegetácie. Rýchly rast jačmeňa na jar umožňuje dobre využiť zimnú vlahu. Vhodné sú menšie marcové a aprílové zrážky. Získa si tým primeranú vlhkosť ornice v hornej vrstve, čo umožňuje jačmeňu dobre klíčiť, vzhádzať a odnožovať. Pre fázu steblovania a klasenia sú dôležité májové a júnové zrážky. Sucho najviac jačmeňu škodí v máji a začiatkom júna, keď jačmeň začína klasiť. Sucho a horúčavy v čase dozrievania vyvolávajú núdzové dozrievanie. Steblo takmer celé rýchlo zaschne, čím trpí kvalita zrna.

Tolerancia na sucho je komplexný a zložitý znak, na ktorý okrem vonkajších faktorov výrazne vplýva aj veľkosť koreňovej sústavy a jej schopnosť prerásť do väčšej hĺbky pôdneho profilu, veľkosť asimilačného aparátu na jednotku plochy (listová pokrývnosť s prihliadnutím na zníženie výparu vody z pôdy) a dĺžka reprodukčnej fázy oproti vegetatívnej fáze vývoja (HOLKOVÁ et al., 2003).

Bôb konský sa zaraďuje k strukovinám z čeľade bôbovité rastliny, ktoré sú schopné žiť v symbióze s rizóbiami (hrčkotvornými baktériami) fixujúcimi vzdušný dusík. Významnou vlastnosťou strukovín je ich malá reakcia na intenzifikačné faktory a vysoká elasticita vo vzťahu k ekologickým podmienkam prostredia. Nároky na vodu sú pomerne vysoké (hodnoty transpiračného koeficientu sa pohybujú v rozmedzí 600-1100). V rámci individuálneho rastu a vývinu každého druhu existujú kritické obdobia v požiadavkách na vodu:

- obdobie vzhádzania,
- obdobie butonizácie,
- a obdobie nalievania semien.

Nedostatok vody v týchto obdobiach blokuje tvorbu a transport asimilátov, inhibuje aktivitu rizóbií, zapríčiňuje zhadzovanie strukov, ovplyvňuje vývin semien a ich predčasné dozrievanie. Pre klíčenie strukovín je dôležitá minimálna teplota, ktorá sa pohybuje medzi 3-5 °C. Teplota ovplyvňuje aj dĺžku obdobia klíčenia a vzhádzania. Bôb má pri klíčení nižšie nároky na teplotu, ako hrach. Mladé rastliny znesú bez poškodenia aj niekoľkodňové mrazy. Hrach a bôb majú pri klíčení veľké nároky nielen na teplotu, ale aj na vlahu. Pre napučevanie potrebujú asi 80-120% vody z hmotnosti

---

semien. Kvitnutie strukovín je zdĺhavé, trvá 4 až 6 týždňov. Ak sa k tomu pripočíta obdobie diferenciacie generatívnych orgánov, potom celá generatívna fáza vývinu je dlhá a môže byť značne ovplyvňovaná nepriaznivými faktormi prostredia.

Makrofenologicky sa za prechod do generatívneho obdobia považuje vytvorenie prvého kvetu na rastline - dôležitý fenologický ukazovateľ, ktorý je kritériom hodnotenia skorosti odrody. Nízka teplota urýchľuje diferenciaciu kvetných hrbolčekov pred diferenciáciou listu. S predlžujúcou dĺžkou dňa sa kvet, alebo struk zakladá za nižším internódiom. Dĺžka obdobia kvitnutia je u väčšiny odrôd v priamom vzťahu k úrode. Čím je dlhšia doba kvitnutia, tým viac strukov sa vytvorí.

Po ukončení fázy predlžovania strukov sa rýchlo akumulujú zásobné látky v semenách a to až do 40-45 % obsahu sušiny. Semená dosahujú optimálnu hmotnosť sušiny 45-48 %. V čase kvitnutia a dozrievania sú citlivé na poveternostné podmienky a tiež na veľmi dlhé generatívne obdobie, ktoré sú jedným z hlavných príčin neistoty z tvorby úrod strukovín (KOSTREJ et al., 1998).

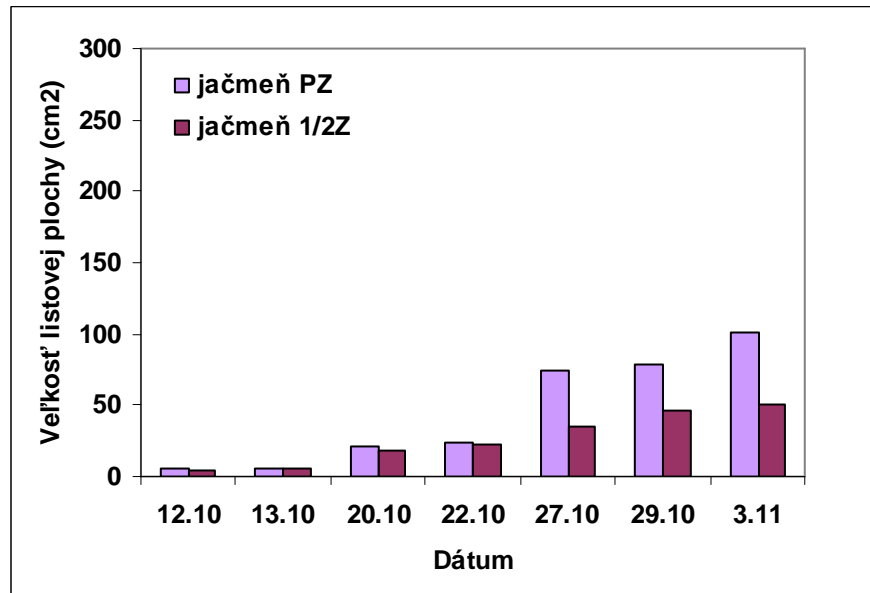
#### **4.1.1 Rast listovej plochy u vybraných plodín**

Vývoj listov je v prirodzených podmienkach silne ovplyvňovaný premenlivosťou teploty prostredia a množstvom žiarenia, ktoré sa nachádza v prostredí. Ak sú rastliny počas vegetačného obdobia ovplyvňované zníženou dostupnosťou vody, listy, ktoré pribúdajú na rastline, sa vyvíjajú v podmienkach vodného stresu. Ich výsledná listová plocha preto bude redukovaná ako potenciálna plocha daného listu, ak by sa list vyvíjal v optimálnych podmienkach. Aktuálna veľkosť listov je preto závislá na intenzite vodného deficitu a na stupni osmotickej adjustácie, ktorá zmierňuje pôsobenie dehydratácie (HAY, PORTER, 2006). U obilnín, ktorých dochádza k zväčšovaniu listovej plochy najmä prostredníctvom predlžovania listov, deficit vody sa prejavuje spomalením až zastavením predlžovacieho rastu listov, ako uvádza OLŠOVSKÁ, BRESTIČ (2001).

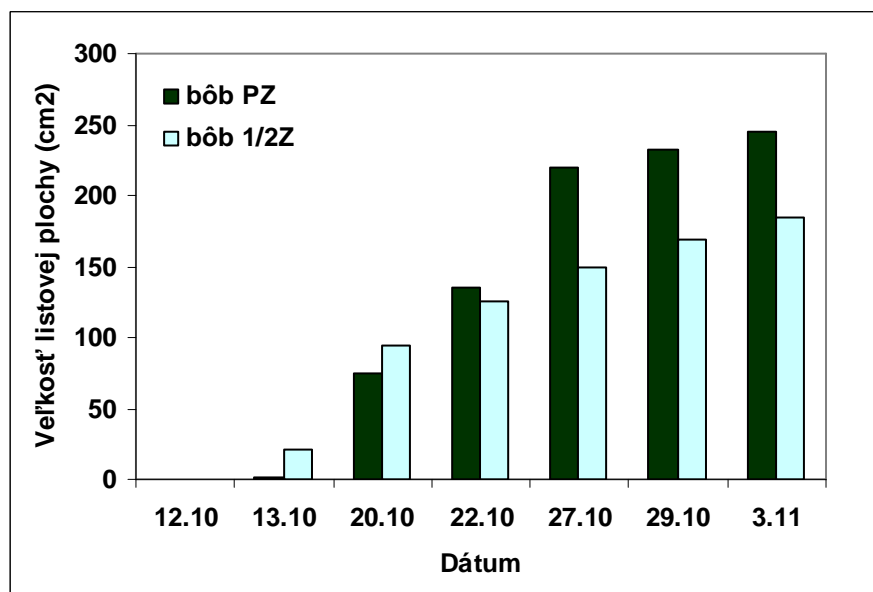
V konečnom dôsledku sa deficit vody preukáže na veľkosti listovej plochy nielen pri jej raste, ale aj v priebehu vegetačného obdobia, kedy dochádza k zvýšenej produkcii etylénu, výsledkom čoho je urýchlenie starnutia rastlín a stimulácia opadu listov.

V počiatočných fázach rastu jačmeňa nebol badateľný rozdiel vo veľkosti listovej plochy medzi rastlinami s plnou a polovičnou zálievkou (Obr. 1). Rozdiel začal

byť preukazný 20.10 a 22.10, kedy rastliny s plnou zálievkou zvyšovali veľkosť svojej listovej plochy. V priebehu niekoľkých dní sa tento rozdiel zvýšil takmer o 45% a na konci sledovaného obdobia mali rastliny s plnou zálievkou veľkosť listovej plochy väčšiu o viac ako 50%.



Obr.1 Veľkosť listovej plochy nameraná u jačmeňa s plnou (PZ) a polovičnou (1/2Z) dávkou vody v priebehu ontogenézy.

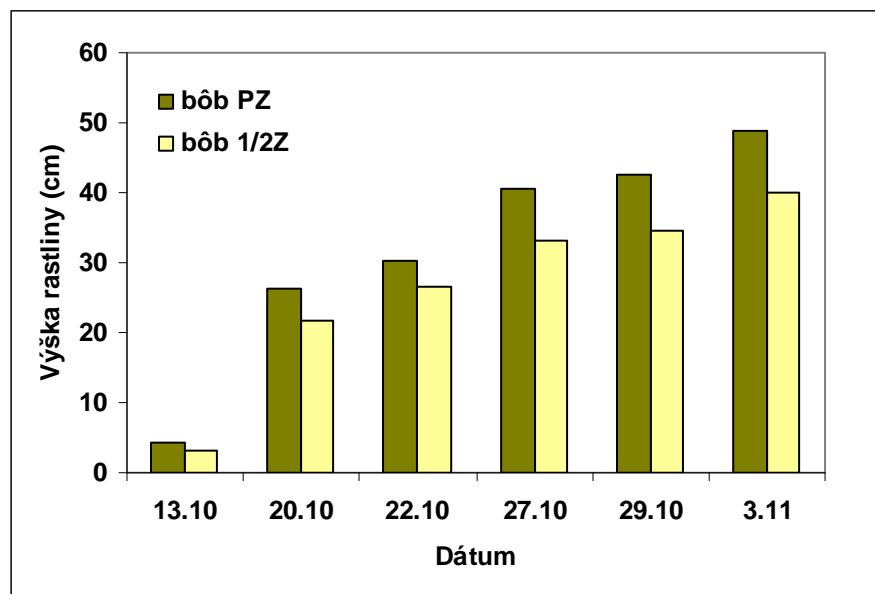


Obr. 2 Veľkosť listovej plochy počas vybraného obdobia ontogenézy u dvoch variantov bôbu – rastliny s plnou zálievkou (PZ) a rastliny s polovičnou dávkou vody (1/2Z).

U bôbu bol na začiatku vegetačného obdobia zaznamenaný trochu rozdielny trend, kedy na začiatku sledovaného obdobia mali väčšiu listovú plochu rastliny s polovičnou zálievkou (Obr. 2). Avšak veľmi rýchlo veľkosť listovej plochy rastlín

s plnou zálievkou začala prevyšovať veľkosť listovej plochy rastlín s polovičnou zálievkou až do skončenia merania. Rozdiely medzi veľkosťami listovej plochy oboch variantov však nedosahovali percentuálne také hodnoty ako pri jačmeni, čo možno odôvodniť celkovým počtom listov, ktoré rastliny vytvorili.

Z hľadiska hodnotenia celkového habitu bola u rastlín bôbu zaznamenaná okrem redukcie veľkosti listovej plochy aj redukcia dĺžky hlavnej stonky u rastlín ošetrovaných polovičnou dávkou vody a to o 10-20% (Obr. 3). Rastliny bôbu plnou zálievkou si počas celého obdobia udržiavali vyššiu výšku ako rastliny s polovičnou zálievkou.



Obr. 3 Zmena výšky rastlín bôbu počas ontogenézy v závislosti od množstva vody, ktoré bolo rastlinám dodané (PZ – plná zálievka, 1/2Z – polovičná dávka vody v porovnaní s plnou zálievkou).

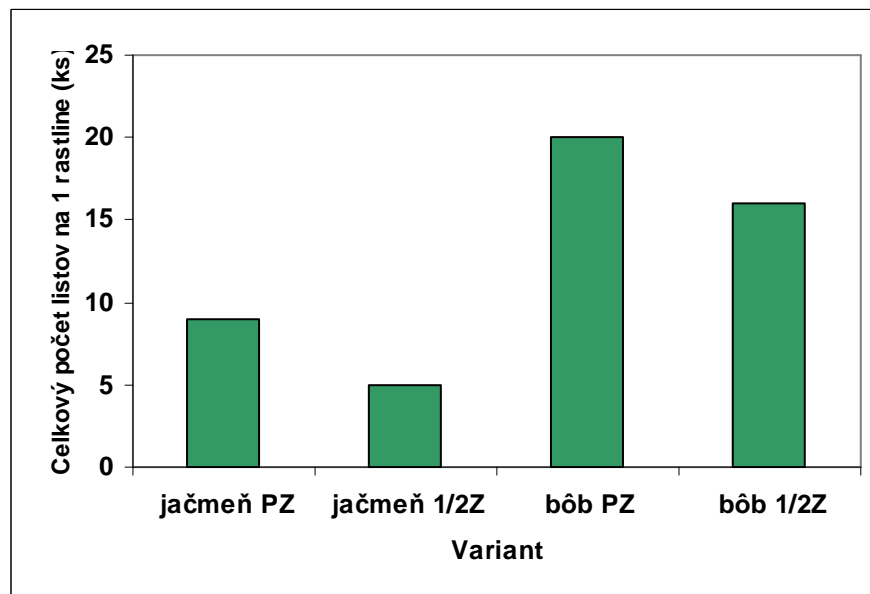
#### 4.1.2 Priebeh fenologických fáz počas sledovaného obdobia

Dopady klimatických zmien, ktoré možno sledovať v súčasnosti v okolitom prostredí, by sa stručne dali špecifikovať najmä z hľadiska zmeny koncentrácie CO<sub>2</sub>, zmeny radiačnej zabezpečenia pôdnej vlhkosti a v neposlednom rade zmeny teploty vzduchu, s ktorou súvisí teplotná zabezpečenie poľnohospodárskej výroby. Tieto zmeny následne prinášajú zmenu vo fenologických pomeroch jednotlivých druhov rastlín, ktoré súvisia so zmenou podmienok prezimovania rastlín a celkovým rastom pestovaných plodín, ako aj zmenu diverzity chorôb, škodcov a burín, ako uvádza ŠPÁNIK a TOMLAI (1997). Preto je nevyhnuté z praktických dôvodov sledovať priebeh a najmä zmeny vo fenologických fázach jednotlivých plodín, lebo iba tak je

---

možné určiť najvhodnejší termín na aplikáciu doplnkovej výživy, resp. ochranných postrekov proti burinám, chorobám a škodcom.

Vplyv zníženej dostupnosti vody sa u rastlín prejavil nielen na parametroch rastovej analýzy, keď bol nameraný pokles veľkosti listovej plochy u oboch druhoch rastlín a rovnako aj pokles výšky rastlín, ale určité rozdiely boli zistené aj z hľadiska sledovania jednotlivých vývinových fáz (ŠIŠKA, MEZEYOVÁ, 2006).



Obr. 4 Celkový počet listov pripadajúci na jednu rastlinu nameraný u jednotlivých variantov na konci ontogenézy v závislosti od množstva vody, ktoré bolo rastlinám dodávané (PZ – plná zálievka, 1/2Z – polovičná dávka vody v porovnaní s plnou zálievkou).

U jačmeňa spôsobila znížená dostupnosť vody redukciu počtu vytvorených odnoží, kedy variant s plnou zálievkou vytvoril väčší počet odnoží s plne funkčnými listami, čo sa prejavilo aj na veľkosti listovej plochy rastlín. Porovnaním oboch variantov sme zistili, že u rastlín s polovičnou dávkou vody došlo k takmer 40%-nej redukcii celkového počtu listov pripadajúcich na 1 rastlinu (Obr. 4). U bôbu bol pokles celkového počtu listov menej intenzívny, iba na úrovni 20% (Obr. 4). Na druhej strane bol u bôbu zaznamenaný výraznejší vplyv na priebeh fenologických fáz. Rastliny s polovičnou dávkou vody vytvorili kvetenstvo a začali kvitnúť o týždeň skôr ako rastliny, ktoré boli zalievané plnou dávkou vody, čo poukazuje na snahu rastlín uniknúť nastupujúcemu stresu a skrátiť vegetačný cyklus. To znamená, že sa fenofáza s vysokým nárokom na vodu posunula do obdobia, kedy ešte voda nebola limitujúcim faktorom, rovnako ako uvádza SLAFER et al. (2005).



---

Z hľadiska zvýšenia poľnohospodárskej produkcie je nevyhnutné poznať obranné a adaptačné mechanizmy, ktorými rastliny regulujú vodný režim. Veľmi dôležitým sa javí čas aplikácie obranného mechanizmu, ktorý môže významne prispieť k výške celkovej úrody plodiny (ZAPOTOČNÝ, 2003).

## **4. 2 Znížená dostupnosť vody a jej účinok na fyziologické procesy rastlín**

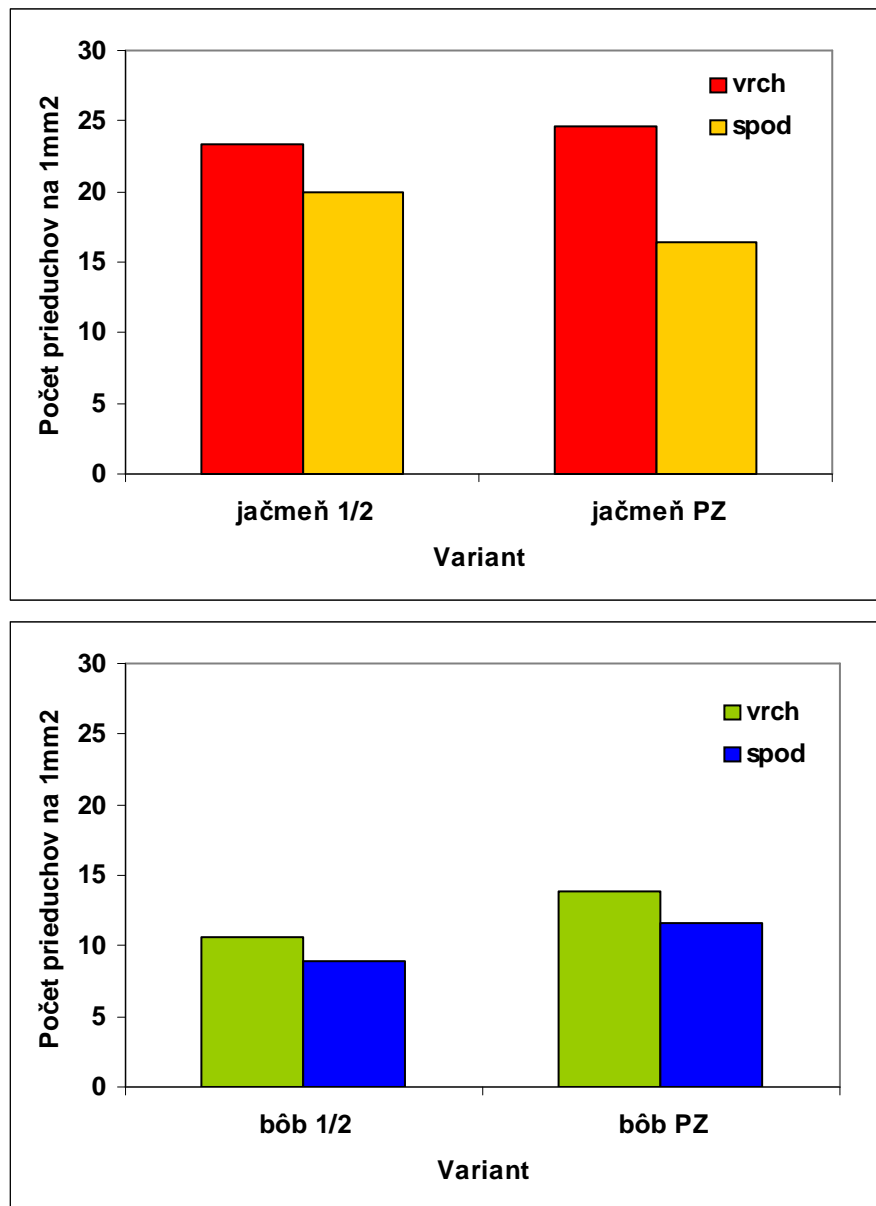
### **4. 2.1 Prieduchová vodivosť a počet prieduchov na liste**

Prieduchy hrajú kľúčovú úlohu v aklimácii a adaptácii rastlín na ich prostredie. Intenzívne reagujú na početné impulzy z prostredia a rovnako aj na vnútorné pomery, ktoré sú v rastline. Zároveň sú jedinou cestou vstupu oxidu uhličitého a vody do rastliny, preto zohrávajú dôležitú úlohu v procese asimilácie CO<sub>2</sub> a regulácie vodného režimu rastlín. Zvýšená vodivosť prieduchov je výhodou pre fotosyntézu, na druhej strane ale znižuje teplotu porastu, nakoľko zintenzívnením transpirácie dochádza k ochladzovaniu rastlín počas horúcich dní (FISCHER et al., 1998).

Znížená dostupnosť vody sa prejavila nielen na parametroch rastovej analýzy, ale boli pozorované určité rozdiely aj v morfológii listov a to v počte prieduchov pripadajúcich na 1mm<sup>2</sup>. Veľkosť prieduchových buniek je variabilná a to i v rámci jednej rastliny a sa mení v závislosti od postavenia listu na stonke (HUDÁK et al., 1988). Počet prieduchov na jednotku listovej plochy závisí od ekologických podmienok a od postavenia listu na stonke, zvyčajne sa počet prieduchov na 1 mm<sup>2</sup> pohybuje v intervale 100-300 a u suchomilných rastlín približne 50 prieduchov na 1 mm<sup>2</sup>.

Obidva sledované druhy patria do skupiny rastlín, u ktorých sa prieduchy nachádzajú po oboch stranách listov. V prípade jačmeňa bol väčší počet prieduchov nameraný na vrchnej strane listov u rastlín s plnou zálievkou a väčší pokles počtu prieduchov na spodnej strane. Pri bôbe deficit vody v priebehu ontogenézy znamenal redukciu počtu prieduchov po oboch stranách listov. Rastliny s plnou zálievkou mali o 25% väčší počet prieduchov pripadajúci na 1 mm<sup>2</sup> na vrchnej aj spodnej strane listov (Obr. 5). S počtom prieduchov súviseli aj hodnoty prieduchovej vodivosti, čo znamená, že rastliny ošetrované počas vegetácie plnou dávkou vody mali vyššie hodnoty prieduchovej vodivosti ako rastliny zalievané polovičnou dávkou vody. Na rozdiel od

JONES (1977), ktorý uvádza, že množstvo prieduchov má iba malý účinok na difúziu vodivosti listov pre vodu a na vodný potenciál listu.



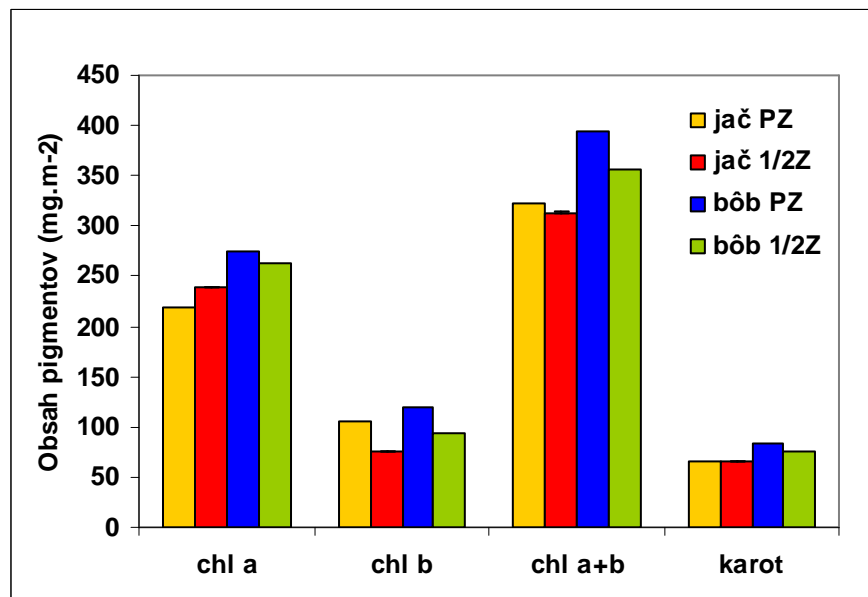
Obr. 5 Počet prieduchov na 1 mm<sup>2</sup> zisťovaný u oboch druhov rastlín (jačmeň, bôb) v závislosti od dávky vody, ktorou bol variant v priebehu ontogenézy ošetrovaný (PZ – plná zálievka, 1/2Z – polovičná dávka vody v porovnaní s plnou zálievkou).

Meranie prieduchovej vodivosti poukázalo u jačmeňa na rozdielnosť v zatváraní prieduchov na spodnej a vrchnej strane listov, na rozdiel od bôbu, u ktorého tento jav nebol pozorovaný. OLŠOVSKÁ, BRESTIČ (2001) uvádza, že takéto heterogénne zatváranie prieduchov je jedným z mechanizmov, ktoré efektívne napomáhajú udržať proces fotosyntetickej asimilácie uhlíka, najmä na začiatku nastupujúcej dehydratácie.

#### 4.2.2 Štruktúra fotosyntetického aparátu

Znížená vodivosť prieduchov má za následok obmedzenie prístupu CO<sub>2</sub> do listov a tým aj pokles rýchlosti čistej fotosyntézy. Okrem vodivosti prieduchov, pokles dostupnej vody počas vegetačného obdobia sa môže prejaviť aj na celkovej štruktúre fotosyntetického aparátu, nakoľko ovplyvňuje syntézu asimilačných pigmentov (CHAVES et al., 2002).

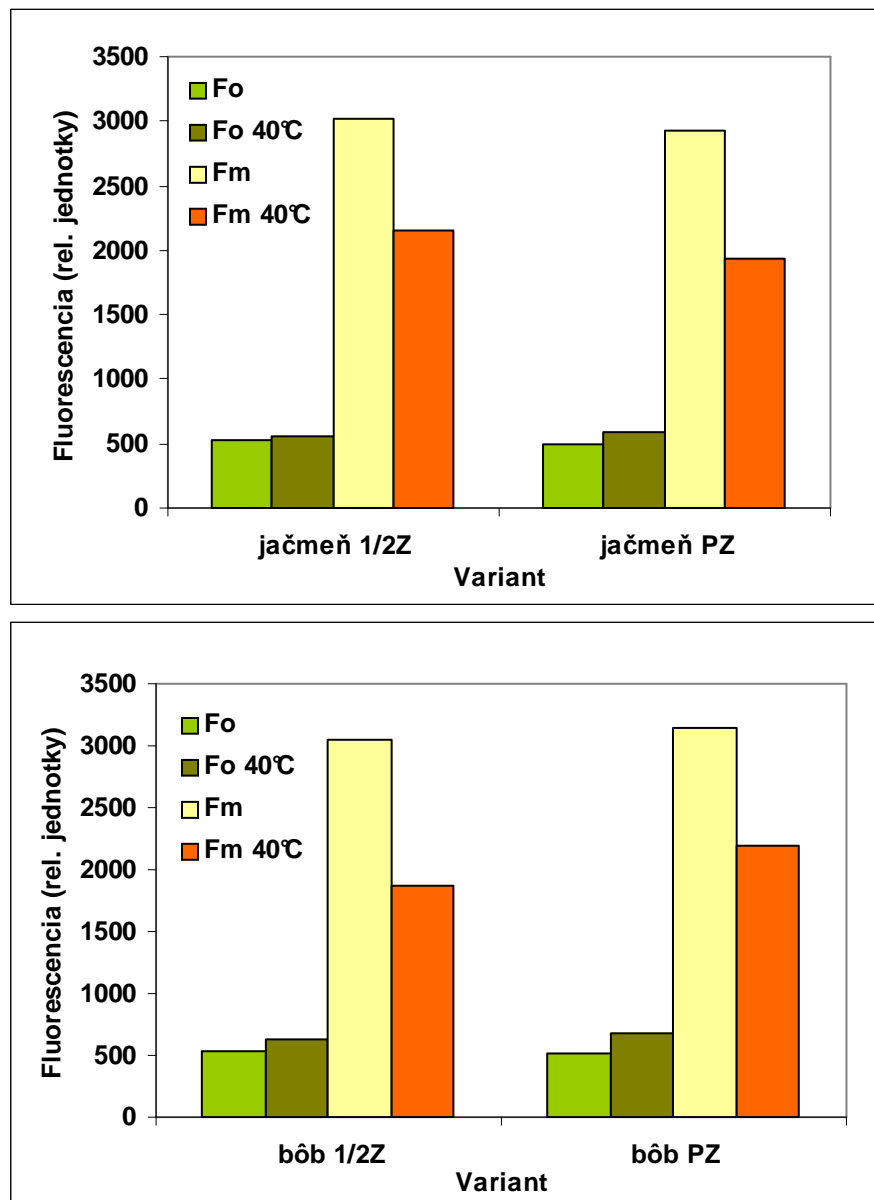
Z hľadiska štruktúry fotosyntetického aparátu sme porovnali obsah asimilačných pigmentov v sledovaných variantoch (Obr. 6). U jačmeňa sme zaznamenali, že u variantu s polovičnou zálievkou došlo k zvýšeniu obsahu chlorofylu *a*, ale zároveň aj k poklesu obsahu chlorofylu *b*. Na množstve celkových karotenoidov sa množstvo vody v priebehu vegetácie neodrazilo. U bôbu sme namerali pokles obsahu asimilačných pigmentov u všetkých troch typov, to znamená, že znížená dodávka vody spôsobila nižšiu syntézu chlorofylu *a*, chlorofylu *b* aj celkových karotenoidov.



Obr. 6 Obsah asimilačných pigmentov ( $\text{mg.m}^{-2}$ ) nameraný u rastlín s rozdielnou dávkou vody v priebehu ontogenézy (PZ – plná zálievka, 1/2Z – polovičná dávka vody v porovnaní s plnou zálievkou).

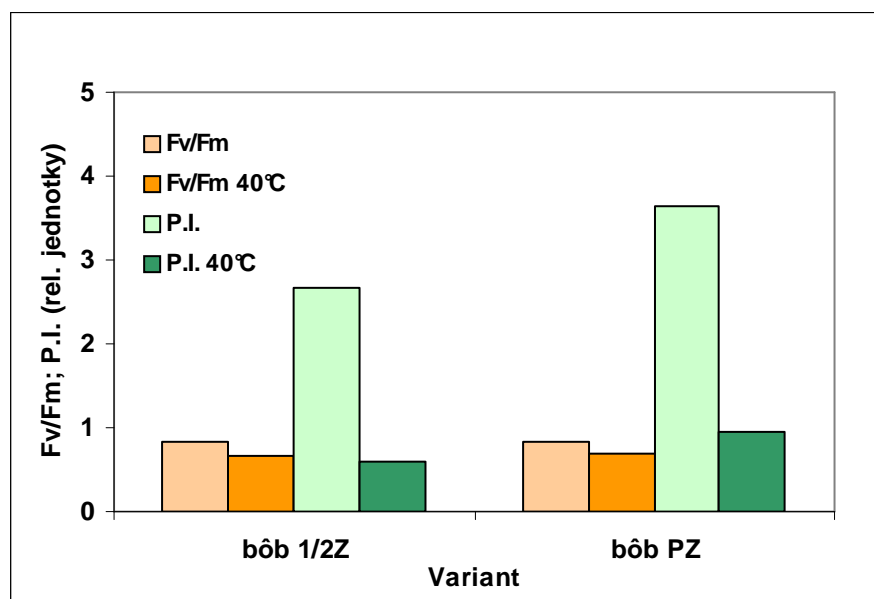
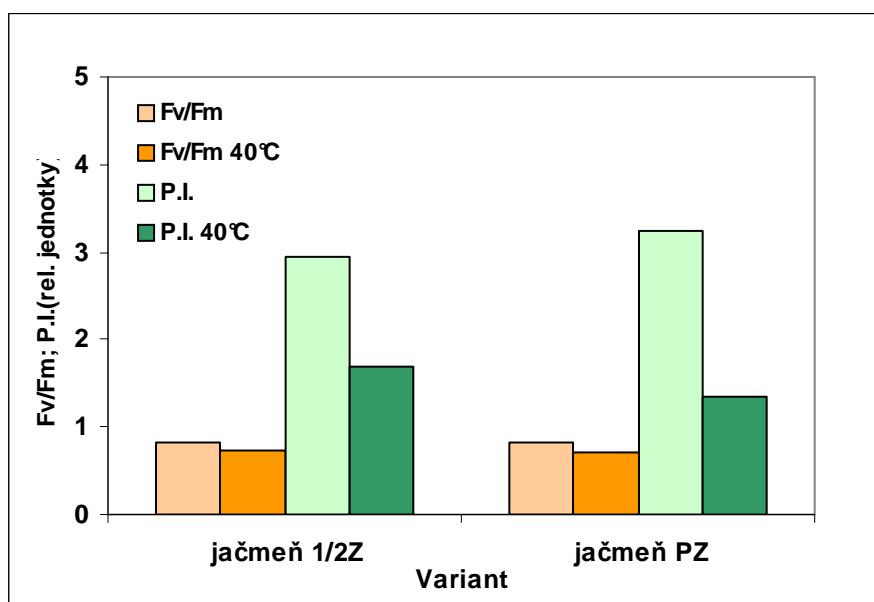
### 4.3 Interakčné pôsobenie stresových faktorov – vysoká teplota a nedostatok vody

V prirodzených podmienkach nie je možné vytvoriť také prostredie, v ktorom by jednotlivé environmentálne faktory pôsobili samostatne. Preto je nutné uvažovať o ich súčasnom pôsobení, vzniku interakcií, od ktorých sa môže odvíjať aj rozdielna reakcia na stres (MITTLER, 2009).. Zaujímavou sa javí interakcia medzi miernou dehydratáciou a zvýšenou teplotou prostredia, čo v prirodzených podmienkach nie je nič výnimočné a v letnom období sa vyskytuje často.



Obr. 7 Zmena základných parametrov fluorescence chlorofylu a ( $F_o$  – minimálna fluorescencia,  $F_m$  – maximálna fluorescencia) nameraný po 30 minútovom teplotnom teste pri 40°C u rastlín ošetrovaných rozdielnou dávkou vody v priebehu ontogenézy (PZ – plná zálievka, 1/2Z – polovičná dávka vody v porovnaní s plnou zálievkou).

Analýza fluorescence chlorofylu *a* ponúka rýchly prostriedok, ako tieto zmeny v stresovej odpovedi rýchlo zaznamenať. Všeobecne spôsobuje vysoká teplota nárast minimálnej fluorescence a pokles maximálnej fluorescence ako výsledok poškodenia v dôsledku teploty (Obr. 7). V simulovanom teplotnom strese, kedy boli vzorky vystavené 30 min pôsobeniu teploty 40°C sme u jačmeňa zaznamenali nižšie poškodenie pre vzorky, ktoré boli v priebehu vegetácie zavlažované polovičnou dávkou vody. U bôbu tento trend nebol zaznamenaný. Výsledky poukazujú na úlohu osmotického prispôsobenia, ktoré nastalo v priebehu vegetačného obdobia a rovnako aj na rozdielnu schopnosť a kapacitu rastlín tvoriť osmoticky aktívne zlúčeniny.



---

*Obr.8 Účinok pôsobenia vysokej teploty (40°C) na maximálnu fotochemickú efektívnosť (Fv/Fm) a parameter index výkonnosti (P.I) nameraný u jačmeňa a bôbu s rozdielnou dávkou vody (PZ – plná zálievka, 1/2Z – polovičná dávka vody v porovnaní s plnou zálievkou).*

Schopnosť buniek osmoticky sa prispôbiť podmienkam zníženej dostupnosti vody je dôležitým aspektom adaptácie rastlín na klesajúci vodný potenciál pôdy (MORGAN, 1992). Preto sa osmotické prispôsobenie pri mnohých poľných plodinách, považuje za efektívny mechanizmus, ktorým rastliny zvyšujú svoju toleranciu na sucho (MUNS, 1988; BOHNERT, SCHEN, 1999).

Na úrovni fotosyntetického aparátu sa veľmi citlivým k environmentálnym stresom javí fotosystém II, pričom je známa jeho pomerne veľká rezistencia k vodnému deficitu (LU, ZHANG, 1999) a stálosť maximálnej fotochemickej efektívnosti i pri vysokom deficite vody, na rozdiel od pôsobenia vysokej teploty, ktorá priamo poškodzuje fotosystém II. Veľmi dôležitým sa javí teplota prostredia, v ktorom sa fotosyntetický aparát vyvíjal, pretože do istej miery určuje termostabilitu fotosystému II (JIANG et al., 2006).

Vzájomný vzťah medzi deficitom vody a ďalšími environmentálnymi faktormi je pomerne zložitý. Kým nie je dostupnosť vody v prostredí limitujúca, transpirácia zabraňuje prehrievaniu listov a tým eliminuje účinok teploty na minimum. Pri miernom deficite vody vzniká antagonistický účinok dehydratácie na účinok vysokej teploty na termostabilitu fotosystému PSII (HAVAUX, 1992; LU, ZHANG, 1999).

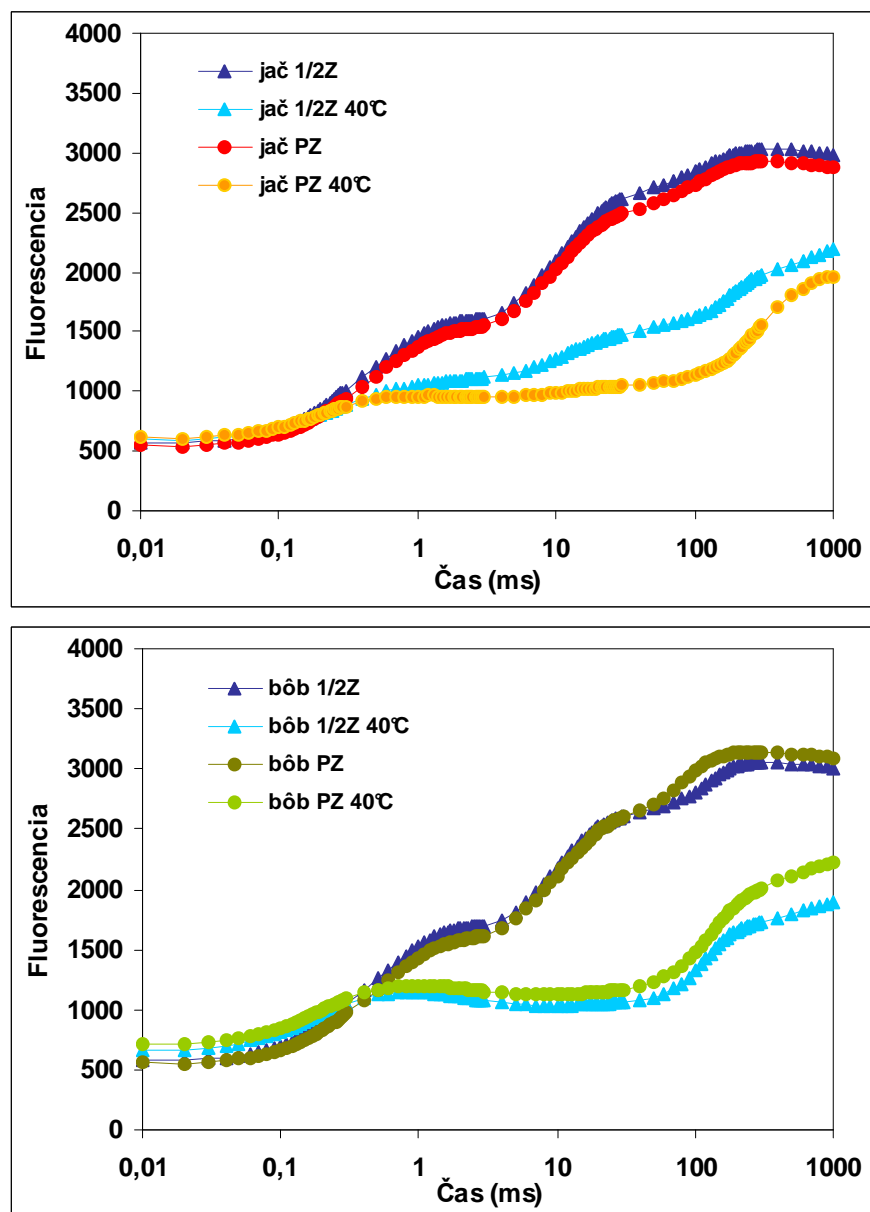
Zmena na úrovni hodnôt minimálnej a maximálnej fluorescencie mala za výsledok zmenu hodnoty maximálnej fotochemickej efektívnosti (Fv/Fm), ktorá vyjadruje efektívnosť, s ktorou sú elektróny využívané v elektrón transportnom reťazci. U jačmeňa bol po ošetrení vysokou teplotou pozorovaný výraznejší pokles parametra Fv/Fm pre variant v plnou zálievkou (Obr. 8) v porovnaní s rastlinami, ktoré boli zalievané polovičnou dávkou vody. U bôbu došlo k výraznejšiemu poklesu hodnôt Fv/Fm pre variant s polovičnou zálievkou.

Parameter P.I., tzv. index výkonnosti (z ang. Performance Index), ktorý citlivo odráža akékoľvek zmeny na úrovni fotosystému II, zaznamenal u jačmeňa výraznejší pokles pre rastliny s plnou dávkou vody, na rozdiel od bôbu, u ktorého boli citlivejšie rastliny s polovičnou dávkou vody.

Priebeh fluorescencie snímaný v priebehu 1s v logaritmickej mierke, tzv. krivka OJIP, má charakteristický priebeh s fázami O, J, I a P, ktoré charakterizujú transport

elektrónov na úrovni fotosystému II. Tento priebeh sa mení v závislosti od pôsobenia stresového faktora a v prípade pôsobenia vysokej teploty sa v čase 300  $\mu$ s objavuje charakteristický nárast fluorescence, tzv. K krok, ktorý poukazuje na poškodenie kyslík-vyvíjajúceho komplexu v dôsledku pôsobiacej teploty.

Priebeh krivky nameraný u jačmeňa zaznamenal v čase 300  $\mu$ s mierny nárast fluorescence pre vzorky s plnou zálievkou, čo poukazuje na prítomnosť K kroku (Obr. 9). Pre vzorky s polovičnou dávkou vody tento nárast nebol taký preukazný. U bôbu bola v priebehu OJIP krivky zaznamenaná prítomnosť K kroku pre oba varianty, čo poukazuje na poškodenie fotosyntetického aparátu vplyvom vysokej teploty.



Obr.9 Priebeh OJIP kriviek nameraných po 30 minútovom pôsobení teploty 40°C u jačmeňa a bôbu (PZ – plná zálievka, 1/2Z – polovičná dávka vody v porovnaní s plnou zálievkou).

---

## 5. Záver

Z výsledkov, ktoré boli získané pri riešení bakalárskej práce, vyplynuli nasledovné závery:

- Rast listovej plochy je v priebehu vegetačného obdobia redukovaný vplyvom zníženej dostupnosti vody, u jačmeňa došlo k 45-50% redukcii a u bôbu k 25% redukcii veľkosti celkovej listovej plochy.
- Celkový počet listov pripadajúci na jednu rastlinu sa znížil o 40% u jačmeňa a o 20% u bôbu.
- Priebeh fenologických fáz bol ovplyvnený dostupnosťou vody, u rastlín s polovičnou dávkou vody došlo k posunu fenologických fáz. U rastlín bôbu sa urýchlilo kvitnutie o týždeň skôr, čo poukazuje na posun fázy s vysokým nárokom na vodu do obdobia, kedy voda nebola ešte limitujúcim faktorom.
- Znížená dostupnosť vody sa prejavila aj v morfológii listov - v počte prieduchov pripadajúcich na  $1\text{mm}^2$ . U jačmeňa bol väčší počet prieduchov nameraný na vrchnej strane listov u rastlín s plnou zálievkou a väčší pokles počtu prieduchov na spodnej strane. U bôbu deficit vody v priebehu ontogenézy spôsobil redukcii počtu prieduchov po oboch stranách listov o 25%.
- Z hľadiska obsahu asimilačných pigmentov bolo u jačmeňa zaznamenané u variantu s polovičnou zálievkou zvýšenie obsahu chlorofylu *a*, pokles obsahu chlorofylu *b* a množstvo celkových karotenoidov bez zmeny. U bôbu bol nameraný pokles obsahu asimilačných pigmentov všetkých troch typov farbív.
- Pôsobenie vysokej teploty na fotosyntetický aparát spôsobilo poškodenie na úrovni fotosystému II. U jačmeňa variant s polovičnou dávkou vody zaznamenal nižšie poškodenie, na rozdiel od bôbu, u ktorého bol pokles maximálnej fotochemickej efektívnosti výraznejší pre rastliny s polovičnou dávkou vody. Výsledky poukazujú na ochrannú úlohu vyššieho osmotického prispôsobenia u jačmeňa, ktoré nastalo v priebehu vegetačného obdobia a rovnako aj na rozdielnu schopnosť a kapacitu rastlín tvoriť osmoticky aktívne zlúčeniny.



---

## Zoznam použitej literatúry

BRAVDO, A., B. 2009. Crop improvement and production strategies in arid environments: salt, drought and heat stress. In *Environmental Stress and Horticulture Crops* [online], 2009, č. 2, [cit. 2010-04-26]. Dostupné na : <[http://www.actahort.org/books/618/618\\_29.htm](http://www.actahort.org/books/618/618_29.htm)>.

ARAUS, JL. – HABASH, D. – MAJ, P. 2004. Optimisation of water use by plants. In *Annals of Applied Biology* [online], 2009, č. 2, 144, 125-126 s. [cit. 2010-04-26]. Dostupné na : <[http://apps.isiknowledge.com/full\\_record.do?product=UA&search\\_mode=GeneralSearch&qid=10&SID=W2C55pkdkBFhiaHANam&page=34&doc=339&colname=WOS](http://apps.isiknowledge.com/full_record.do?product=UA&search_mode=GeneralSearch&qid=10&SID=W2C55pkdkBFhiaHANam&page=34&doc=339&colname=WOS)>.

BARRS, H. D.- WEATHERLEY, P. E. 1962. A re-examination of the relative turgidity techniques for estimating water deficits in leaves. In: *Australian Journal of Biological Sciences*, 1962, 15, 413- 428.

BARYLA, A., CARRIER, P., FRANCK, F., COULOMB, C., SAHUT, C., HAVAUX, M., 2001. Leaf chlorosis in oilseed rape plants (*Brassica napus*) grown on cadmium-polluted soil: causes and consequences for photosynthesis and growth. In *Planta*, roč. 212, 2001, s. 696– 709.

BABULICOVÁ, Mária – KUBINEC, Severín – SOCHORCOVÁ, Lenka. 2007. Vplyv sucha na úrodu a vybrané kvalitatívne parametre jačmeňa siateho jarného. In *Vplyv abiotických a biotických stresorů na vlastnosti rastlin 2007*. Praha : Výzkumný ústav rostlinné výroby v.v.i., 2007, s. 298-304. ISBN 978-80-87011-00-3.

BÉDI, Emil. 2002. Klimatické zmeny. [online]. B. m. : b. v., 2005 [cit. 2010-01-20]. Dostupné na: <<http://www.seps.sk/zp/fond/klima02/12.htm>>.

BOHNERT, H.J. – SHEN, B. 1999. Transformation and compatible solutes. In *Sci Hort*, roč. 15, 1999, s. 237-260.

BRESTIČ, Marián. 2001. Determinácia citlivých miest fotosyntézy počas dlhodobej dehydratácie rastlín. In *Journal of European Agriculture* [online], roč. 2, 2001, č. 34, s. 218- 226 [cit. 2010-04-27-02]. Dostupné na : <[http://www.agr.hr/jcea/issues/jcea2-34/jcea234\\_8.html](http://www.agr.hr/jcea/issues/jcea2-34/jcea234_8.html)>.

---

BRESTIČ, Marián – OLŠOVSKÁ, Katarína. 2001. *Vodný stres rastlín: príčiny, dôsledky, perspektívy*. Nitra : SPU, 2001. 149 s. ISBN 80-7137-902-6.

DAVIES, W. J.- ZHANG, J. 1991. Root signals and the regulation of growth and development of plants in drying soil. In: *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 1991, 42, 55- 76.

DEMO, Milan – BIELEK, Pavol. 2000. *Regulačné technológie v produkčnom procese poľnohospodárskych plodín*. 1. vyd. Nitra : SPU, 2000. 667 s. ISBN 80-7137-732-5.

FISCHER, R. A. – MAURER, R. 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars: I. Grain yield responses. In: *Australian Journal of Agricultural Research*, 1978,29,897-912.

GIRAUDAT, J. – PARCY, F. – BERTAUCHE, N. – GOSTI, F. – LEUNG, J. – MORRIS, P. – BOUVIER, C. – DURAND, M. – VARTANIAN, N. 1994. Current advances in abscisic acid action and signalling. In *Plant Molecular Biology* 26, 1557 – 77.

HAVAUX, M. 1992. Stress tolerance of photosystem II in vivo. Antagonistic effects of water, heat and photoinhibition stresses. *Plant Physiology*, 1992, 100, 424-432.

HAY, R. K. M.- PORTER, J. R. 2006. *The physiology of crop yield*. Blackwell Publishing, 2006, 314s. ISBN -13: 978-14051-0859-1.

HOLKOVÁ, S, et al. 2003. *JACMEŇ : biológia, pestovanie a využívanie*. Agrofond, n.o.Nitra.190 s. ISBN 80-969068-2-8.

HUDÁK, Ján et al. 1988. *Biológia rastlín*. Bratislava : SPN, 1988. 400 s. ISBN 80-08-00065-12.

CHAVES, M. M. – FLEXAS, J. – PINHEIRO, C. 2009. Photosynthesis under drought salt stress : regulation mechanisms from whole plant to cell. In *Annals of Botany* [online], 2009, č. 103(4):551-560. [cit. 2010-04-26]. Dostupné na : <<http://aob.oxfordjournals.org/cgi/content/abstract/103/4/551>>.

CHAVES, M.M.- PEREIRA, J.S.- MAROCO, J.- RODRIGUES, M.L.- RICARDO, C.P.P.- OSORIO, M.L.- I.- FARIA, T.- PINHEIRO, C. 2002. How plants cope with

---

water stress in the field. Photosynthesis and growth. In: *Annals of Botany*, 2002, 89, 907-916.

IZANLOO, A. – CORDON, A. G. – LANGRIDGE, P. – TESTER, M. – SCHNURBUSCH, T. 2008. Different mechanisms of adaptation to cyclic water stress in two South Australian bread wheat cultivars. In *Journal of Experimental Botany* [online], 2008, 59(12):3327-3346. [cit. 2010-04-26]. Dostupné na : <<http://jxb.oxfordjournals.org/cgi/content/abstract/59/12/3327>>.

JAVOR, Ľ. - SUROVČÍK, J. et al., 2001. Technológia pestovania strukovín. In Výskumný ústav rastlinnej výroby Piešťany [online], 2001, [cit. 2010-02-11]. Dostupné na : <[http://www.agroporadenstvo.sk/rv/strukoviny/strukoviny\\_uvod.htm](http://www.agroporadenstvo.sk/rv/strukoviny/strukoviny_uvod.htm)>.

JIANG, Ch.-D. – JIANG, G.M.- WANG, X.- LI, L.H.- BISWAS, D. K.- LI, Y.G. 2006. Increased photosynthetic activities and thermostability of photosystem II with leaf development of elm seedlings (*Ulmus pumila*) probed by the fast fluorescence rise OJIP. In: *Environmental and Experimental Botany*, 2006, 58, 261- 268.

JONES, H. G. 1977. Transpiration in barley lines with diferig stomatal frequencies. In *Journal of ex. Botany*. 1977, roč. 28, s. 162-168.

JONES, H. G. 1983 : Plants and microclimate. Cambridge, Cambridge Univ. Press.

KOSTREJ, A. et al, 1998. *Ekofyziológia produkčného procesu porastu a plodín*. 1. vyd. Nitra : SPU, 1998, 187 s. ISBN 80-7137-528-4.

KOSTREJ, A. et al. 2000. *Funkčné parametre produkčného procesu obilnín v meniacich sa podmienkach prostredia*. Nitra : Agroinštitút, 2000, 103 s. ISBN 81-9974-41.

KOVÁČ, Karol. 2009. Rajonizácia pestovania a termín sejby ozimných obilnín. In *Naše pole* [online], 2009, č. 10. [cit. 2010-04-01]. Dostupné na : <<http://www.nasepole.sk/pole10/clanok.asp?ArticleID=20> Naše pole>.

LARCHER, W. 1995. *Physiological Plant Ecology. Ecophysiology and stress physiology of functional groups*. Springer Verlag, Berlin. 1995. 506s. ISBN 3-540-58116-2.

---

LICHTENTHALER, H.K. 1987. Chlorophylls and Carotenoids: Pigments of Photosynthetic Biomembranes. In: *Methods in enzymology*, 1987,148, 350-382.

LU, C.- ZHANG, J. 1999. Effects of water stress on photosystem II photochemistry and its thermostability in wheat plants. In: *Journal of Experimental Botany*, 1999, 50, 1199-1206.

MASAROVIČOVÁ, Elena – REPČÁK, Miroslav et al. 2002. *Fyziológia rastlín*. 1. vyd. Bratislava : UK, 2002, 304 s. ISBN 80-223-1615-6.

MIŠTINA, Timotej. 2004. Predpokladaný vplyv sucha na pestovanie poľných plodín. In Zborník referátov a diskusných príspevkov z vedeckej rozpravy XXV. valného zhromaždenia členov Slovenskej akadémie pôdohospodárskych vied. Nitra : Agentúra Slovenskej akadémie pôdohospodárskych vied, 2004, s 8-12. ISBN 80-891625-12-6.

MITTLER, Ron. 2006. Abiotic stress, the field environment and stress combination. In *Trends in Plant Science* [online], 2006, č. 11. [cit. 2010-04-26]. Dostupné na : <[http://www.sciencedirect.com/science?\\_ob=ArticleURL&\\_udi=B67TD14HTBMB21&\\_user=3838281&\\_rdoc=1&\\_fmt=&\\_orig=search&\\_sort=d&view=c&\\_acct=C000061504&\\_version=1&\\_urlVersion=0&\\_userid=3838281&md5=e0572471c0bb1dde387317b5fbda4223](http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B67TD14HTBMB21&_user=3838281&_rdoc=1&_fmt=&_orig=search&_sort=d&view=c&_acct=C000061504&_version=1&_urlVersion=0&_userid=3838281&md5=e0572471c0bb1dde387317b5fbda4223)>.

MORGAN, J.M. 1992. Osmotic components and properties associated with genotypic differences in osmoregulation in wheat. In *Aust, Journal Plant Physiol.*, roč. 19, 1992, s. 67-76.

MUNS, R. 1988. Why measure osmotic adjustment? In *Aust, Journal Plant Physiol*, roč. 15, 1988, s. 717-726.

PROCHÁZKA, S. et al. 1998. *Fyziologie rostlín*. Praha : Academia, 1998, 484 s. ISBN 80-200-0586-2.

OLŠOVSKÁ, Katarína - BRESTIČ, Marián. 2001. Function of hydraulic and chemical water stress signalization in evaluation of drought resistance of juvenile plants. In: *Journal of Central European Agriculture*, 2001, č 2.

---

PIRŠELOVÁ, Beáta – DOBROVICZSKÁ, Terézia – LUKÁČ, Peter et al., 2010. Vplyv kadmia na vybrané morfológicko-fyziologické charakteristiky bôbu obyčajného cv.Aštar. In *Potravinárstvo* [online], 2010, roč. 4, č. 2, s. 337 – 341. [cit. 2010-04-21].

Dostupné na :

<[http://www.potravinarstvo.com/dokumenty/mc\\_februar\\_2010/pdf/3/Pirselova.pdf](http://www.potravinarstvo.com/dokumenty/mc_februar_2010/pdf/3/Pirselova.pdf)>.

REPKOVÁ, Jana. 2007. *Bioindikácia fyziologického stavu rastlín v ekosystéme v podmienkach enviromentálneho stresu*. [online], Nitra : SPU, 2007. 98 s. [cit. 2010-03-15]. Dostupné na:

<[http://www.uniag.sk/SKOLA/rvv/doc/ddiz/2007/jana\\_repkova.pdf](http://www.uniag.sk/SKOLA/rvv/doc/ddiz/2007/jana_repkova.pdf)>.

SLAFER, G. A. – ARAUS, J. L. – ROYO, C. – DEL MORALI, L. F. G. 2005. Promising eco-physiological traits for genetic improvement of cereal yields in Mediterranean environments. In: *Annals of Applied Biology*, 2005, 146, 61-70.

STRASSER, R.J.- SRIVASTAVA, A.-GOVINDJEE. 1995. Polyphasic chlorophyll a fluorescence transient in plants and cyanobacteria. In: *Photochemistry and Photobiology*, 1995, 61, 32-42.

ŠESTÁK, Z.- ČATSKÝ, J. 1966. *Metody studia fotosyntetické produkce rostlin*. Praha: Academia, 1966. s.335-363.

ŠIŠKA, B.- MEZEYOVÁ, I. 2006. Fenologický monitoring ovocných drevín na SPU a v podmienkach SR. Rožnovský, J., Litschmann, T., I. Vyskot. (ed): „Fenologická odezva proměnlivosti podnebí“, Brno 22.3.2006, ISBN 80-86690-35-0.

ŠPÁNIK, F. (1993): *Vplyv klimatických zmien na poľnohospodárstvo*. Meteorolog. zprávy, 46, 121-123.

ŠPÁNIK, F.,-TOMPLAIN, J. 1997. *Klimatické zmeny a ich dopad na poľnohospodárstvo*. Nitra : SPU, 1997, 90 s.

ŠPALDOŇ, E., 1982. *Rastlinná výroba*. Bratislava : Príroda, 1982, 628 s.

ŠVIHRA et al., 1989. *Fyziológia rastlín*. Bratislava : Príroda, 1989. 348 s. ISBN 80-07-00049-6.

---

URL 1. Znečistenie vody. [cit. 2010-01-15]. Dostupné na :  
<<http://www.gep.szm.com/02%20zniecistenie%20vody/zniecistenie%20vody>>.

URL 2. *Biodiverzita a klimatické zmeny*. [cit. 2010-01-15]. Dostupné na :  
<[http://www.lesoprojekt.sk/lesop\\_sub/popularne/clanky/biom.html](http://www.lesoprojekt.sk/lesop_sub/popularne/clanky/biom.html)>.

URL 3. Svetový deň vody a jeho význam. 1947 [online] Bratislava : STU, [cit. 2010-01-15]. Dostupné na : <[www.aquamedia.at/downloads/download\\_1947.doc](http://www.aquamedia.at/downloads/download_1947.doc)>.

URL 4. [online], [cit. 2010-01-15]. Dostupné na :  
<<http://pdfweb.truni.sk/vsr/dokumenty/01rastliny.pdf>>.

URL 5. *Bioweb*. 2009 [online], [cit. 2010-01-15]. Dostupné na :  
<[www.bioweb.genezis.eu29.12.2009](http://www.bioweb.genezis.eu29.12.2009)>.

URL 6. [online], [cit. 2010-01-15]. Dostupné na :  
<[http://www.fpv.umb.sk/kat/kf/intprirexp/TG/Zivot/Naj\\_plyn/Naj\\_plyn.htm#Conclusions](http://www.fpv.umb.sk/kat/kf/intprirexp/TG/Zivot/Naj_plyn/Naj_plyn.htm#Conclusions)>.

URL 7 . [online], [cit. 2010-01-15]. Dostupné na :  
<[http://www.ulozto.fmg.sk/upload/Public/zadanie\\_7.doc\\_rastlenn\\_pletiv\\_neprav=sk](http://www.ulozto.fmg.sk/upload/Public/zadanie_7.doc_rastlenn_pletiv_neprav=sk)>.

ZÁPOTOČNÝ, Vladimír. 2003. [cit. 2010-01-15]. Dostupné na :  
<<http://www.agroporadenstvo.sk/rv/ostatne/zavlaha.htm?start>>.

ZIMA, M. et al. 1997. *Fyziológia rastlín*. Nitra : SPU, 1997, 155 s. ISBN 80-7137-425-3.