

**SLOVENSKÁ POĽNOHOSPODÁRSKA UNIVERZITA
V NITRE**

FAKULTA AGROBIOLÓGIE A POTRAVINOVÝCH ZDROJOV

1126557

BAKALÁRSKA PRÁCA

2010

Jakub Kubinec

**SLOVENSKÁ POĽNOHOSPODÁRSKA UNIVERZITA
V NITRE**

FAKULTA AGROBIOLÓGIE A POTRAVINOVÝCH ZDROJOV

Dekan: prof. Ing. DANIEL BÍRO, CSc.

**Teplota v ontogenéze rastlín - vplyv na rast, vývoj a fyziologické
reakcie rastlín**

Bakalárska práca

Katedra: Katedra fyziológie rastlín
Vedúci katedry: prof. Ing. Marián Brestič, CSc.
Vedúci práce: Ing. Jana Repková, PhD.

Nitra 2010

Jakub Kubinec

SLOVENSKÁ POĽNOHOSPODÁRSKA UNIVERZITA V NITRE

FAKULTA AGROBIOLÓGIE A POTRAVINOVÝCH ZDROJOV

Katedra fyziológie rastlín

Šk. rok: 2009/2010

ZADÁVACÍ LIST BAKALÁRSKEJ PRÁCE

Meno študenta: JAKUB KUBINEC

Študijný odbor: Udržateľné poľnohospodárstvo a rozvoj vidieka

V zmysle 3. časti, čl. 21 Študijného poriadku SPU v Nitre z roku 2002 zadávam tému záverečnej práce:

Téma:

Teplota v ontogenéze rastlín - vplyv na rast, vývoj a fyziologické reakcie rastlín

Cieľ: Cieľom práce je posúdiť vplyv teplotných podmienok na rastovo-vývinové procesy a vybrané fyziologické reakcie u rastlín pestovaných v rozdielnych klimatických podmienkach.

Rámcová metodika:

- Vyhľadávanie literárnych prameňov
- Spracovanie literárneho prehľadu
- Spracovanie záverečnej práce

Rozsah práce: 61 strán

Odporúčaná literatúra:

1. Matejka, F.- Huzulák, J. 1987. Analýza mikroklímy porastu. VEDA, vydavateľstvo Slovenskej akadémie vied, Bratislava, 232 strán
2. Hay, R. K. M.- Porter, J. R. 2006. The physiology of crop yield. Blackwell Publishing, ISBN - 13: 978-14051-0859-1, 314 strán
3. Porter, J. R.- Gawith, M. Temperatures and the growth and development of wheat: a review. In: European Journal of Agronomy, 1999, 10, 23-36.

Harmonogram postupu prác:

- Príprava metodiky experimentu – október 2009
- Literárna rešerš – december 2009
- Spracovanie nameraných výsledkov a bakalárskej práce – január – apríl 2010

Vedúci záverečnej práce: Ing. Jana Repková, PhD

Dátum zadania záverečnej práce: september 2009

Termín odovzdania: máj 2010

Vedúci bakalárskej práce:

Ing. Jana Repková, PhD.

Vedúci katedry:

prof. Ing. Marián Brestič, CSc.

ABSTRAKT

KUBINEC, Jakub: Teplota v ontogenéze rastlín - vplyv na rast, vývoj a fyziologické reakcie rastlín [Bakalárska práca] - Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre. Fakulta agrobiológie a potravinových zdrojov; Katedra fyziológie rastlín. – Vedúci bakalárskej práce: Ing. Jana Repková, PhD. – Nitra, 2010-61 s.

Bakalárska práca bola vypracovaná v rámci bakalárskeho štúdia na Fakulte agrobiológie a potravinových zdrojov v Nitre na Katedre fyziológie rastlín.

Cieľom práce je poukázať na rozdiely ktoré sme zisťovali v poraste rastlín Jačmeňa jarného (*Hordeum vulgare*,L.) a Bôbu konského (*Faba vulgaris*,L.) adaptovaných na klimatické podmienky vonku a rastlín pestovaných v klimaboxe. V priebehu vegetačného obdobia sme monitorovali mikroklimatické podmienky v prostredí v klimaboxe i priamo v poraste vonku na jeho jednotlivých úrovniach. Premennivosť teploty a intenzity žiarenia ovplyvnila vývoj listovej plochy. Pri meraní a porovnaní týchto rastlín sme zistili rozdielne hodnoty fluorescencie chlorofylu *a* , tiež sme zistili rozdiel pri meraní absorbancie žiarenia a taktiež sme zistili rozdielne hodnoty obsahu pigmentov.

Kľúčové slová: teplota, rast listovej plochy, fotosyntéza, fluorescencia chlorofylu *a*

ABSTRAKT

Die bachelor arbeit war gearbeitet unterhalb bachelor studium an Fakultät Agrobiologie und Nahrungsmittel Ressource in Nitra an Kateder physiologie von pflanzen.

Zum ziel arbeiten ist hinweisen an differenzen welche ermittelten sind wir bestand Frühlingsgerste (*Hordeum vulgare*,L) und Feldbohne (*Faba vulgaris*,L) an klimatische Verhältnisse draußen adaptiert und die Pflanzung in klimabox adaptiert. Während vegetationsperiode sind wir monitorabbildung mikroklimatische Verhältnisse in Atmosphäre klimabox wie so gerade draußen an seinen singular der Ebene. Variabilität temperaturen und Strahlungsstärke geprägt evolution blattfläche hat. Bei messungevergleich dieser Pflanzen haben wir festgestellt verschiedenes Werte der fluoreszenz chlorophyll *a* , auch unterscheid bei der Stahlung absorption gemessen und verschiedenes werte einer Fassung pigmenten stellten wir fest.

Schlüsselwörter: temperatur, wachstum blattfläche, photosynthese, fluoreszenz chlorophyll *a*

ČESTNÉ VYHLÁSENIE

Čestne vyhlasujem, že som bakalársku prácu na tému „Teplota v ontogenéze rastlín - vplyv na rast, vývoj a fyziologické reakcie rastlín“ vypracoval samostatne, a že som uviedol všetku použitú literatúru súvisiacu so zameraním bakalárskej práce.

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

Nitra

.....
podpis autora

POĎAKOVANIE

Touto cestou vyslovujem poďakovanie Ing. Jane Repkovej, PhD., za pomoc, odborné vedenie, cenné rady a pripomienky pri vypracovaní mojej bakalárskej práce.

OBSAH

Úvod.....	11
1 Prehľad o súčasnom stave riešenej problematiky.....	12
1.1 Súčasný stav teplotných pomerov v prostredí.....	12
1.1.1 Nárast teploty vzduchu v dôsledku klimatických zmien z celosvetového hľadiska.....	14
1.1.2 Zmeny klimatických podmienok na Slovensku za posledných sto rokov.....	15
1.2 Úloha teploty v raste a vývine rastlín.....	19
1.2.1 Vplyv teploty na rast listovej plochy.....	22
1.2.2 Účinok teploty na produkčný proces.....	24
1.2.2.1 Formovanie úrody vplyvom rastu teploty prostredia.....	27
1.2.2.2 Transport asimilátov v závislosti od teploty prostredia.....	28
1.3 Účinok teploty na fyziologické procesy rastlín.....	29
1.3.1 Regulácia vodného režimu rastlín vplyvom teploty.....	29
1.3.2 Teplota a fotosyntetický aparát.....	30
1.3.2.1 Vplyv teploty na svetelné reakcie fotosyntézy.....	31
1.3.2.2 Regulácia tmavých reakcií fotosyntézy vplyvom teploty.....	32
2 Cieľ práce.....	33
3 Materiál a metódy.....	34
3.1 Biologický materiál a jeho charakteristika.....	34
3.1.1 Jačmeň jarný (<i>Hordeum vulgare</i> L.).....	34
3.1.2 Bôb konský (<i>Faba vulgaris</i> L.).....	35
3.2 Kultivácia rastlín.....	36
3.3 Rastové charakteristiky.....	36
3.4 Kvantitatívne stanovenie asimilačných pigmentov.....	37
3.5 Rýchla kinetika fluorescencie chlorofylu <i>a</i>	38
3.6 Meranie modulovanej fluorescencie pomocou MaxiImaging-Pam.....	38

4 Výsledky a diskusia.....	40
4.1 Rastovo-vývinové procesy ovplyvnené rozdielnou teplotou prostredia.....	40
4.1.1 Rast listovej plochy vybraných plodín regulovaný teplotou prostredia.....	40
4.2 Účinok nárastu teploty prostredia na fotosyntetický aparát.....	42
4.2.1 Asimilačné pigmenty vybraných plodín.....	42
4.2.2 Nárast teploty prostredia a jej vplyv na svetelné reakcie rastlín.....	44
5 Záver.....	53
6 Zoznam použitej literatúry.....	55
7 Prílohy.....	59

Úvod

Otázka globálnej zmeny klímy sa stala za posledné roky vedeckým, politickým a v neposlednom rade i ekonomickým problémom. Koncentrácia CO₂ a ďalších molekúl pohlcujúcich teplo sa od druhej svetovej vojny zvýšila takmer o 25 %, čo pre Zem ako celok znamená ohrozenie jej schopnosti regulovať množstvo slnečného tepla, ktoré sa udržuje v atmosfére. Globálne otepľovanie je problémom komplexným, týkajúcim sa celého sveta, s interakciou s problémami akými sú chudoba, hospodársky rozvoj a populačný rast. Nebude jednoduché tento problém vyriešiť, ignorovať ho je však oveľa horšie.

Ak by zvyšovanie emisií CO₂ pokračovalo až do roku 2100, potom by oteplenie predstavovalo približne 60% z celkového oteplenia pri koncentrácii CO₂. To, čo najviac ohrozuje životné prostredie na svete, ani nie sú strategické hrozby samé, ale naše vlastné vnímanie celej situácie (AlGore, 1994).

Čím viac CO₂ sa vypustí, tým viac sa atmosféra oteplí. Čím rýchlejšie sa bude otepľovať, tým viac sa prejaví negatívny dopad otepľovania. Aké sú možnosti do budúcnosti, aby sa týmto následkom dalo čeliť? Je odpoveďou zníženie emisií alebo adaptovanie sa na prebiehajúce zmeny? Spoločnosť si nie je vedomá všetkých dôsledkov, ktoré prináša obmedzenie rozhodnutí na relatívne krátke časové obdobie a neprijíma úvahy, čo bude v roku 2100 a mnohých pravdepodobne nezaujíma, ani čo bude v roku 2050.

Problematike klimatických zmien sa dnes venujú tisícky vedcov a množstvo politikov resp. úradníkov na celom svete. Najzávažnejšie zistenia odborníkov sledujúcich vývoj zmeny klímy na Zemi sú publikované vedeckým výborom OSN - IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) združujúcim viac ako 2 500 klimatológov z celého sveta. Na rokovaní členských krajín OSN v novembri 2000 v Haagu zhrnul predseda IPCC Róbert T. Watson posledné zistené výsledky nasledovne: prevažná väčšina vedcov uvedomujúc si neistoty, ktoré v tejto oblasti existujú, je presvedčená o tom, že klimatické zmeny už nastali a budúce zmeny klímy sú nevyhnutné. Otázkou v súčasnosti nie je, či klimatické zmeny nastanú, ale aké budú veľké, rýchle a kde sa prejavia.

Otázkou zostáva, ako sa tieto zmeny prejavia na produkcii jednotlivých ekosystémov, nielen tých prírodných, ale najmä poľnohospodárskych, od ktorých sa očakáva vysoká, stabilná a kvalitná produkcia v akýchkoľvek podmienkach ako základného aspektu potravinovej bezpečnosti krajiny. Produkcia plodín je spätá s veľkosťou listovej plochy,

ktorá je základom pre proces fotosyntézy zabezpečujúcej asimiláciu uhlíka. Je známe, že fotosyntéza citlivo reaguje na mnohé podnety z prostredia, preto je dôležité pozrieť sa aj na reakciu fotosyntetického aparátu na narastajúcu teplotu od jeho vzniku cez rast až po fotochemické a nefotochemické procesy prebiehajúce na jeho úrovni.

Aký bude skutočný dopad týchto zmien je dnes ťažko možné predpovedať, pretože globálna klíma predstavuje veľmi komplikovaný systém. Ak sa zmení jeden kľúčový parameter, ako napr. priemerná teplota vzduchu, ostatné parametre sa menia tak isto a zatiaľ nie je možné povedať, aké reakcie ekosystémov to prinesie.

1 Prehľad o súčasnom stave riešenej problematiky

1.1 Súčasný stav teplotných pomerov v prostredí

Nielen v médiách, ale aj na odborných podujatiach sa v súčasnosti až príliš často hovorí o klimatických zmenách a o globálnom otepľovaní. Tieto problémy sú často prezentované aj laikmi, prípadne odborníkmi z iných oblastí, ktorí klimatológiu, ale ani meteorológiu alebo fyziku atmosféry, systematicky neštudovali. Pri takýchto diskusiách zostáva preto vo veľkej väčšine nepovšimnutá samotná podstata procesov klimatických zmien alebo zmien a premenlivosti klímy. Tiež treba pripustiť, že otázky súvisiace s klimatickými zmenami sa dostávajú do centra pozornosti, najmä v obdobiach s výskytom rôznych anomálií počasia v porovnaní s dlhodobými priemermi. Vzhľadom na to, že laická, niekedy aj odborná verejnosť nemá prehľad o všetkých dostupných dlhodobých klimatických priemeroch alebo o charakteristikách variability klímy, za veľké anomálie sa niekedy považujú prípady počasia s pomerne častým priemerným výskytom (častejšie ako raz za 10 rokov). Niekedy sa navyše miešajú dohromady klimatické zmeny s časovým horizontom niekoľko desiatok tisíc rokov (aj viac) s klimatickými zmenami (lepšie povedané s premenlivosťou klímy) v časovom horizonte niekoľkých rokov, prípadne desiatok rokov. Úlohou profesionálnych klimatológov, ktorí sa zaoberajú aj teóriou klimatického systému, je rozširovanie takých informácií o zmenách a premenlivosti klímy, ktoré majú predovšetkým seriózny štatistický základ a sú správne klimatologicky - fyzikálne interpretované. Premenlivosť klimatických prvkov môže mať aj priestorovú závislosť, vtedy však

nehovoríme o zmenách a premenlivosti klímy. Zmeny a premenlivosť klímy definuje Lapin a Tomlain (2010) nasledovne:

1. **Zmeny klímy** (klimatické zmeny) - tento termín sa v minulosti používal pre všetky zmeny súvisiace s klímou; v súčasnosti podľa IPCC (Medzivládny panel pre klimatickú zmenu) (URL1) sa takto nazývajú prevažne už len zmeny klímy prirodzeného charakteru, teda najmä zmeny v minulých geologických dobách Zeme (milióny až stovky miliónov rokov), ľadové doby (desaťtisíce až milióny rokov), sekulárne zmeny (stovky rokov), niekedy aj nízkofrekvenčné kolísanie klímy (desiatky rokov).

2. **Premenlivosť klímy** - klimatické pomery charakterizované stredovými, rozptylovými, trendovými a cyklickými charakteristikami - rozptylové charakteristiky reprezentujú premenlivosť klímy. Premenlivosť klímy možno podobne charakterizovať aj pre dlhšie časové obdobia ako jeden rok, tiež pri použití rôzne dlhých časových období pre hodnoty vstupných údajov spracovania (10 minút, hodina, deň, dekáda, sezóna, rok, 5 rokov, 10 rokov, 30 rokov a iné). Za určitú zvláštnosť považujeme náhle veľké zmeny klímy.

3. **Kolísanie klímy** - prirodzené kolísanie klimatických charakteristík je dané predovšetkým solárnou klímou (ročný chod, 11-ročný cyklus...), iné cykly súvisia s cykličnosťou niektorých klímatvorných procesov (napr. 2-ročný cyklus QBO (vyjadrený aj zmenami prúdenia v stratosfére), ďalej ENSO, el Niño, NAO, AO), okrem ročného chodu sú všetky vyjadrené veľmi slabo, cyklus ľadových dôb má na severnej pologuli periódu okolo 100 000 až 120 000 rokov, za nízkofrekvenčné cykly sa považuje kolísanie s periódou dlhšou ako 11 rokov. Všetky dlhšie cykly sa iba obtiažne dajú identifikovať v súboroch pozorovaných alebo meraných údajov. Trend je niekedy iba časťou nejakého cyklu.

4. Pojem "**zmena klímy**" (**klimatická zmena**) označuje iba tie zmeny v klimatických pomeroch, ktoré súvisia s antropogénne podmieneným rastom skleníkového efektu atmosféry od začiatku priemyselnej revolúcie (asi od 1750 r. n. l.), ak ich vieme odlíšiť od zmien prirodzených. Od konca poslednej doby ľadovej (pred 12 tis. rokmi) sa menila do roku 1750 koncentrácia skleníkových plynov v atmosfére iba nepatrne, odvtedy sa zrýchľuje prírastok všetkých skleníkových plynov v atmosfére okrem vodnej pary. Úplne novými skleníkovými plynmi sú freóny a halóny (iba po roku 1930), v roku 2002 bola koncentrácia CO₂ o 33,5% a metánu o 159% vyššia ako pred rokom 1750 (pri CO₂ až o 20% vyššia ako v roku 1950) (Lapin a Tomlain, 2001).

1.1.1 Nárast teploty vzduchu v dôsledku klimatických zmien z celosvetového hľadiska

Klimatický systém má dynamický charakter. Kolísanie klímy prebieha v časových mierkach od desiatok rokov cez tisícročia až po milióny rokov. Posledné náhle oteplenie bolo v holocéne približne pred 11 500 rokmi a súviselo s ukončením ľadovej doby . Príčiny klimatických zmien možno zjednodušene rozdeliť na :

1. prirodzené: astronomické zmeny sklonu zemskej osi, zmena slnečnej aktivity, sopečné erupcie, zmeny obsahu prirodzene sa vyskytujúcich atmosférických aerosólov.
2. antropogénne: emisie skleníkových plynov a aerosólov ľudskou činnosťou zmeny vo využívaní Zeme a urbanizácia.

Pojem *klimatická zmena* (v jednotnom čísle) je používaný pre antropogénne podmienené klimatické zmeny, ktoré sa prejavujú v súčasnosti najmä globálnym oteplením.

Hlavnou príčinou súčasného globálneho oteplenia je na základe mnohých štúdií zosilnený skleníkový efekt, zapríčinený masívnou antropogénnou imisiou skleníkových plynov, najmä CO₂ do atmosféry Zeme. Ďalšou príčinou je zmena využívania zemského povrchu (odlesňovanie, zavlažovanie atď.). Za obdobie od r. 1750 do konca roku 2003 sa zvýšila koncentrácia CO₂ z 280 ppmv na úroveň 375 ppmv (nárast o 34 %) a metánu o 151 %. Podľa paleoklimatických výskumov je úroveň koncentrácie CO₂ najvyššia za posledných 420 000 rokov, pričom aj rýchlosť zvýšenia koncentrácie je až 50-krát vyššia ako pri „náhlych“ zmenách v medziľadových dobách. Dôsledkom týchto procesov je nielen zmena chemického zloženia atmosféry, ale aj zmena v absorpcii dlhovlnného vyžarovania zemského povrchu. O uvedomovaní závažnosti zmeny chemického zloženia atmosféry svedčí aj to, že po takmer desaťročí vyjednávania vstúpil vo februári 2005 do platnosti Kjótsky protokol o znižovaní emisií skleníkových plynov. Je to prvá záväzná legislatíva OSN v oblasti životného prostredia. Reakcia klimatického systému Zeme na zmenu chemického zloženia atmosféry sa prejavuje globálnym oteplením, ktoré predstavuje asi 0,6 °C od roku 1861. Miera a trvanie oteplenia v 20. storočí je pravdepodobne väčšia ako kedykoľvek v predchádzajúcich 1000 rokoch. Dekáda 1991- 2000 je na severnej pologuli pravdepodobne najteplejšia v celom predchádzajúcom miléniu. Podľa vypočítanej globálnej teploty zemského povrchu bol rok 1998 doteraz najteplejší. Začiatkom tohto storočia trend globálneho otepľovania pokračoval a rok 2002 bol druhý, rok 2003 tretí a rok 2004 štvrtý

najteplejší od roku 1861. Na severnej pologuli bol v minulom storočí zároveň pozorovaný mierny nárast zrážok. (Máchková, 2005)

1.1.2 Zmeny klimatických podmienok na Slovensku za posledných sto rokov

Podľa Machkovej (2005) je na Slovensku trend zvyšovania teploty vzduchu podobný globálnemu trendu, od roku 1901 sa oteplilo asi o 1,1 °C. Územné úhrny zrážok na Slovensku sa za 100 rokov znížili o 5,6 %, na juhu aj viac ako o 10 %, na severe je trend nevýznamný. Po prechodnom znížení variability viacerých klimatických prvkov v období rokov 1965 až 1990 sa premenlivosť zvýšila na predchádzajúcu úroveň. V udávanom období je zrejmy ich pokles.

Vysoké úhrny zrážok sa vyskytujú zväčša v teplom polroku a sú často spojené so zrážkami s vysokou intenzitou a následnými privalovými povodňami. V období rokov 1989 - 2004 sa na Slovensku vyskytli série po sebe nasledujúcich teplých rokov (rekordný bol rok 2000), 4 výrazné obdobia sucha (1990, 1993, 2000, 2002 a 2003), pričom v roku 2003 bolo sucho celoplošné. Z 12 najteplejších rokov, zaznamenaných na Slovensku, sa až 8 vyskytlo po roku 1989. Pritom do 12 najchladnejších rokov je za posledných 25 rokov zapísaný len rok 1980. V deväťdesiatych rokoch minulého storočia sa vyskytovali aj významné povodne, najmä koncom obdobia (väčšinou privalové, ale aj z topenia snehu). Porovnaním vybraných klimatických prvkov a výskytom význačných meteorologických a hydrologických javov za posledné obdobie možno ilustrovať extrémny uvedeného obdobia v nasledujúcom prehľade:

1. Rok 1997 - mimoriadne povodne v júli na Morave, Myjave, Kysuci, Rajčianke, ale aj Dunaji.

2. Rok 1998 - mimoriadne teplá zima 1997/98; povodne na Uhu a Bodrogu v apríli až máji z vnútorných vôd; 20. júla privalové povodne na Malej Svinke, Dubovickom a Žehrianskom potoku. Parametre povodne na prvých dvoch tokoch: v jadre lejaka spadlo za 1,5 hod. viac ako 100 mm zrážok, maximálny špecifický odtok sa odhadoval na viac ako 7 000 l/s/km² a prietoky presahovali hodnoty opakujúce sa raz za 1000 rokov.

3. Rok 1999 - snehová kalamita na východnom Slovensku vo februári; po rýchlym odmäku vo februári povodeň z vnútorných vôd na Bodrogu; v marci povodne z odmäku snehu a ľadochodov na riekach Poprad, Hornád a Hnilec; v tom istom mesiaci boli povodne z topenia snehu na Bodve, Toryse, Hornáde, na Hrone, Ipli, Štiavnici, Krupinici, na Morave a

na Dunaji; v júni časté búrky a séria privalových dažďov, ktoré zasiahli najmä juh stredného Slovenska; v júli séria privalových zrážok zasiahla najmä malé toky povodí dolnej Moravy a Váhu, Hrona a Ipľa; 13. júla na toku Krupinica bol dosiahnutý väčší ako 1000 - ročný prietok.

4. Rok 2000 - priemerná ročná teplota vzduchu bola najvyššou od roku 1871 (+3 °C); od r. 1871 boli jar, jeseň a vegetačné obdobie najteplejšie obdobia, apríl bol najteplejší, jún a august druhý najteplejší a máj, október a november tretí najteplejší mesiac. Katastrofálne sucha bolo zaznamenané v južnej a juhozápadnej časti územia; za apríl až jún deficit zrážok dosiahol vyše 100 mm a priemerné teploty boli 3 °C nad normálom; paradoxne začiatok sucha na juhozápade bol v tom istom čase ako doznievala povodeň z topenia sa snehu v povodí Bodrogu.

5. Rok 2001 - ďalší zo série teplotne nadnormálnych rokov, relatívne najteplejšie boli august (+2,8 °C), máj (+2,5 °C) a október (+3,3 °C); júl bol od roku 1881 tretí naj daždivejší (Zuberec 582 mm); rok bol prvý zrážkovo nadnormálny od roku 1974; prvé povodne v roku sme zaznamenali v povodí Bodrogu (príčinou boli veľké zásoby snehu a náhly odmák kombinovaný so zrážkami); séria privalových povodní v 2.a 3. dekáde júla v povodiach Váhu, Hrona, Torysy, Popradu, Ondavy a Tople; na Štrbe významná privalová povodeň bola 24. júla, špecifický odtok dosahoval 7 až 10 m³/s/km², zrážky v jadre lejaka boli odhadované na 100 až 120 mm za pol až trištvrte hodiny, maximálny denný úhrn bol zaznamenaný v Hronci 16. júla (142 mm).

6. Rok 2002 — podľa pozorovaní v Hurbanove druhý až tretí najteplejší rok od roku 1871, let o bolo druhé najteplejšie, z mesiacov bol veľmi chladný len december, teplý rok bol aj na horách; 29. januára bola na stanici Bratislava -Mlynská dolina nameraná najvyššia zimná teplota v histórii meraní na Slovensku (20,3 °C); celkovo rok bol vlhký, s ôsmym najvyšším územným úhrnom zrážok od r. 1951; najvyššie úhrny zrážok boli v júli a v auguste; 13. júla sa na 72 staniaciach vyskytol denný úhrn 50 mm a viac; od októbra 2001 do mája 2002 bolo extrémne sucha vo východnej časti územia (miestami padlo len 40 % zrážok z 8-mesačného normálu); sucha bolo aj na jar na východe nášho územia; išlo o 6. až 8. najsuchšiu jar od roku 1901; povodne sme zaznamenali na Dunaji v marci a auguste, obidve boli spôsobené zrážkami; Dunaj v Bratislave dosiahol v marci 20-ročný prietok a v auguste

50 až 100-ročný prietok; séria privalových a frontálnych zrážok vyvolala povodne v povodiach Čierneho Hrona, Hrona, Ipľa a Slanej.

7. Rok 2003 - rok bol šiestym najteplejším od roku 1871, najmä v juhozápadnej časti Slovenska; extrémne teplo bolo v období mája až augusta; ročný plošný úhrn zrážok (573 mm) bol druhý najnižší od roku 1901 (okrem roku 1917); najsuchším obdobím boli mesiace február až júl s plošným úhrnom zrážok 324 mm, nedostatok zrážok v súčinnosti s extrémne teplým počasím zapríčinili najvýraznejšie sucho aspoň od roku 1871 (v tomto roku sme zaznamenali najskorší výskyt snehovej pokrývky (24. októbra) aspoň od r. 1921, výskyt bol zaznamenaný na juhozápade Slovenska; napriek suchu, ktoré zasiahlo temer celé naše územie, v júni sme zaznamenali dve menšie série privalových zrážok na západnom Slovensku v okolí Trenčína a na východnom Slovensku v povodí hornej Ondavy; v tomto roku sa zaznamenali v Hurbanove ešte jeden rekord, počet hodín slnečného svitu dosiahol hodnotu 2 450, čo je zhruba o štvrtinu viac ako dlhodobý priemer.

8. Rok 2004 — tento rok sa nezapísal do análov teplotných rekordov, ako celok patril, podľa hurbanovského radu, medzi teplotné normálne; veľké škody silným vetrom a krupobitím vyvolal prechod mimoriadne výdatnej búrky (tzv. supercely) dňa 9.6. v juhozápadnej časti územia Slovenska; hoci búrková činnosť bola dosť intenzívna, vyskytlo sa len niekoľko privalových povodní. Z nich vyniká povodeň z 9. júna v Mníchovej Lehote a Trenčianskej Turnej, keď kulminačný prietok Turnianskeho potoka dosiahol hranicu 100-ročnej vody; význačná regionálna povodeň sa vyskytla po výdatných zrážkach od 26. do 30. júla 2004 na východnom Slovensku. V najzasiahnutejších oblastiach boli za 5 kritických dní namerané úhrny zrážok vyššie ako 200 mm (najviac za posledných 54 rokov). Najvýraznejšie boli zasiahnuté stredné časti povodí Ondavy, Tople, Hornádu a Torysy, kde sa stavy hladín riek pri kulmináciách povodňových vln priblížili k historickým extrémom; silný spadavý vietor v oblasti Vysokých Tatier dosahujúci v nárazoch 160 až 194 km/h dňa 19.11. mal veľkoplošné účinky na lesný porast a prejavil sa veľkými škodami (zničených 12 000 ha lesa). (Machková, 2005)

Slovensko sa už v tomto storočí zaradí medzi krajiny stredne postihnuté globálnym otepľovaním. Malo by sa pripraviť najmä na častejšie a intenzívnejšie suchá. Zároveň bude viac vystavené riziku náhlych povodní. Vyplýva to zo správy, ktorú v Bruseli v 13. 4. 2007 prijal Medzivládny panel pre klimatické zmeny. Slovensku môže onedlho chýbať pitná voda a ťažkosti s

vodou zrejme najviac pocíti južná polovica Slovenska, pričom v našich zemepisných šírkach sa očakáva aj zvýšený výskyt extrémov počasia, ako sú prívalové dažde a silné víchrice (Lapin, 2001).

Podľa ďalších odborníkov však aj upravená správa pôsobí varujúco. V regióne strednej Európy sa napríklad očakáva posun klimaticko -biologických pásiem. Môže to znamenať až vyhynutie viacerých biologických druhov a na druhej strane rýchle rozšírenie rastlín, živočíchov a mikroorganizmov z teplejších oblastí. Preto je vítaná iniciatíva poľnohospodárskych podnikov, ktoré už začínajú šľachtiť semená plodín schopné odolávať vyšším priemerným teplotám. Ďalšou skutočnosťou môže byť rozšírenie chorôb a škodcov, doteraz neznámych na území Slovenska. Predpokladaná zmena klímy si vyžiada adaptačné opatrenia najmä v sektoroch poľnohospodárstva, vodného a lesného hospodárstva (Lapin, 2001). Naliehavé sú predovšetkým vodohospodárske úpravy, ktorých na niektorých miestach Slovenska bude cítiť silný nedostatok vody, keď príde séria veľmi suchých rokov

Nedostatok vody pocíti väčšia časť Slovenska:

- otepľovanie prinesie na celom Slovensku pokles priemerného ročného úhrnu zrážok,
- v dôsledku toho sa bude dlhodobo znižovať priemerný ročný odtok,
- do roku 2030 poklesne od 20 do 40 percent na väčšine územia,
- veľmi zložitá hydrologická situácia nastane v Malých Karpatách a Považskom Inovci najvýraznejší pokles využiteľného potenciálu povrchových vôd bude v nížinách,
- najviac postihnuté suchom budú oblasti južného a západného Slovenska,
- najvýraznejší pokles mesačných odtokov tam možno očakávať od apríla do októbra,
- klíma v nížinách sa priblíži podnebiu na juhu Maďarska či severe Chorvátska,
- menej postihnuté budú oblasti severného Slovenska, s podnebím aké je dnes v Podunajskej nížine (Jančura, 2007).

1.2 Úloha teploty v raste a vývine rastlín

Zmeny týkajúce sa dĺžky ročných období sú v súčasnosti badateľné už v mnohých oblastiach mierneho pásma, 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.

Každá zmena ekologických podmienok prináša aj zmenu bioty - súboru živočíchov a rastlín v určitom priestore. Nové teplotné a vlhkosťové pomery zmenia aj dátumy výsevu a zberu plodín (Bedrna, 2007).

Zatiaľ čo očakávané oteplenie môže na jednej strane rozšíriť hranice potenciálneho obilnárstva a krmovínárstva, na druhej strane môže mať za následok redukciiu potenciálnej úrodnosti v kľúčových oblastiach súčasnej produkcie, pretože vyššie teploty podporujú rýchlejšie dozrievanie a skracujú obdobie naplňovania zŕn (Špánik, 1997).

V Hurbanove bolo za obdobie 1998- 2003 oproti rokom 1901-1990 teplejšie o 1°C, trvanie slnečného svitu vyššie o 4,5 %, suma zrážok v priemere za rok nižšia o 5,5 % a relatívna vlhkosť vzduchu nižšia o 2,2 %. Krytie výdaja vody zrážkami sa posunulo severnejšie a do vyšších nadmorských výšok a vlhkosť pôdy sa znížila. Tento trend aridizácie sa kombinoval so vzostupom počtu tropických dní v lete, poklesom počtu dní so snehovou pokrývkou a nárastom extrémov počasia a následných stresov znižujúcich rýchlosť fotosyntézy, rastu a tvorby úrody. Teploty nad optimom skracujú trvanie fáz ontogenézy, v ktorých sa zakladajú prvky úrodnosti, a teda znižujú počet kláskov, kvietkov, zŕn v klase a hmotnosť zŕn. Úrodovotný dopad je vzhľadom na výskyt kritických fáz ontogenézy a časti dňa zložitejší, vyskytujú sa protichodné pôsobenia, aklimácie a spätné väzby fyziologických a iných procesov a tvorby úrodových prvkov. Presnejší odhad dopadu klimatickej zmeny na úrody v budúcnosti môže v našich podmienkach poskytnúť pre poľné porasty len simulovanie priebehu fyziologických procesov a tvorby úrod pomocou matematických modelov rastu porastu. Veľmi variabilný a ťažšie simulovateľný je najmä faktor zrážok. Kľúčové je ich rozdelenie v priebehu ontogenézy. Napríklad pri kukurici po období nižšej

vlhkosti pôdy stačí jedna doplnková závlaha v období tesne pred metaním na to, aby sa úroda výrazne zvýšila.

Prebiehajúca klimatická zmena má aj pozitívne dopady na tvorbu úrod. Tieto môžu zosilňovať efekt celého agronomického komplexu s cieľom získať vyššie, stabilnejšie a ekonomicky efektívnejšie úrody. Je to skorší nástup a neskoršie ukončenie dĺžky vegetačného obdobia a zvýšenie teplotnej sumy pre vývin rastlín a rast fytomasy, a teda potenciálnej úrody (Lapin, Tomlain, 2001).

V procese fotosyntézy, ktorý premieňa slnečnú energiu na energiu fytomasy, a to aj tej, ktorá je vo fosílnych palivách, sa zlučuje CO_2 s vodou. Súčasná, aj keď zvýšená koncentrácia CO_2 , ešte stále fotosyntézu C3 typu rastlín nenasycuje. Jej zvyšovanie má preto pozitívny efekt a zvyšuje rýchlosť fotosyntézy, rast a úrodu fytomasy.

V súčasných a budúcich úrodách sa odrážajú dve hlavné protichodné tendencie zo zvyšovania koncentrácie CO_2 a to:

- nepriama, nepriaznivá (oteplenie, aridizácia)
- priama, priaznivá (dodanie vzdušného CO_2 rastline).

Zvýšená koncentrácia CO_2 zvyšuje pri vyšších teplotách tiež efektívnosť využitia vody vo fotosyntéze. Efekt CO_2 môže po určitú hranicu kompenzovať pôsobenie sucha, nadoptimálnej teploty a zvýšenej prízemnej koncentrácie ozónu. Tento zjednodušený súhrn zmien môže byť čiastočným východiskom návrhu adaptačných opatrení ku klimatickej zmene (Lapin, Tomlain, 2001).

Zmeny vo fenológii rastlín sú pravdepodobne príčinou globálnych zmien klímy. Zvýšenie obsahu CO_2 a zvýšenie teplôt sú charakteristiky, ktoré najviac ovplyvňujú rast a vývoj rastlín. Teplota patrí k najdôležitejším podmienkam života. Jej hlavným dodávateľom je Slnko. Množstvo tepla rozhoduje o základnom formovaní zemského povrchu do klimatických oblastí a o geografickom rozšírení biologických druhov (Larcher, 1988).

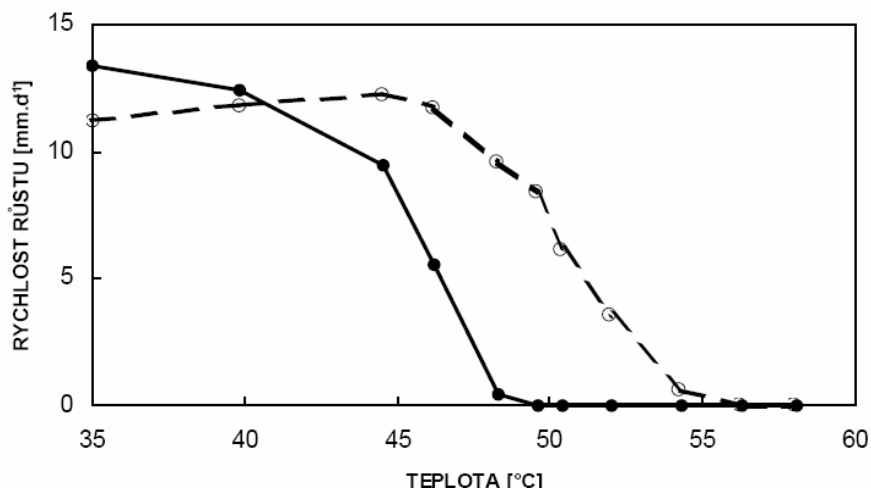
Pre rast každej rastliny sú dôležité tri body: minimum, optimum a maximum teploty. V minimu sa rast zastavuje, v optime je najrýchlejší a v maxime sa opäť zastavuje. Medzi optimom a maximom je oveľa menší rozdiel teploty ako medzi optimom a minimom.

Aj k vysokým teplotám sa môže rastlina prispôbiť, a to tak že nasýti zvyšky mastných kyselín v plazmatickej membráne. Tým sa zvýši teplota membrány (stáva sa menej fluidná) a teploty, ktoré by membránu za normálnych okolností poškodili, jej

neuškodia. K ochrane proteínov slúžia iné špecifické proteíny, ktoré sa nazývajú proteíny teplotného šoku a označujú sa ako HS-proteíny (z angl. heat shock proteins) (Procházka et al., 1988).

Celkový stupeň poškodenia buniek je daný súčinom aktuálnej teploty a doby jej pôsobenia. Pri teplotách 50 až 55°C ktoré pôsobia krátkodobo trvajúce len niekoľko desiatok minút dochádza k nevratnému poškodeniu exponovaného orgánu a jeho odumretie. K vzácnym výnimkám patria niektoré vytrvalé druhy rastlín z teplých púští a polopúští. Napríklad sukulenty, ktoré iba veľmi ťažko odbúravajú teplo, pretože majú malý povrch a zavreté prieduchy v najteplejšej časti dňa. Odolnejšie sú už len niektoré sinice a baktérie žijúce napr. v horúcich prameňoch pri teplotách blízky bodu varu. Mimoriadne odolné sú semená, ktoré v niektorých prípadoch prežívajú bez poškodenia krátkodobé zvýšenie teploty na 120°C (Šebánek, 1983).

Aklimatizačné reakcie na zvýšenú teplotu je možné pozorovať už za necelú hodinu od začiatku pôsobenia. Vďaka aklimatizačným zmenám môže byť kritická teplota posunutá až o 5 stupňov (obr. 1).



Obrázok 1. Závislosť rýchlosti rastu na teplote u mladých rastlín prosa. Plná čiara -kontrolné rastliny pestované pri teplote 35°C, čiarkovane sú vyznačené reakcie rastlín vystavených 24 hodín pred meraním teplote 45°C (Howard, 1991).

V prírode sú vysoké teploty spôsobené predovšetkým vysokým žiarením. Rastliny sa chránia proti nemu špecifickým povrchom (trichómy, žliazky) alebo voskom, ktorý pôsobí ako zmnohonásobnená odrazná plocha pre dopadajúce žiarenie. Ďalej tvoria malé, členité

alebo zložené listy, ktoré lepšie odvádzajú teplo do okolitého prostredia (čím členitejší povrch, tým väčšia plocha pre únik tepla do okolia). Pri vysokom žiarení niektoré druhy rastlín znižujú množstvo dopadajúcej energie tým, že stavajú listové čepele do vertikálnej polohy alebo ich zvinujú (Larcher, 1988).

S vysokou teplotou súvisia taktiež adaptácie na oheň. Niektoré rastliny vyriešili ochranu proti požiarom vytváraním silnej korkovej vrstvy na svojich stonkách (baobab), iné rastliny tvoria mohutné podzemné stonky a po poškodení nadzemnej časti požiarom znovu obrastú. Niektoré rastliny sa adaptovali natoľko, že ich semena vyklíčia len po požiari a tiež šišky niektorých borovíc zostávajú pevne zavreté, pokiaľ nie sú vystavené vysokej teplote pri požiari (Terek, Vostal, 2003).

1.2.1 Vplyv teploty na rast listovej plochy

Listová plocha je hlavný faktor, ktorý ovplyvňuje zachytávanie žiarenia porastom a tak aj produkciu biomasy. Preto, akýkoľvek pokles rastu listov je obyčajne spojený s redukciou fotosyntézy a v konečnom dôsledku aj nadzemnej biomasy, úrody zrna a kvality (Schurr et al. 2006). Jarné obilniny sú charakteristické rozsiahlou listovou plochou vyprodukovanou vo veľmi krátkom časovom období, počas ktorého absorbujú veľké množstvo slnečného žiarenia ako dôležitého faktora produktivity porastu. Podrobnejšie štúdium účinku prostredia na výskyt listov je nevyhnutné z hľadiska porozumenia dynamiky rastu porastu v premenlivých podmienkach prostredia, najmä pri súčasnom trende klimatických zmien. Vývoj porastu jačmeňa jarného je prejavom fenologických znakov regulovaných vzťahom medzi genotypom a podmienkami prostredia. Rast listovej plochy spolu so zmenami v postavení listov sú silne modifikované teplotou, žiarením, zatienením (urýchľuje starnutie listov), fotoperiódou, vlhkosťou vzduchu, dostupnosťou vody a dusíkovou výživou (Tardieu et al. 2005).

Počet listov vyprodukovaných na steblo je genotypová záležitosť a dôležitým faktorom hornej hranice veľkosti listovej plochy. Environmentálne faktory pritom určujú, či listy dosiahnu svoje potenciálne rozmery alebo bude ich listová plocha nejakým spôsobom redukovaná. Hay a Porter (2006) uvádzajú, že aktuálna veľkosť listu závisí na rýchlosti a trvaní expanzie listov.

Fleming (2002) uvádza, že v kontrolovaných podmienkach je rýchlosť rastu počtu buniek, dĺžky listov, plochy a čerstvej hmotnosti približne exponenciálna. Pre jednotlivé plodiny je počet listov produkovaných na steblo, resp. stonku, dôležitým determinantom hornej hranice veľkosti listov v príslušnom mieste, pričom environmentálne faktory určujú, či list dosiahne svoje potenciálne rozmery alebo nie. V prirodzenom prostredí je vývoj listov viac menej regulárny a do veľkej miery ovplyvňovaný premenlivosťou teploty vzduchu a intenzity žiarenia v prostredí (Hay, Porter, 2006).

V porastových rastlinách určuje rýchlosť produkcie listov stebkami teplota expandujúcich listov, najmä zóny expanzie. Relevantnou teplotou je pri obilninách v období pred vytvorením stebľa teplota okolitej pôdy alebo vzduchu tesne nad povrchom pôdy. Tento proces môže byť charakterizovaný jedným fylochroénom hlavných stebiel porastu (Bos, Neuteboom, 1998). Objavenie nových listov je lineárnou funkciou času pri akýchkoľvek teplotných režimoch. Ak teplota narastá, interval medzi objavením dvoch následných listov sa skraca. Rast listov sa zvyšuje s narastajúcou teplotou, kým sa nedosiahne optimálna teplota (McMaster et al. 2003). Niektoré práce poukazujú na skutočnosť, že nielen teplota vzduchu tesne nad povrchom pôdy má veľký význam, ale aj teplota pôdy, resp. koreňovej zóny ovplyvňuje rast a vývoj listov a procesy spojené s asimiláciou uhlíka a transpirácie vyšších rastlín. Preto je rast listov spojený s teplotou pôdy viac, ako s teplotou vzduchu tesne nad povrchom pôdy počas počiatočného štádia vývinu listov (McMaster et al. 2003; Repková et al. 2009).

Okrem teploty ovplyvňuje rast listov aj prístupnosť vody v prostredí, najmä rýchlosť expanzie listov je veľmi citlivá k premenlivosti prostredia. Vystavenie nedospelých pletív vodnému stresu môže ovplyvniť rýchlosť expanzie v niekoľkých smeroch. Primárny účinok poklesu vodného potenciálu spočíva v redukcii turgoru, čo spôsobuje redukcii hnacej sily predlžovacieho rastu bunky, a tým aj rýchlosť expanzie bunky (Olšovská, Brestič, 2001; Fleming, 2002). K merateľnému spomaleniu rastu dochádza už pri malej strate vody, kedy turgor klesne iba o 0,1 až 0,2 MPa (tomu odpovedá pokles vodného potenciálu približne na — 0,1 až -0,2MPa). Úplné zastavenie rastu nastáva pri poklese turgoru na prahovú hodnotu rastu, ktorá sa nachádza v intervale medzi 0,3 až 0,4 MPa. K zastaveniu rastu teda dochádza skôr, ako sa objaví vädnutie listov či ovplyvnenie hlavných metabolických procesov vrátane fotosyntézy.

Listy, ktoré expandovali v podmienkach vodného stresu, majú zvyčajne menšiu listovú plochu ako je ich potenciálna plocha na danom uzle dôsledku vodného deficitu. Ich aktuálna veľkosť bude v konečnom dôsledku závislá na sile stresu a stupni osmotickej adjustácie (Olšovská, Brestič, 2001).

Svetelné prostredie môže takisto modifikovať rast listov a odnožovanie pri obilninách, najmä v podmienkach konkurencie rastlín o svetlo. Čiastočné tienenie vo vnútri hustého porastu je spojené s predlžovaním listov a poklesom odnožovania rastlín. Tieto účinky sú spôsobené zmenou pomeru medzi svetlo a tmavo červeným svetlom v dôsledku tienenia na úrovni bázy porastu. Ako následok kompenzácie nízkeho osvetlenia sa môže objavovať zväčšovanie listovej plochy prostredníctvom predlžovania listov a trvania expanzie listov (Evers et al. 2006; Repková et al. 2009).

Analýza expanzie listovej plochy individuálnych listov poľnohospodárskych plodín vyžaduje podrobné hodnotenie parametrov charakterizujúcich rýchlosť objavenia listov, rýchlosť predlžovania listov, dĺžku obdobia predlžovania listov vo vzájomnom vzťahu s podmienkami prostredia, aby sa na základe týchto údajov dal predpokladať dynamika vývoja listovej plochy v meniacich sa podmienkach prostredia.

1.2.2 Účinok teploty na produkčný proces

Formovanie vysoko produktívneho porastu poľnohospodárskych plodín sa realizuje prostredníctvom veľkého počtu parametrov určujúcich biologickú a hospodársku úrodu. Ide o rast, diferenciaciu vegetatívnych, generatívnych orgánov a procesy, ktoré rozhodujú nielen o veľkosti vyprodukovanej hmoty (Kostrej et al., 1998).

Priebeh fyziologických a biochemických procesov, ktorý je spojený s výmenou látok na rôznych hierarchických úrovniach rastlín, je závislý na teplote a teplotných podmienkach prostredia. So zvyšovaním teploty sa rýchlosť reakcií týchto procesov mení exponenciálne. Pri nízkych teplotách limitujúcim faktorom je priebeh enzymatických reakcií, pri vysokých teplotách je obmedzovaný priebeh fyzikálnych procesov, napr. difúzie.

Mechanizmus pôsobenia teploty a reakcia plodín je univerzálny tak na pôsobenie vysokej ako aj nízkej teploty. Kardinálne body teploty, *minimum*, *optimum*, *maximum* sú odlišné pre rôzne druhy plodín, ako aj pre rôzne fyziologické a biochemické procesy: fotosyntéza, dýchanie, rast, vývin, vodný režim, minerálna výživa rastlín a porastu. Minimálna teplota pre

priebeh týchto procesov je u ozimín na hranici $1+2^{\circ}\text{C}$. Maximálna hodnota pre naše poľné plodiny je 30°C . Plodiny pestované v miernom klimatickom pásme sú prispôbené k dennému cyklu striedania dennej a nočnej teploty s teplotným gradientom, t.j. dennou teplotnou amplitúdou $5-5-10^{\circ}\text{C}$. Tento adaptačný mechanizmus je geneticky fixovaný.

Teplotným prostredím porastu je vzduch a pôda. Pre kvantitatívnu charakteristiku tohto prostredia existuje celý rad ukazovateľov: teplota vzduchu nad porastom, na rôznych úrovniach v profile porastu, teplota pôdy, teplota plodiny a jej orgánov. Tieto parametre teplotného režimu podstatne ovplyvňujú rýchlosť priebehu základných fyziologických procesov. Pre opis teplotného režimu porastov poľnohospodárskych plodín sa vo väčšine prípadov využíva teplota vzduchu meraná vo výške 2 m od pôdy v meteorologickej búde. Tá však nezodpovedá reálnej teplote porastu. Porast je samoregulujúci systém, adaptuje sa k reálnej situácii vo vnútri porastu takým smerom, aby sa vytvorili čo najvhodnejšie podmienky pre optimálny priebeh produkčného procesu.

Teplotný režim vegetačného obdobia z hľadiska realizácie produkčného procesu plodín sa charakterizuje:

- zmenou priebehu teploty počas vegetácie,
- úrovňou teplôt na začiatku a konci vegetácie,
- minimálnou a maximálnou teplotou v rozsahu biologicky efektívnych teplôt,
- sumou teplôt potrebných pre celé vegetačné obdobie, ako aj jednotlivé rastové fázy danej plodiny.

Požiadavky na priebeh teploty počas vegetácie pre jednotlivé plodiny sú rozdielne. Podobne sa mení aj suma biologicky aktívnych teplôt za vegetačné obdobie, potrebná pre optimálny rast a vývin rastlín.

Pri hodnotení produkčného procesu s ohľadom na rozdielnu teplotnú závislosť fotosyntézy a dýchania nepostačuje charakterizovať teplotu len priemernou dennou teplotou, ale musíme zohľadniť aj priemernú nočnú teplotu. Fotosyntéza prebieha cez deň, dýchanie cez deň aj noc. Pritom jednotlivé plodiny rozdielne reagujú na úroveň denných a nočných teplôt. Napr. denná teplota $20-25^{\circ}\text{C}$ je spravidla optimálna pre fotosyntézu väčšiny plodín. V noci vyvoláva zvýšenú rýchlosť dýchania, v dôsledku čoho je väčší úbytok asimilátov. Pre charakteristiku teplotného režimu porastu je teplota vzduchu meraná v sieti meteorologických staníc nedostatočná.

Pomocou teplotných súčtov sa hodnotí biologický čas plodín. Plodiny prechádzajú do vyššej rastovej fázy, až po dosiahnutí určitej sumy teplôt. Teplotný režim porastu možno stanoviť (Matejka, Huzulák, 1987):

- priamym meraním teploty v poraste,
- na základe jeho energetickej (tepelnej) bilancie.

Výsledkom aktuálnej tepelnej bilancie listu, alebo porastu je jeho teplota. Ak energetická bilancia je kladná, teplota porastu sa zvyšuje, ak je záporná teplota porastu klesá. Základným faktorom určujúcim teplotný režim porastu je slnečné žiarenie, termofyzikálne charakteristiky pôdy a vzduchu. Je pomerne vysoká korelácia medzi hustotou toku slnečného žiarenia a teplotou vzduchu. Za základné kvantitatívne charakteristiky stavu porastu sa používajú hodnoty veľkosti LAI a údaje o hmotnosti sušiny. Vzájomné vzťahy medzi nimi určujú stupeň zatienenia pôdy porastom, rýchlosť aktuálnej evapotranspirácie, rýchlosť transpirácie, turbulentnú výmenu tepla v prízemnej vrstve a v konečnom dôsledku termický režim porastu. Termofyzikálne vlastnosti pôdy sú do značnej miery závislé od vlhkosti vyjadrenou obsahom vody v pôde.

V riedkych porastoch ($LAI < 1 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-2}$) v intervale teplôt 12-18° C je teplota rastlín v poraste a vzduchu rovnaká. Pri vyšších teplotách vzduchu je teplota v poraste o 2-2,5° C vyššia ako teplota vzduchu nad porastom. Porasty regulujú teplotný režim v závislosti od prehriatia rastlín, najmä cez transpiráciu. Teplota porastu je priamo úmerná vlhkosti pôdy pravdepodobne preto, že zníženie teploty porastu a teploty pôdy ide nielen na úkor lepšieho prenosu teplôt pri vyššej vlhkosti do hlbších vrstiev pôdy, ale i na zvýšenie strát tepla na evapotranspiráciu z povrchu dobre zásobenej pôdy vodou.

Významnou charakteristikou pre realizáciu produkčného procesu poľných plodín je teplota pôdy najmä na začiatku vegetačného obdobia, v období zakladania (sejba) a vzhádzania, ale aj ďalšieho rastu a vývinu porastu. Čím sú vyššie teploty v tomto období, tým rýchlejšie prebieha klíčenie semien, pri dostatočnom množstve vlahy. Teplota pôdy ovplyvňuje príjem živín, rozvoj koreňového systému a efektívnosť využitia dodaných minerálnych živín. (Kostrej et al., 1998)

Teploty, o ktorých sa doteraz silne neuvažovalo, môžu mať významné dôsledky na úrodu plodín. Vysoké aj nízke teploty znižujú rýchlosť produkcie sušiny, dokonca extrémne teploty môžu produkciu úplne zastaviť. Zdá sa, že rastliny reagujú skôr na absolútne ako na

relatívne zmeny teplôt, čo poukazuje na diskontinuálny prah reakcií k teplote, na rozdiel napr. od vodného deficitu (Porter, Gawith 1999).

1.2.2.1 Formovanie úrody vplyvom rastu teploty prostredia

Teplota je jedným z faktorov, ktorý významnou mierou ovplyvňuje kvalitu úrody obilnín. Bolo dokázané, že krátke periódy vysokej teploty počas obdobia naplňania zŕn redukuje hmotnosť zŕn a kvalitu úrodu. Práca poukazuje na skutočnosť, že šľachtenie na vyššiu úrodu so sebou prináša zvýšenú citlivosť na vysoké teploty, kedy dochádza k zníženiu hmotnosti zŕn počas ošetrovania vysokou teplotou (Passarella, Savin, Slafer, 2005).

V poľných podmienkach je výskyt krátkych mierne zvýšených teplôt (30-32°C) a vysokých teplôt (nad 35°C) bežný najmä v období nalievania zŕn. Tieto podmienky sú bežné pre rôzne spôsoby pestovania i environmentálne podmienky nevynímajúc výživu dusíkom a pomer sink/source po kvitnutí. V pokuse boli klasy jačmeňa 10 dní po kvitnutí vystavené teplotnému stresu v kombinácii s rôznou dusíkatou výživou. Hmotnosť zŕn bola redukovaná miernym teplotným stresom. Efekt teploty závisel od úrovne dusíkatej výživy a od dostupnosti zdrojov, kde bolo zaznamenaný pokles obsahu sladového výťažku (Passarella, Savin, Slafer, 2008).

U obilnín mierneho pásma zriedka dochádza k prekryvaniu etáp určujúcej počet zŕn a hmotnosť zŕn počas ontogenézy porastu. Predpoklad, že hmotnosť zŕn je determinovaná iba po kvitnutí bola podrobená podrobnému štúdiu, pričom bolo zistené, že pôsobenie teploty pred kvitnutím znižuje hmotnosť zŕn. Hoci evidentne existujú dôkazy o tom, že aj hmotnosť aj počet zŕn ovplyvňujú podmienky prostredia pred kvitnutím, predsa je len málo poznatkov o tom, ako pôsobí teplota pred kvitnutím u pšenice, jačmeňa a tritikale. V experimente boli použité tri rôzne ošetrovania teplotou – prvé dve sezóny bola aplikovaná teplota pred kvitnutím, tretiu sezónu sa aplikovala teplota v období predlžovania stebľa a klasenia. V meracích komorách bola použitá teplota vždy o 5,5°C vyššia ako teplota okolitého prostredia. Ošetrovanie teplotou viditeľne redukovalo úrodu v intervale 5-52%. Najvyšší účinok bol zaznamenaný pri aplikácii v období steblovania (pokles úrody o 46%), najnižší počas aplikácie v období klasenie- kvitnutie (pokles úrody o 15%). Najväčší účinok teploty spočíval v redukcii počtu zŕn. Pokles úrody o 23% v dôsledku zníženej hmotnosti zŕn bol

zaznamenaný pri aplikácii teploty v období klásenie – kvitnutie (Ugarte, Calderini, Slafer, 2007).

1.2.2.2 Transport asimilátov v závislosti od teploty prostredia

Vysoká teplota zasahuje fotosyntézu rastlín zmenou distribúcie excitačnej energie v dôsledku zmeny štruktúry tylakoidov a zmenou aktivity Calvinovho cyklu, ako aj ďalších metabolických procesov, ako je fotorespirácia a syntéza produktov.

Rýchlosť nárastu CO₂ asimilácie sa so zvyšujúcou teplotou znižuje. Teplota limituje dostupnosť CO₂ buď fyziologickou reakciou listov, ktorá má za výsledok nárast rezistencie difúzie plynov alebo zmenou relatívnej rozpustnosti oboch plynov (CO₂ a O₂), ktoré navzájom súťažia o toho istého akceptora (Yamori et al., 2005).

Pozorovaná reakcia asimilácie CO₂ na teplotu je spojená s kapacitou syntézy finálnych produktov a kapacitou Calvinovho cyklu regenerovať ribulóza-1,5-bisfosfát (RuBP). Bolo pozorované, že rýchlosť regenerácie RuBP narastá so znižovaním teploty, na ktorú sú rastliny aklimované. Aktivita sacharózafosfátsyntetázy a cytosolickej fruktózabisfosfatázy nemá vplyv na syntézu sacharózy, hoci nedochádza k akumulácii hexóza fosfátov. Táto skutočnosť je pravdepodobne spojená s relatívne vysokým Q₁₀ enzýmu sacharózafosfátsyntetázy a tiež skutočnosťou, že enzým fruktózabisfosfatáza je menej citlivý na inhibíciu spôsobenú fruktóza-1,6-bisfosfátom a adenoínmonofostátom.

Pokles úrovne hexózafosfátov poukazuje na to, že syntéza sacharózy je podporovaná nárastom teploty. Vzájomný pomer glukózy-6-fosfát a fruktózy-6-fosfát, potrebných pre syntézu škrobu a sacharózy, môže mať limitujúci charakter pre syntézu škrobu. Nárast teploty o 10°C naznačuje, že syntéza škrobu nezvyšuje kapacitu pre syntézu sacharózy. V regeneračnej fáze Calvinovho cyklu je tok uhlíka kontrolovaný viacerými enzýmami (fruktózabisfosfatázou, sedoheptulóza-1,7-bisfosfatázou a ribulóza-1,5-fosfátkinázou). Nárast teploty môže zvyšovať pomer medzi triózafosfátmi a RuBP, čo poukazuje na limitáciu na strane enzýmu fruktózabisfosfatáza a reakcií katalyzovaných práve týmto enzýmom. Uvažuje sa, že ak sa limitácia asimilácie CO₂ objavuje až okolo teploty 30°C, v takomto prípade je spojená s kapacitou redukcie fosfoglycerátu na triózofosfáty (Pastenes, Horton 1996). Nárast vzájomného pomeru oboch zložiek naznačuje, že teplota zasahuje kapacitu tvorby

asimilačnej sily, teda syntézu ATP a NADPH cez pokles zásoby anorganického fosfátu v chloroplaste.

1.3 Účinok teploty na fyziologické procesy rastlín

Na teplote je závislé dýchanie, príjem minerálnych látok z pôdy a taktiež intenzita fotosyntézy. Práve intenzita fotosyntézy býva uvedená ako dôležitý faktor, ktorým teplota rastliny limituje. V našich rastlinách sa minimálna teplota, pri ktorej prebieha fotosyntéza, pohybuje najčastejšie okolo 0°C, u teplomilných rastlín okolo 5°C, u niektorých pôvodom severských rastlinách ale môže klesať hlboko pod bod mrazu. Keď sa zvyšuje teplota v rozmedzí 5-35°C, fotosyntéza väčšinou stále stúpa, avšak najčastejšie okolo 40°C má už teplota na fotosyntézu škodlivý vplyv a tak fotosyntéza rýchlo klesá na nulu. Intenzita fotosyntézy preto kolíše u jednotlivých rastlinách v priebehu jedného dňa - napr. na slnečných stanovištiach v poludňajších hodinách dochádza k jej nápadnému poklesu (Procházka et al., 1998).

V bunke a jej organelách sa vplyv teploty výrazne prejaví na vlastnostiach membrán. Zo zvyšujúcou sa teplotou nekovalentné väzby medzi lipidovými molekulami slabnú a membrána sa stáva fluidnejšou (tekutejšou, ohybnejšou). Dochádza k výraznému zvýšeniu priepustnosti membrán. Fluidita membrán má pritom pre život bunky zásadný význam, ovplyvňuje transport látok aj metabolizmus bunky. Fotosyntéza je k vysokým teplotám citlivejšia ako dýchanie, takže za extrémne vysokej teploty rastlina vydýchava, a tak stráca svoje zásoby. Pri zvýšení teploty sa zvyšuje aj intenzita dýchania, ale len do teploty medzi 45-50°C, potom nápadne klesá (Procházka et al., 1998).

1.3.1 Regulácia vodného režimu rastlín vplyvom teploty

Rastliny môžu absorbovať vodu celým povrchom, ale najväčší podiel vody získavajú z pôdy. Vyššie rastliny prijímajú vodu z pôdy pomocou koreňov- orgánov špecializovaných pre absorpciu. Nižšie rastliny sú bez koreňov, a tak sú závislé na priamom príjmu vody nadzemnými orgánmi. Teplota pôdy pôsobí na príjem vody rastlinami, pretože na nej závisí absorpčná schopnosť koreňov a tiež veľkosť odporu pre pohyb vody pôdou a jej vstup do koreňov. Z teplých pôd môžu rastliny získavať vodu ľahšie ako zo studených. Pri nízkych teplotách klesá priepustnosť protoplazmy pre vodu a znižuje sa rýchlosť rastu koreňov.

V závislosti príjmu vody na teplote môžeme postrehnúť zreteľné prispôsobenie rastlín k pôdnej teplote prevládajúcej na ich stanovištiach. Rastliny mierneho pásma, ktoré sa začínajú rozvíjať skoro na jar sú spravidla nízkymi teplotami pôdy obmedzované menej ako druhy, ktoré sa rozvíjajú neskôr. U niektorých rastlinách teplejších oblastí sa príjem vody znižuje pri 10 až 15°C a pri teplotách pod 5°C celkom ustáva, zatiaľ čo rastliny tundier a veľhôr a niektoré lesné stromy môžu prijímať vodu z pôdy, ktorá má teplotu slabou nad 0°C alebo môže byť dokonca aj čiastočne zmrznutá. Pri teplote pod -1°C všetka kapilárna voda v pôde zamŕza a príjem vody rastlinami celkom prestáva (Larcher, 1988).

Je známe, že prieduchy zohrávajú kľúčovú úlohu v regulácii vodného režimu rastlín a zároveň umožňujú výmenu plynov (CO_2 , H_2O) s okolitým prostredím. Reguláciou otvorenosti prieduchov sú rastliny schopné zabrániť nadmernej strate vody odparovaním, i keď na druhej strane, najmä v podmienkach sucha, resp. deficitu vody, môžu zatvorené prieduchy obmedzovať prísun CO_2 potrebného pre fotosyntetickú asimiláciu uhlíka.

V prostredí s narastajúcou teplotou vzduchu sa zvyšuje vodivosť prieduchov pre vodnú paru a zintenzívňuje sa transpirácia. Zvýšenie rýchlosti transpirácie zabezpečuje rýchlu výmenu vodnej pary s okolím, čím rastlina zabraňuje prehrievaniu listov. Rastliny, ktoré sú optimálne zásobené vodou, si udržiavajú vysokú vodivosť prieduchov. V podmienkach vodného deficitu dochádza k zatváraniu prieduchov a znižovaniu vodivosti prieduchov a to aj napriek vysokej teplote prostredia, preto vzniká možnosť prehrievania listov, ktoré sa odrazí na fotosyntetických procesoch (Shah, Paulsen, 2003).

1.3.2 Teplota a fotosyntetický aparát

Na produkty fotosyntézy sú odkázané všetky heterotrofné organizmy. Pri fotosyntéze sa v bunkách rastlín, rias a niektorých prokaryotov mení prijatá energia svetelného žiarenia na energiu chemickej väzby a z anorganických látok vznikajú organické látky. Organizmy, ktoré zaisťujú svoju potrebu energie pomocou fotosyntézy sa nazývajú autotrofné.

V rastlinách prebiehajú procesy fotosyntézy v dvoch fázach a to v svetelnej a temnej fáze. V svetelnej fáze prebiehajú primárne fotosyntetické procesy spojené s absorpciou a premenou svetelnej energie na energiu chemickej väzby. V temnej fáze prebiehajú sekundárne fotosyntetické procesy spojené s fixáciou uhlíka a premenou CO_2 na sacharidy.

Podmienkou priebehu svetelnej fázy je prítomnosť asimilačných farbív, svetelného žiarenia a prítomnosť fotosyntetických enzýmov. V priebehu fázy sa zachytáva energia svetelného žiarenia a premieňa sa na energiu chemickej väzby v podobe adenozíntrifosfátu (ATP) a redukovaného nikotínamidadenín-dinukleotidfosfátu (NADPH). Tento proces prebieha v cyklickej a necyklickej fosforylácii.

Závislosť medzi intenzitou fotosyntézy a koncentráciou CO₂ je logaritmická. Zvyšujúcou sa koncentráciou CO₂ sa znižuje prírastok intenzity fotosyntézy pripadajúci na jednotkové zvýšenie koncentrácie oxidu uhličitého. Pri zvýšení koncentrácie CO₂ v atmosfére sa zníži vodivosť prieduchov tak, že rastlina čiastočne uzavrie prieduchy listov, čím sa zníži tok CO₂ do podprieduchových dutín, ale zníži sa aj opačne smerujúci tok vodnej pary z listu do atmosféry (Procházka et al., 1998).

Predpokladané zvýšenie teplôt vzduchu v súvislosti so zvýšenou koncentráciou CO₂ môže spôsobiť zvýšenie intenzity fotosyntézy. Intenzita fotosyntézy je výrazne závislá na teplote rastlinného pletiva. Všeobecne sú známe zovšeobecnené závislosti medzi intenzitou fotosyntézy a teplotou (Jones, 1983). Pri teplotách pletív prevyšujúcich maximum, 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. Napríklad 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.

1.3.2.1 Vplyv teploty na svetelné reakcie fotosyntézy

Súčasný ekofyziologický prístup využíva techniku analýzy fluorescencie chlorofylu *a* na monitorovanie fotochemických a nefotochemických procesov prebiehajúcich vo fotosystéme II, ktorá citlivo odráža reakciu týchto procesov na akýkoľvek podnet vonkajšieho prostredia. Preto meraním výťažku fluorescencie chlorofylu je možné získať informácie o zmenách efektivity primárnych fotochemických procesov alebo tepelnej disipácie (Baker, Rosenqvist, 2004).

Je známe, že fotosystém PSII je pomerne rezistentný k pôsobeniu vodného deficitu, jeho účinok sa neprejaví až po hodnoty pomerne vážneho vodného deficitu (Lu, Zhang, 1999).

Na rozdiel od vodného deficitu však pôsobenie vysokej teploty sa ihneď prejaví na zmene základných parametrov fluorescencie chlorofylu *a* a v prípade rýchlej kinetiky fluorescencie chlorofylu *a* aj v tvare priebehu nameranej krivky, v ktorom sa objavuje náhly nárast fluorescencie, tzv. K krok (Strasser, 1997). V prvej fáze OJIP krivky sa objavuje tento krok, ktorý je spájaný s poškodením kyslík – vyvíjajúceho komplexu v dôsledku pôsobiacej teploty, kedy dochádza k zmene organizácie svetlozbernej antény fotosystému PSII. Táto zmena sa prejaví aj na základných meraných parametroch, akými je minimálna a maximálna fluorescencia. V prípade pôsobenia vysokej teploty dochádza k nárastu minimálnej fluorescencie, k poklesu hodnôt maximálnej fluorescencie a v konečnom dôsledku aj k zníženiu fotochemickej efektívnosti primárnych fotochemických procesov.

Na základe výsledkov mnohých meraní môže byť v prirodzených podmienkach K krok použitý ako vhodný indikátor poškodenia elektrón - donorovej strany pôsobením vysokej teploty, ale aj celkovo environmentálneho stresu (Strasser, 1997).

1.3.2.2 Regulácia tmavých reakcií fotosyntézy vplyvom teploty

Rýchlosť nárastu CO₂ asimilácie sa so zvyšujúcou teplotou znižuje. Teplota limituje dostupnosť CO₂ buď fyziologickou reakciou listov, ktorá má za výsledok nárast rezistencie difúzie plynov alebo zmenou relatívnej rozpustnosti oxidu uhličitého a kyslíka, ktoré sú vo vzájomnej kompetícii.

Vo viacerých prácach bolo zaznamenané, že teplotný stres mení funkčnosť enzýmu Rubisco a to tak, že mení jeho substrátovú špecifickosť a tým aj jeho výslednú aktivitu. To znamená, že teplota môže mať priamy účinok na aktivačný stav enzýmu Rubisco. Je rozhodujúcim činiteľom, prostredníctvom ktorého nastáva zmena rovnováhy medzi základnou rýchlosťou deaktivácie Rubisco a aktivázou určujúcou reaktiváciu. Na druhej strane bolo pozorované, že pokles asimilácie CO₂ v procese fotosyntézy nie je spojené s dostupnosťou CO₂ a tiež ju neoplyvňuje aktivita Rubisco (Pastenes, Horton, 1996).

2 Cieľ práce

Cieľom bakalárskej práce „*Teplota v ontogenéze rastlín - vplyv na rast, vývoj a fyziologické reakcie rastlín*“ bolo posúdiť vplyv teplotných podmienok na rastovo-vývinové procesy a vybrané fyziologické reakcie u rastlín pestovaných v rozdielnych klimatických podmienkach.

V rámci práce boli rozpracované nasledovné čiastkové ciele:

- účinok teploty prostredia na rast listovej plochy a vývin vybraných plodín,
- vplyv zvýšenej teploty na fotochemické reakcie vybraných druhov rastlín pochádzajúcich z pestovateľských podmienok s rozdielnym teplotným režimom.

3 Materiál a metódy

3.1 Biologický materiál a jeho charakteristika

Ako biologický materiál bol použitý jačmeň jarný (*Hordeum vulgare* L.) a bôb korský (*Faba vulgaris* L.).

3.1.1 Jačmeň jarný (*Hordeum vulgare* L.)

Jačmeň jarný je obilnina patriaca do čeľade lipnicovitých - *Poaceae*. Jeho koreň je zväzkovitý, zložený zo zárodočných (prvotných) a uzlových (druhotných) koreňov (LÍŠKA, 1993). Druhotné koreňky vyrastajú z bazálnych podzemných uzlov (kolenok), sú mohutnejšie a anatomicky odlišné od primárnych koreňkov. Počet pripadajúci na jednu odnož značne kolíše a v poľných podmienkach sa pohybuje medzi troma až ôsmimi, najčastejšie 5 - 8 zárodočných koreňkov (ZIMOLKA, 2006). Zárodočné koreňky siahajú až do hĺbky 1,4 m a výrazne sa podieľajú na zásobení vodou, zvlášť v období dlhšie trvajúceho sucha. Druhotné (adventívne) koreňky sú rozmiestnené prevažne v ornici, v hĺbke 0,3 - 0,5 m.

Steblo jačmeňa tvorí 4 - 8 článkov (internódií), oddelených kolienkami (nodusmi) a dosahuje výšku 0,8 - 1,3 m. Spodné články sú najkratšie, to najvyššie je najdlhšie. Povrch stebľa je pokrytý pokožkou, pod ňou sa nachádza vrstva parenchymatického pletiva a potom nasleduje sklerenchymatické pletivo. Vnútoraná stena stebľa je tvorená opäť parenchymatickým pletivom. V stene stebľa sú rozmiestnené cievne zväzky. Jačmeň tvorí z podzemného (odnožovacieho) uzlu bočné stebľa - odnože. Z odnožovacích uzlov vyrastajú ďalšie adventívne korene, takže postupom času sú odnože z hľadiska príjmu vody a živín nezávislé na hlavnom stebľe.

Listy jačmeňa sú pravotočivé a sú umiestnené nad sebou v dvoch radoch. Pošva, obopínajúca steblo, vyrastá z hornej časti kolienka. V mieste, kde pošva prechádza do čepele, je zakončená blanitým jazýčkom, ktorý je takmer rovný a po stranách vybieha do dlhých ušíek, ktoré sa vzájomne prekrývajú. Podľa jazýčku a ušíek sa jačmeň veľmi ľahko odlíši od ostatných obilnín ešte pred vytvorením klasu. Listová čepeľ je priama, najužšia u horného (zástavkového) listu.

Súkvetie jačmeňa tvorí zložený nerozvetvený klas, tvorený nakopeným vretenom. Plevy sú väčšinou úzke, vybiehajúce do osti. Jednotlivé kvety sú na vonkajšej strane chránené vypuklou plevicou, na vnútornej strane plievočkou. Plevica vybieha do dlhej zúbkovanej alebo hladkej osti. Dĺžka ostín sa pohybuje v rozmedzí od 95 do 105 mm i viac. Kvet je tvorený jednovajcovým semenníkom s dvoma perovitými bliznami, tromi tyčinkami s dlhými nitkami a dlhými dvojpuzdrovými peľnicami. Peľové zrná sú takmer guľovitého tvaru. U plevnatých jačmeňov plevica i plievočka so zrnom zrastá, u nahých zrno voľne objímajú, takže sa pri výmlate ľahko oddeľuje (ZIMOLKA, 2006).

Charakteristika odrody 'XANADU'

Odroda 'Xanadu' je stredne skorá odroda s krátkym stebлом a stredne skorým vývojom. Hustota rastlín je vysoká a počet zrn v klase stredne vysoký. Je odolná voči poliehaniu. Ďalej je absolútne odolná voči múčnatke trávovej, vysokú odolnosť má voči hrdzi jačmennej a fuzariózam v klase a je stredne odolný voči hnedej a rychnospóriovej škvrnitosti.

3.1.2 Bôb konský (*Faba vulgaris* L.)

Bôb patrí do čeľade bôbovité (*Fabaceae*). Je to jednoročná jarná strukovina, ktorá vytvára silný kolovitý koreň prenikajúci do hĺbky 100 – 120 cm a najmä v hornej časti sa veľmi rozkonáruje. Bočné korene dosahujú tiež značnú dĺžku. Byľ je holá, na priereze štvorhranná, 100 – 160 cm vysoká, vzpriameného vzrastu, nepolíhavá.

Listy bôbu sú párnoperovité, jedno až trojjarmové, v hornej časti rastliny až štvorjarmové, zakončené krátkym mäkkým hrotom. Lístky sú elipsovité, celistvookrajové, kožovité, tmavo sivozelené.

Súkvetie tvoria krátke strapce s 2 až 10 veľkými kvetmi, ktoré sú prisadnuté v pazuchách listov. V celom súkvetí sa vytvorí 1 – 2, zriedka 3 – 4 struky. Nasadzovanie strukov veľmi závisí od poveternostných podmienok počas kvitnutia. Najviac strukov sa vyvinie z kvetov na 2 – 5-tom internódiu, v 12 – 16-tom internódiu sa vyvinie len malý počet strukov, na 17-tom a na ďalších internódiách už väčšinou nebývajú vôbec plodné kvety (pri optimálnej výžive sa plodné súkvetia môžu vytvoriť aj na vyšších internódiách). Kvety sú biele, pri niektorých odrodách s červeným nádychom, strieška má hnedé žilky a na každom krídle je

zamatovohnedá až tmavofialová, prípadne červená škvrna. Struky sú dlhé 4 – 18 cm, široké 1,5 – 2 cm, valcovité alebo mierne sploštené, rovné alebo mierne zahnuté. V struku býva 2 – 5 semien.

Bôb obyčajný nie je zvlášť náročný na klimatické podmienky, kľíči pri teplote 4 °C a mladé rastlinky znesú krátkodobo aj mráz do -5 °C. Preto jeho pestovanie môže siahať aj do vyšších polôh. Najlepšie sa mu darí v oblastiach s miernou, skôr chladnejšou klímou s dostatkom zrážok a s dobrou zásobou vody v pôde. Na vlahu je veľmi náročný a citlivo reaguje na jej nedostatok (URL2)

3.2 Kultivácia rastlín

Rastliny boli pestované formou nádobového vegetačného pokusu v nádobách s priemerom 18 cm a plochou 0,025m² 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.

Rastliny boli pestované v dvoch variantoch:

- prvý variant – rastliny boli pestované v prirodzených podmienkach s prirodzenou dennou amplitúdou teploty a žiarenia.
- druhý variant – 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 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$.

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 Rastové charakteristiky

Predmetom zisťovania rastovej analýzy boli charakteristiky (Šesták, Čatský, 1966):

- o priemerná výška rastliny,
- o veľkosť listovej plochy lineárnou metódou: listová plocha = $d * \check{s} * k$, kde d je dĺžka listu, \check{s} je šírka listu, k je koeficient prepočtu, pre jačmeň $k = 0,64$, 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 mikrofenologická fáza.

3.4 Kvantitatívne stanovenie asimilačných pigmentov

Stanovenie koncentrácie asimilačných pigmentov sa uskutočnilo spektrofotometricky (Jenway 6405 UV/Vis., UK) meraním absorbcie pigmentov v acetónovom extrakte. Z listovej vzorky bolo vyseknutých 5 terčikov, 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 absorbcia pri vlnových dĺžkach 470nm (celkové karotenoidy), 647nm (chlorofyl *b*) a 663nm (chlorofyl *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- absorbcia, D- hrúbka spektrofotometrickej kvvety (cm).

Prepočet na jednotku listovej plochy:

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

3.5 Rýchla kinetika fluorescencie chlorofylu *a*

Princíp metódy vychádza zo skutočnosti, že fluorescencia pochádza prevažne z molekúl chlorofylu spojených s fotosystémom 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. Bol použitý 1s pulz červeného svetla intenzity $3500\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ po 30 minútovej adaptácii vzorky na tmu. 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 μs (počiatočná fluorescencia)

F_M (F_m) - maximálna fluorescencia

F_v – variabilná fluorescencia daná ako rozdiel maximálnej a počiatočnej fluorescencie

F_v/F_m – 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

3.6 Meranie modulovanej fluorescencie 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:

F_0 - fluorescencia chlorofylu *a* meraná ožiarením listu adaptovaného na tmu modulovaným červeným svetlom veľmi slabej intenzity,

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

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

F – fluorescencia chlorofylu *a* 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

$$Fv/Fm = (Fm - F_0) / Fm$$

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,

$$qP = (Fm' - F) / (Fm' - F_0')$$

kde F0' je minimálna fluorescencia osvetlenej vzorky, kalkulovaná ako $F_0' = F_0 / (Fv/Fm + F_0/Fm')$

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

$$qN = (Fm - Fm') / (Fm - F_0'),$$

kde F0' je minimálna fluorescencia osvetlenej vzorky, kalkulovaná ako $F_0' = F_0 / (Fv/Fm + F_0/Fm')$

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

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

4 Výsledky a diskusia

Problematika detekcie enviromentálneho stresu u rastlín je vysoko aktuálna najmä v súčasnom prostredí ovplyvňovanom klimatickými zmenami a poukazuje na potrebu poznať reakcie rastlín na jednotlivé faktory prostredia s vymedzením ich pôsobenia na rôznych úrovniach rastlinného organizmu. V porovnaní so živočíchmi, rastliny nemajú možnosť opustiť stanovište a vyhnúť sa tak vznikajúcej nerovnováhe fyziologických funkcií, preto je nutné zvoliť multidisciplinárny prístup pre bližšiu charakteristiku ich stresových reakcií. Súčasné experimentálne prístupy umožňujú bližšie charakterizovať reakcie rastlín od molekulárnej úrovne až po ekosystémovú.

4.1 Rastovo-vývinové procesy ovplyvnené rozdielnou teplotou prostredia

4.1.1 Rast listovej plochy vybraných plodín regulovaný teplotou prostredia

Väčšina slnečnej energie absorbovaná porastom je zachytávaná jeho listovými čepeľami, jazýčkami, stebkami a reprodukčnými štruktúrami, ktoré môžu tvoriť dôležitý príspevok celkovej produkcie (Anten, 2002; Terashima 2005). Zvyčajne sa kapacita porastu na absorpciu slnečnej energie vyjadruje indexom listovej pokrývnosti (LAI) - teda plochou listov na jednotku plochy pôdy. I keď tento parameter charakterizuje viac vlastností porastu ako individuálnych rastlín, pre úplné pochopenie genetických, environmentálnych a regulačných faktorov kontrolujúcich LAI, je dôležité posúdenie vývoja, rastu a starnutia individuálnych listov a rastlín.

Rýchlosť produkcie listov stebkami v porastových rastlinách závisí primárne na teplote expandujúcich listov, najmä zóny expanzie buniek. Relevantnou teplotou pri obilninách v období pred vytvorením stebľa je teplota okolitej pôdy alebo vzduchu tesne nad povrchom pôdy. Tento proces môže byť charakterizovaný fylochrónom hlavných stebiel porastu (Richards, 1951; Rawson, Zajac, 1993). Hay a Porter (2006) uvádzajú interval teplôt potrebný pre vznik listov ozimnej pšenice v rozsahu 70- 160°C. V našom experimente sa hodnoty pre jarný jačmeň pohybujú v intervale 35- 115°C, čo súvisí s agrotechnickým termínom sejby jarného jačmeňa a kratšou dĺžkou jeho vegetačného obdobia v porovnaní s ozimnou pšenicou. Interval teplôt 35- 50°C bol zaznamenaný pre tretí a štvrtý list, viac ako 100°C si vyžadovali nástup šiesteho a siedmeho listu hlavného stebľa.

Funkčnosť listovej plochy zahŕňa niekoľko etáp – rýchly nástup a rast listu až po dosiahnutie maximálnej veľkosti, plná funkčnosť v období maximálnej veľkosti, postupný pokles funkčnosti listu a senescencia listu. Hay a Porter (2006) uvádzajú, že aktuálna veľkosť listu závisí na rýchlosti a trvaní expanzie, pričom kardinálne teploty (minimum, optimum, maximum) pre rýchlosť expanzie listu sú podobné ako teploty uvádzané pre produkciu listu. V optimálnych podmienkach sa trvanie expanzie listu od jeho objavenia až po jeho maximálnu veľkosť zdá konštantné z hľadiska teploty.

Sezónny vývoj veľkosti listovej plochy u jačmeňa začína pomalým nárastom v priebehu apríla a mája, po ktorom nasleduje rýchly nárast spojený s vyššími teplotami a väčšou plochou individuálnych listov až k výraznému vrcholu v júni (Ferus, 2004) v porovnaní napríklad s ozimnou pšenicou, u ktorej významnú úlohu zohráva práve dátum sejby.

Možno teda povedať, že v systéme pôda – porast – atmosféra existujú medzi mikroklimatickými faktormi a rastom určité dynamické vzťahy, ktoré v konečnom dôsledku ovplyvňujú nielen radiačný režim, ale aj samotný produkčný proces.

V našom experimente nám jednoznačne vyšlo že počet dní potrebných na vzídenie prvého kľúčneho listu boli vzhľadom na klimatické podmienky a teplotu bol rozdielny. U jačmeňa ktorý bol pestovaný v boxe stačili len 3 dni (*tabuľka 1*) zatiaľ čo u jačmeňa pestovaného vonku bolo potrebných až 6 dní teda o polovicu viac. Ak by sme chceli obdobie medzi objavením prvého a 5. listu u jačmeňa charakterizovať pomocou sumy kumulovaných priemerných denných teplôt potrebná pre tento proces predstavuje hodnotu $368 \pm 2,5^\circ\text{C}$ pre variant pestovaný v boxe a $248 \pm 2,5^\circ\text{C}$ pre variant pestovaný vonku.

Suma priemerných denných teplôt za ontogenézu jednotlivých listov je premenlivá v závislosti od poradia listu na hlavnom stebľe a od podmienok prostredia, v akých sa list vyvíjal (podmienky v klimaboxe a vonku). Najnižšie hodnoty pripadajú na prvé dva listy, ktoré majú z hľadiska dĺžky ontogenézy najkratšiu životnosť. Pri štvrtom, piatom liste variantu v boxe bola táto hodnota skoro dvojnásobná (*tabuľka 1*) v porovnaní s prvým listom, čo korešponduje s dĺžkou existencie týchto listov a umožňuje tak vytvoriť dostatočne veľkú a funkčnú fotosyntetizujúcu plochu, u ktorej podiel maximálnej veľkosti listovej plochy predstavuje 55- 75% z celkového počtu dní ontogenézy spomínaných listov.

Tabuľka 1: Porovnanie počtu dní potrebných na objavenie sa jednotlivých listov jačmeňa jarného a sumy akumulovaných priemerných denných teplôt vzduchu v prirodzených podmienkach a v podmienkach klimatizovaného boxu

Poradie listu	Počet dní potrebných na objavenie listu od dátumu sejby		Suma kumulovaných priemerných denných teplôt (°C.d-1)	
	box	von	box	von
1. list	3	6	92	101
2. list	6	11	161	153
3. list	10	17	253	237
4. list	15	18	368	257
5. list	19	24	460	349

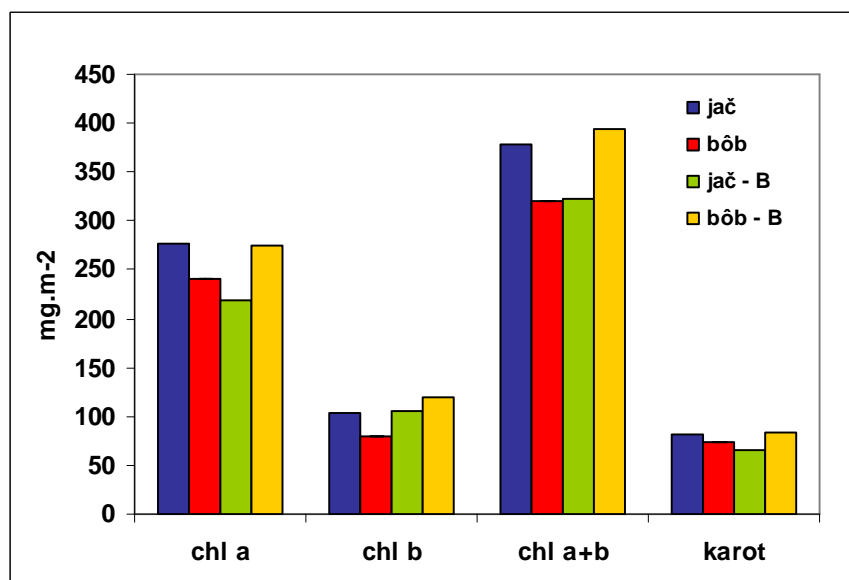
4.2 Účinok nárastu teploty prostredia na fotosyntetický aparát

4.2.1 Asimilačné pigmenty vybraných plodín

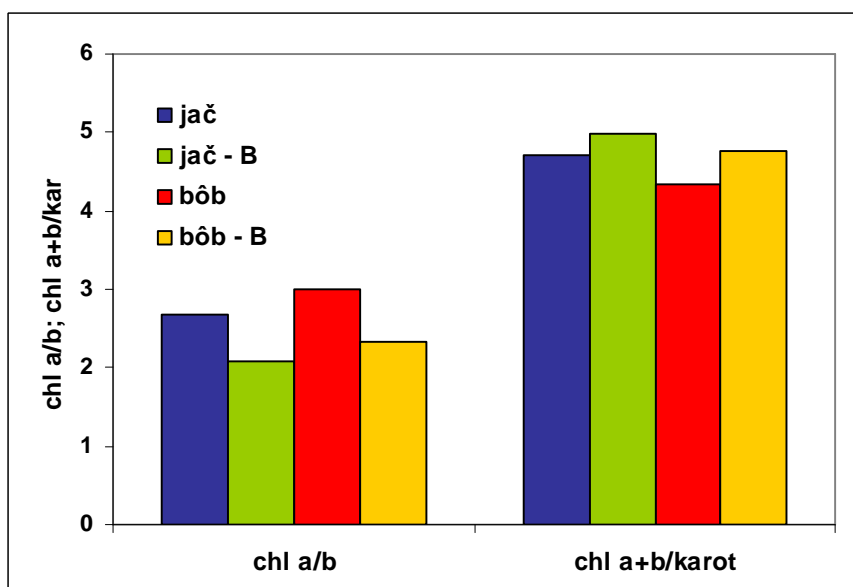
Na základe pomeru chlorofylu *a* ku chlorofylu *b* (chl *a/b*), ktorý odráža množstvo chlorofylu viazaného svetlozbernými komplexmi. *Obrázok 2* a *obrázok 3* zobrazuje obsah jednotlivých asimilačných pigmentov počas ontogenézy porastového listu jačmeňa a bôbu pestovaného vonku a v klimaboxe od začiatku dosiahnutia maximálnej veľkosti listovej plochy oboch listov.

So starnutím listu klesala veľkosť jeho listovej plochy a rovnako aj obsah asimilačných pigmentov. Zaznamenali sme zvýšenie vzájomného pomeru chl *a/b* na konci sledovaného obdobia u oboch variantov, kedy sa prejavili prvé príznaky starnutia listov. V tomto období je teda chlorofyl *b* citlivejší na degradačné procesy v porovnaní s chlorofylom *a*. U tiennych listov sme pozorovali nižší obsah celkových karotenoidov, s čím súvisí aj oveľa nižší obsah pigmentov xantofylového cyklu zapojeného do tepelnej disipácie, ako uvádza Demmig- Adams a Adams (1992).

Z výsledkov merania asimilačných pigmentov ktoré sme zisťovali spektrofotometricky sme dokázali rôznu koncentráciu pigmentov a prítomnosť farbiva. Pri jačmeni ktorý bol vonku bol obsah farbiva chl *a*, chl *b*, chl *a+b* a karotu vyšší ako pri jačmeni pozorovaného v klimaboxe. Napak pri bôbe bol obsah jednotlivých farbív väčší pri rastlinách meraných v klimaboxe v porovnaní z rastlinami bôbu z vonku.



Obrázok 2. Obsah asimilačných pigmentov (mg.m^{-2}) stanovený pre rastliny pestované v prirodzených podmienkach a rastliny z klimatizovaného boxu (B).



Obrázok 3. Vzájomný pomer chlorofylu *a* ku chlorofylu *b* (chl a/b) a celkového množstva chlorofylov ku karotenoidom (chl a + b/karot.).

Maximálna absorbanca dopadajúceho žiarenia sa merala pri širokom rozpätí vlnovej dĺžky (od 432 do 632 nm). Pri výsledkoch merania sme zistili že jačmeň aj bôb ktorý bol vystavený klimatickým podmienkam v klimaboxe bola absorbanca vlnového žiarenia vyššia (tabuľka 2) ako pri ostatných rastlinách z vonkajšieho prostredia.

Tabuľka 2: Maximálna absorbanca asimilačných farbív pri jednotlivých vlnových dĺžkach nameraná u sledovaných variantov rastlín.

Spektrum				
Vlnová dĺžka	Variant			
	Jačmeň	Jačmeň BOX	Bôb	Bôb BOX
	Absorbancia			
432	0,919	0,944	0,767	0,967
581	0,054	0,098	0,040	0,103
615	0,088	0,133	0,064	0,138
664	0,461	0,485	0,367	0,509
392	0,557	0,662	0,550	0,637
557	0,002	0,048	0,005	0,051
590	0,050	0,094	0,035	0,102
632	0,072	0,116	0,050	0,123

4.2.2 Nárast teploty prostredia a jej vplyv na svetelné reakcie rastlín

Analýza fluorescencie chlorofylu *a* sa stala jednou z najviac používaných techník vo fyziológii a ekofyziológii rastlín. V kombinácii s ďalšími prístupmi podáva komplexnejší obraz reakcií rastlín na jednotlivé environmentálne faktory s cieľom zlepšenia produkčnej stratégie porastov (Baker, Rosenqvist, 2004).

Rýchla kinetika fluorescencie chlorofylu *a* pracuje rádovo v mikrosekundách. Jej výhody spočívajú v získaní veľkého množstva informácií v krátkom časovom intervale, dlhší možný čas merania priamo v teréne a rýchle spracovanie množstva vzoriek. Nevýhodou je však potreba zatienenia.

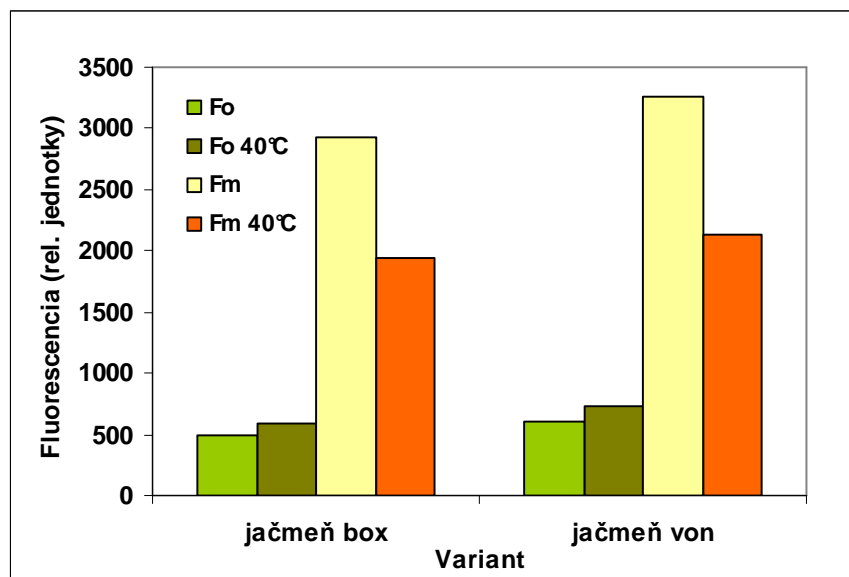
U všetkých oxygenázových fotosyntetických materiálov bol pozorovaný typický viacfázový priebeh krivky zahŕňajúci fázy O, J, I, a P s minimálnymi rozdielmi i medzi odlišnými fenotypmi (Strasser *et al.*, 2004). Samotný tvar krivky je veľmi citlivý k zmenám prebiehajúcim na úrovni PSII vplyvom meniacich sa environmentálnych podmienok, ako je teplota, sucho, intenzita žiarenia, ozón či chemické látky (Srivastava, Strasser, 1995; Force *et al.* 2003; Jiang *et al.*, 2006).

V prvej fáze OJIP krivky v časovom úseku okolo 300 μ s sa objavuje K - krok, ktorý je spojený s inhibíciou kyslík – vyvíjajúceho komplexu (OEC) (Guissé *et al.*, 1995; Strasser, 1997)

V prirodzených podmienkach môže byť K krok použitý ako vhodný indikátor poškodenia elektrón - donorovej strany pôsobením stresu (Strasser, 1997).

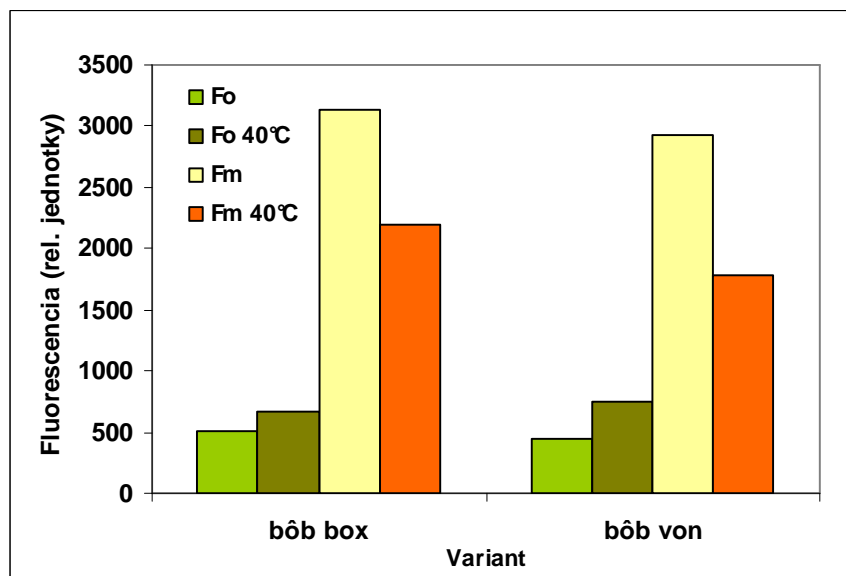
Nárast minimálnej fluorescence možno vysvetliť ako dôsledok poklesu sumy všetkých deexcitačných rýchlostných konštánt (Havaux *et al.*, 1991) alebo prítomnosťou voľného chlorofylu a odpojených proteínov antén, ku ktorému došlo v dôsledku pôsobenia tepla (Briantais *et al.*, 1996). Srivastava *et al.* (1997) vysvetľuje nárast F_o zmenami v štruktúre svetlozbernej antény PSII, pri ktorých dochádza k separácii PSII reakčných centier z pigmentových komplexov svetlozberných antén s výsledkom v blokování prenosu energie, hoci čiastočne to môže byť odrazom akumulácie redukovanej formy Q_A^- (Bukhov *et al.*, 1990; Yamane *et al.*, 2000).

Pri výsledkoch merania fluorescence chlorofylu sme zistili že pri jačmeni ktorý bol pozorovaný a meraný v prirodzenom vonkajšom prostredí boli hodnoty F_o a F_m o niečo vyššie (obrázok 4) ako pri jačmeni ktorý sme pozorovali v klimaboxe. Pri jačmeni ktorý bol na krátku dobu vystavený teplote 40°C sme namerali hodnoty F_o (minimálna fluorescence) o niečo vyššie v porovnaní z rastlinami jačmeňa ktoré boli v stálych podmienkach. Pri listoch adaptovaných na tmu ktoré boli vystavené teplote 40°C sa hodnota fluorescence F_m (maximálna fluorescence) znížila.



Obrázok 4. Zmena minimálnej a maximálnej fluorescence chlorofylu a u rastlín jačmeňa pred a po 30 min pôsobení teploty 40 °C nameraná u rastlín pestovaných v prirodzených podmienkach (von) a v podmienkach klimatizovaného boxu (box).

Naopak rastliny bôbu ktoré boli vystavené stálym klimatickým podmienkam v klimaboxe mali vyššie (obrázok 5) hodnoty fluorescence Fo a Fm ako rastliny bôbu ktoré boli pozorované v prirodzených klimatických podmienkach vonku. Taktiež ako pri jačmeni bola hodnota Fm (maximálna floescencia) nameraná na listoch vystavené na krátku dobu teploty 40°C nižšia oproti listom ktoré sa vyvíjali prirodzene vo vonkajších klimatických podmienkach.

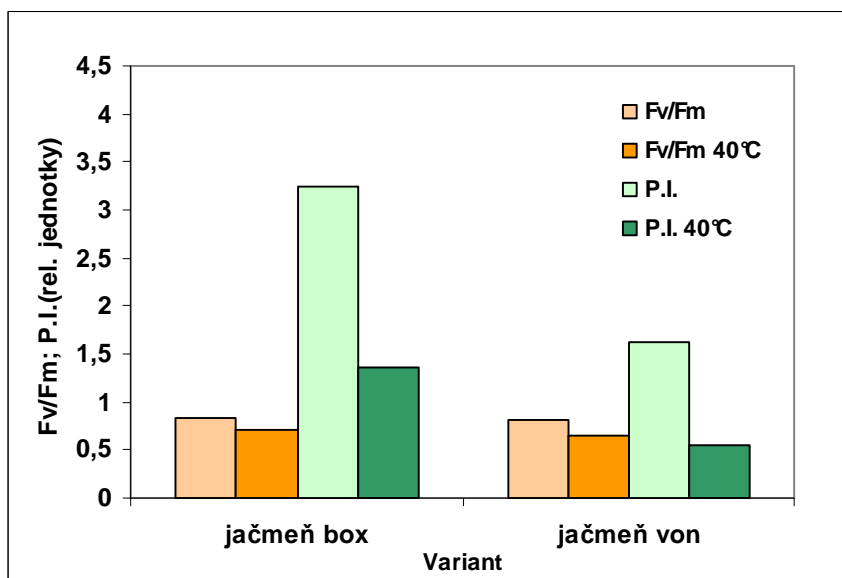


Obrázok 5. Zmena minimálnej a maximálnej fluorescence chlorofylu a u rastlín bôbu konského pred a po 30 min pôsobení teploty 40 °C nameraná u rastlín pestovaných v prirodzených podmienkach (von) a v podmienkach klimatizovaného boxu (box).

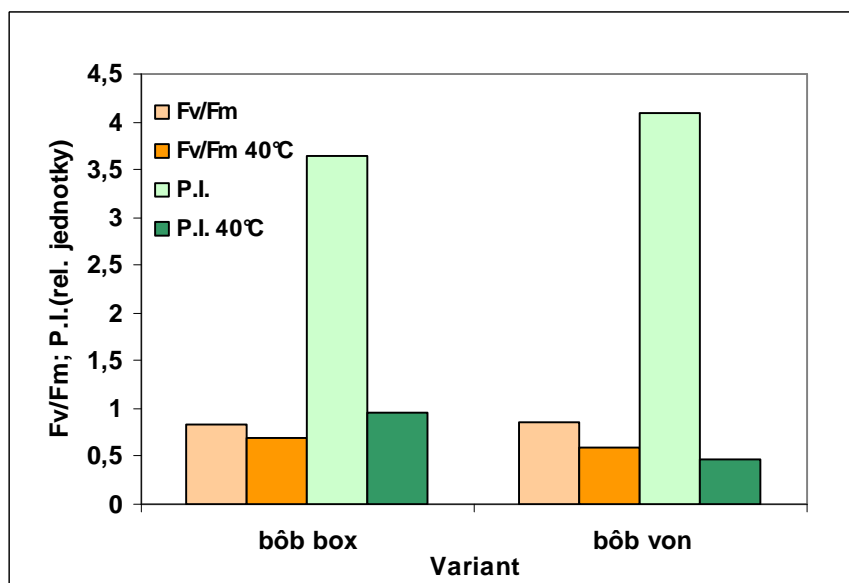
Vo všeobecnosti možno na charakteristiku „výkonnosti“ fotochemických reakcií použiť parameter JIP testu- P.I. (Performance Index), ktorý citlivo odráža akékoľvek zmeny kinetiky na úrovni PSII (obrázok 6). Jeho kalkulácia vychádza z viacerých charakteristík definujúcich postupnosť toku energie cez fotosystém II, preto je vhodný pre rýchle hodnotenie stavu fotosyntetického aparátu (Strasser *et al.*, 2000). Poškodenie fotosyntetického aparátu vplyvom nadmerného žiarenia pri 40°C u tienneho variantu je vyjadrené znížením P.I. o viac ako polovicu z 3,2 na 1,2 pri jačmeni pestovaného v klimaboxe a z 1,6 na hodnotu 0,6 u jačmeňa pestovaného vonku. Zaznamenali sme aj pokles Fv/Fm z 0,8 na hodnotu 0,7 pri pôsobení vysokej teploty ktorý však nebol až taký

rapídny ako pokles pri meraní P.I. Hodnoty Fv/Fm sa medzi medzi rastlinami pestovanými vonku a v klimaboxe veľmi nelíšili.

Pri meraní P.I. (Performance Index) rastín bôbu konského sme zaznamenali vyššiu hodnotu v porovnaní z jačmeňom. Z nameranej hodnoty 3,7 nám táto hodnota po pôsobení teploty 40°C po 30 min. klesla až na hodnotu 0,9 (obrázok 7) u bôbe pestovanom v klimaboxe. Pri rastlinách bôbu pestovanom vo vonkajšom prostredí bola hodnota P.I. pred pôsobením teploty až 4,2 a po pôsobení klesla na hodnotu 0,4 pretože došlo k poškodeniu fotosyntetického aparátu. Pri meraní hodnoty Fv/Fm sme podobne ako pri jačmeni zaznamenali po pôsobení teploty menší pokles.



Obrázok 6. Pokles maximálnej fotochemickej efektívnosti fotosystému II (Fv/Fm) a parametra indexu výkonnosti (P.I.) u rastlín jačmeňa jarného nameraný pred a po 30 min pôsobení teploty 40°C u rastlín z rozdielnych klimatických podmienok (prirodzené – von, klimatizované – box).



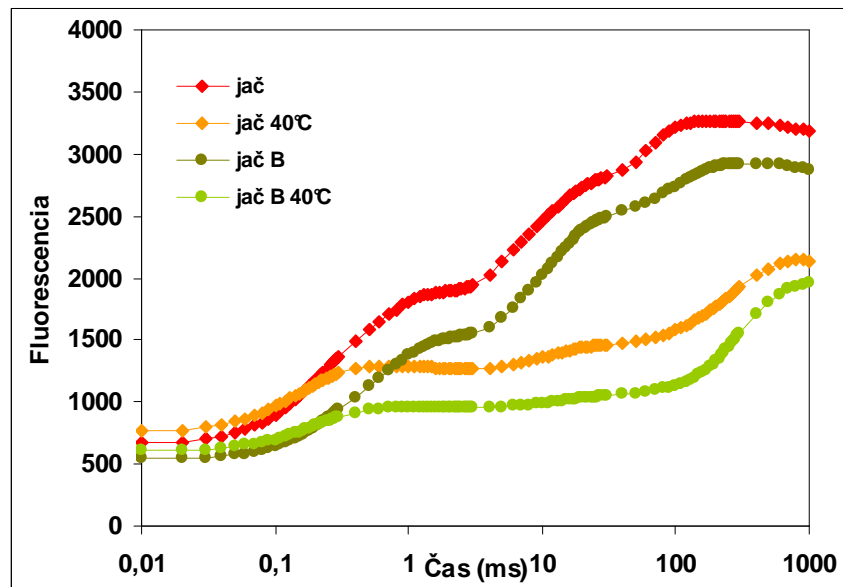
Obrázok 7. Zmena maximálnej fotochemickej efektívnosti fotosystému II (Fv/Fm) a parametra indexu výkonnosti (P.I.) u rastlín bôbu konského nameraný pred a po 30 min pôsobení teploty 40°C u rastlín z rozdielnych klimatických podmienok (prirodzené – von, klimatizované – box).

V zobrazení OJIP krivky nastáva v čase 300 μ s náhle zvýšenie fluorescence, po ktorom nasleduje jej pokles (*obrázok 8*). Toto zvýšenie bolo pomenované ako K- krok (fáza) a objavuje sa iba pri pôsobení vysokých teplôt (Srivastava *et al.*, 1997), hoci Guissé *et al.* (1995) uvádza, že K krok je možné pozorovať i pri pôsobení sucha. Fluorescenčná krivka OJIP sa tak mení na krivku OKJIP. Nárast fluorescence v K kroku je po dosiahnutí maxima nasledovaný poklesom fluorescence. K krok sa objavuje, keď elektrónový tok na akceptorovej strane presahuje elektrónový tok na strane donora, čo vedie k oxidácii reakčného centra (Strasser, 1997).

S pribúdajúcim vekom listu sa tento pomer znižuje, čo naznačuje, že OEC mladých listov je citlivejší k teplotnému stresu v porovnaní s dospelými listami. Čím je list starší, tým menej je citlivý k teplotnému stresu.

Poškodenie OEC, napríklad teplom, indukuje K krok inhibíciou prísunu elektrónov na reakčné centrá. Objavenie K kroku je vysvetľované nerovnováhou medzi tokom elektrónov opúšťajúcich reakčné centrá na strane akceptora a tokom elektrónov prichádzajúcich na reakčné centrá zo strany donora, teda keď je prenos elektrónov z OEC na tyrozín Z (Yz) pomalší ako prenos elektrónov zP680 na Qa a ďalej. Strasser (1997) pripisuje nárast

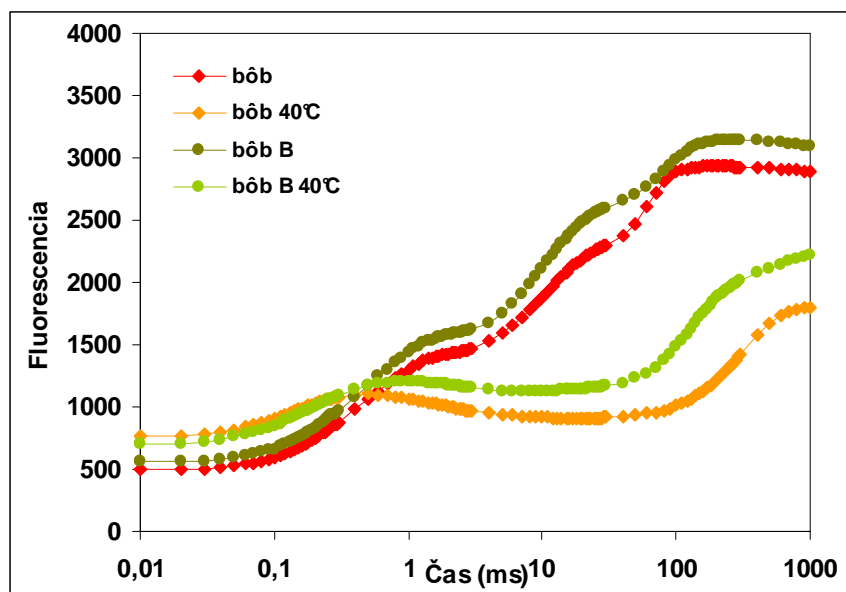
fluorescencie pri K kroku prvej redukcie Qa, ktorá sa objavuje po svetlom indukovanej separácii náboja medzi P680 a teorytínom, ktorý nasleduje po redukcii Qa- Prvá redukcia Qa a nasledujúca redukcia P680+ vyžaduje jeden elektrón, zvyčajne prítomný na Yz.



Obrázok 8. Priebeh rýchlej fázy fluorescence chlorofylu *a*, OJIP krivka, nameraná pred a po 30 min pôsobení teploty 40°C u rastlín jačmeňa pestovaných v prirodzených podmienkach a v podmienkach klimatizovaného boxu (B).

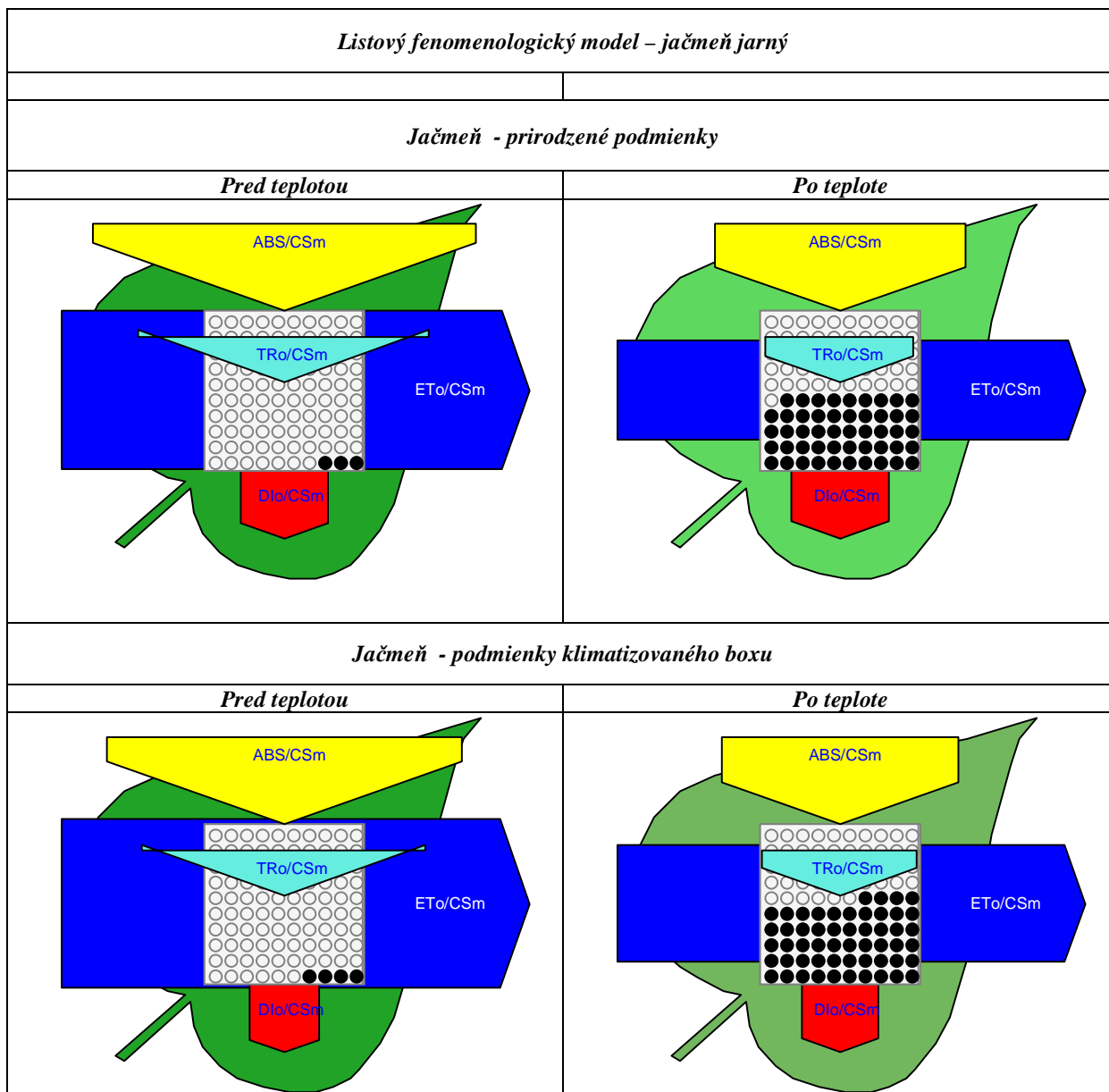
V našom experimente sme pozorovali objavenie K kroku až po expozícii vzoriek teplote 42 a 44°C. Teploty nižšie ako 40°C nespôsobili objavenie tohto kroku, ktorý Strasser (1997) a Srivastava *et al.* (1997) spájajú s poškodením OEC. Z tohto možno usudzovať, že k poškodeniu OEC dochádzalo pri teplotách vyšších ako 40°C.

Vysoká teplota prudko znížila maximálnu fluorescenciu F_m a zvýšila minimálnu fluorescenciu F_o . K krok sa vyskytol v čase približne 300 jas, kedy dosiahol maximum a potom klesol takmer až na úroveň minimálnej fluorescence v závislosti od teploty. Ďalšie fázy (J a I) v priebehu krivky pri teplote 42 a 44 °C chýbali (obrázok 9).

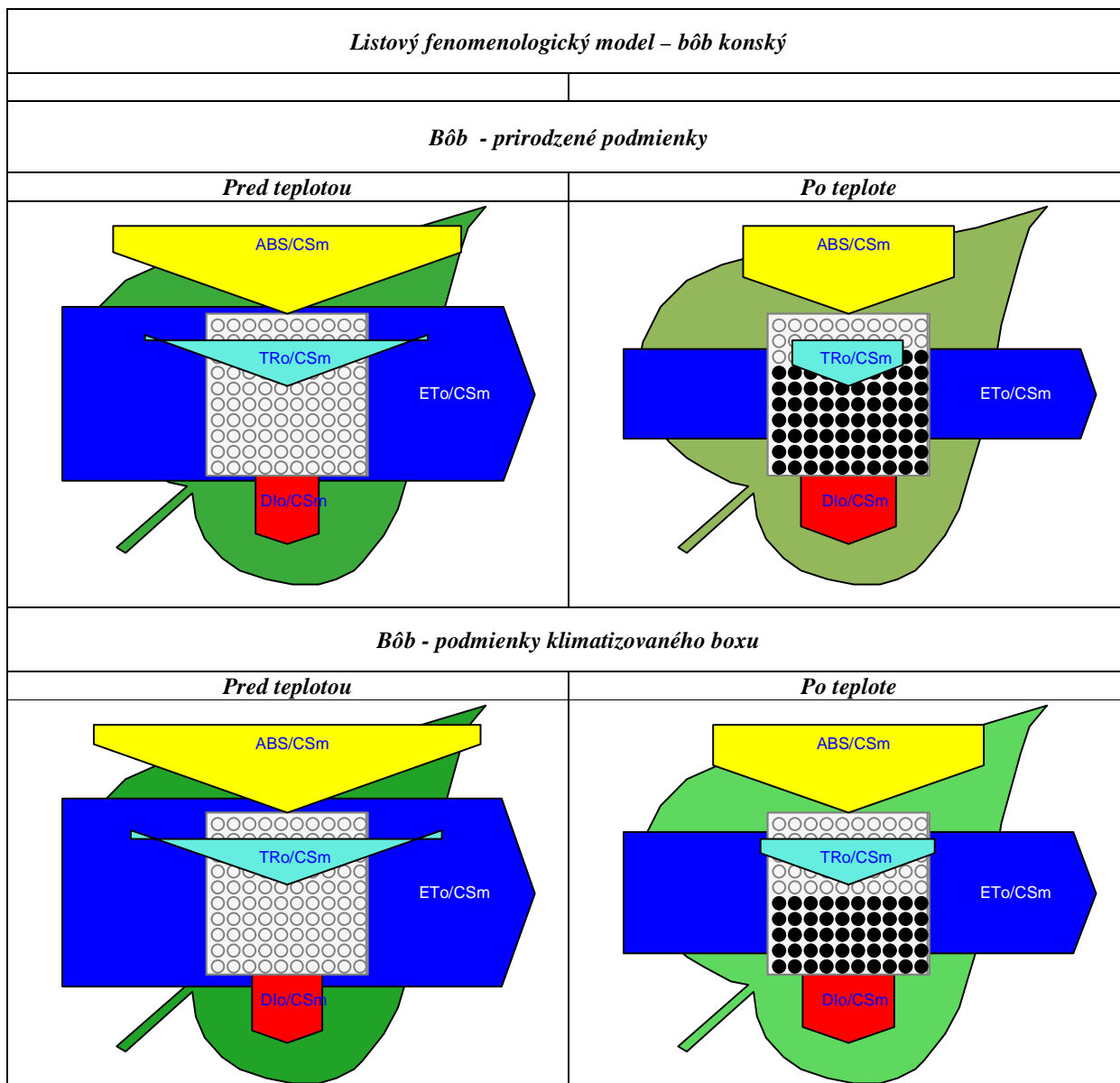


Obrázok 9. OJIP krivka priebehu fluorescencie chlorofylu a nameraná pred a po 30 min pôsobení teploty 40°C u rastlín bôbu konského pestovaných v prirodzených podmienkach a v podmienkach klimatizovaného boxu (B).

Obrázok 10 a obrázok 11 zobrazuje listové modely fotosyntetického aparátu jačmeňa po pôsobení teplotného stresu. S narastajúcou teplotou síce narástol tok absorbovanej energie (ABS/ABS), ale množstvo energie, ktorá bola ďalej transportovaná z antén do reakčných centier (TR/ABS) sa znížilo, rovnako ako elektrónový transport z reakčných centier na primárny akceptor (ET/ABS) (zúženie šípky na polovicu v porovnaní s kontrolnou vzorkou). Na druhej strane sa so zvyšujúcou teplotou zvýšil podiel energie, ktorá bola uvoľňovaná vo forme tepla (DI/ABS) (dvojnásobné zväčšenie hrúbky šípky v porovnaní s kontrolou). Z hľadiska hromadenia neaktívnych reakčných centier (tmavé krúžky) ich podiel sa zvýšil s narastajúcou teplotou, pričom pri teplotách 42 a 44°C predstavovalo množstvo neaktívnych reakčných centier viac ako polovicu.



Obrázok 10. Listové modely jačmeňa jarného zobrazujúce tok energie fotosyntetickým aparátom pred a po pôsobení teploty. Množstvo energie korešponduje s hrúbkou šípky. Tmavé krúžky znázorňujú podiel negatívnych reakčných centier.



Obrázok 11. Listové modely bôbu konského zobrazujúce tok energie fotosyntetickým aparátom pred a po pôsobení teploty. Množstvo energie korešponduje s hrúbkou šípky. Tmavé krúžky znázorňujú podiel negatívnych reakčných centier.

5 Záver

Dopady predpokladaných klimatických zmien budú mnohostranné. Z pohľadu poľnohospodárstva je ich vnímanie možné v negatívnych, ale aj v pozitívnych zmenách. Treba však tieto zmeny chápať komplexne, predovšetkým v snahe o ich zmiernenie. Dôležitý je dostatočný predstih, pretože mnohé z opatrení majú z biologického hľadiska charakter dlhodobých adaptačných procesov a činností.

Klimatické zmeny sú globálnym problémom, ktorý si vyžaduje, aby boli neodkladne podniknuté opatrenia na jeho riešenie. Nemôžeme si dovoliť nereagovať – v opačnom prípade by to malo vážny dopad na globálnu bezpečnosť. Súčasnú snahu týkajúcu sa zastavenia otepľovania majú za cieľ stabilizovať koncentrácie skleníkových plynov v atmosfére. Ak sa to aj podarí, otepľovanie bude pokračovať ešte stovky rokov. Pre stabilizáciu podnebia je potrebné eliminovať emisie skleníkových plynov.

Od októbra 2009 boli v rámci riešenia bakalárskej práce uskutočnené viaceré experimentálne prístupy s porastom jačmeňa jarného a bôbu konského adaptovaného na klimatické podmienky vonku a v klimaboxe z ktorých vyplynuli nasledovné závery:

- Analýza mikroklímy porastu vytvára vhodné podmienky pre prognózovanie rastu listov a produkcie biomasy, ako aj pre indikovanie prítomností environmentálneho stresu.
- Suma žiarenia za celé vegetačné obdobie jačmeňa jarného predstavuje hodnotu približne 2000 mol.m^{-2} . V simulovaných experimentoch zodpovedá maximum dennej sumy žiarenia hodnote $33\text{-}30 \text{ mol.m}^{-2}$, minimum $7\text{-}5 \text{ mol.m}^{-2}$ a v priemere za jeden deň hodnote 21 mol.m^{-2} . Vo vnútri porastu sa denná suma FAR pohybuje v intervale $2\text{-}4 \text{ mol.m}^{-2}$.
- Obsah asimilačných pigmentov (chl a, chl b, chl a+b, karot) sa pohyboval v závislosti od toho či boli rastliny jačmeňa alebo bôbu pestované vonku alebo v klimaboxe od $55\text{-}395 \text{ mg.m}^{-2}$.
- Podiel žiarenia presahujúceho saturačnú hodnotu ($700 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$) predstavuje $65\text{-}75\%$ z dennej sumy, čo je približne 7 hodín z celého dňa, z čoho vyplýva pravdepodobnosť fotoinhibície vrchných listov.

- Suma teplôt za celé vegetačné obdobie zodpovedá hodnote približne 1800°C s priemernou teplotou 18,2°C za deň. Suma priemerných denných teplôt potrebných pre vznik listov sa pohybuje v rozmedzí 35- 115°C, pričom nárast teploty prostredia urýchľuje objavenie nového listu o 3-5 dní.
- Účinok silného žiarenia a vysokej teploty sa najviac odráža na fotosyntetických svetelných reakciách. Teploty vyššie ako 40°C sa prejavujú poškodením kyslík-vyvíjajúceho komplexu (OEC). Ako indikátor poškodenia OEC môže slúžiť prítomnosť K kroku (300μs) v priebehu OJIP krivky, V_I (relatívna variabilná fluorescencia v čase I) a F_k/F_j (pomer fluorescencie v čase 300μs a 2ms).
- Zraniteľnosť vnútroporastových listov narastá v podmienkach expozície na priame žiarenie, ktoré znižuje efektívnosť fotochemických procesov exponovaných listov. Fotoinhibičný účinok silného žiarenia priamo v poraste nebol zaznamenaný.

6 Zoznam použitej literatúry

1. Anten, N. P. R. 2002. Evolutionary stable leaf area production in plant populations. In: *Journal of theoretical Biology*, 2002,217, 15- 32.
2. Baker, N.R.- Rosenqvist, E. 2004. Applications of chlorophyll fluorescence can improve crop production strategies: an examination of future possibilities. In: *Journal of Experimental Botany*, 2004, 55, 1607-1621
3. 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
4. Bos, H. J.- Neuteboom, J. H. 1998. Growth of individual leaves of spring wheat (*Triticum aestivum*L.) as influenced by temperature and light intensity. In: *Annals of Botany*, 1998, 81,141- 149.
5. Brestič, M. – Olšovská, K. 2001. Vodný stres rastlín – príčiny, dôsledky, perspektívy. Nitra: SPU Nitra, 2001. 149 s. ISBN 80-7137-902-6
6. Dofing. S. M. 1999. Inheritance of phyllochron in barley. In: *Crop Science*, 1999,39,334- 337.
7. Fleming, A. J. 2002. The mechanism of leaf morphogenesis. In: *Planta*, 2002,216,17- 22.
8. Gore, A. 1994. Země na misce vah - Ekologie a ľudský duch. Praha: Argo, 1994, 372 s. ISBN 80-85794-21-7
9. Hay, R. K. M.- Porter, J. R. 2006. The physiology of crop yield. Blackwell Publishing, 2006, 314s. ISBN -13: 978-14051-0859-1
10. Jančura, V., 2007, Slovensko čakajú suchá i povodne, Pravda, 11.4.2007
11. Kostrej, A. - Danko. J.- Jureková, Z.- Zima, M.- Gáborčík, N.- Vidovič, J. 1998. Ekofyziológia produkčného procesu porastu a plodín. SPU: Nitra, 1. vyd. 1998.187 s. ISBN 80- 7137- 528- 4
12. Lapin, M., Tomlain, J. (2001): Všeobecná a regionálna klimatológia. Vydavateľstvo UK, Bratislava, 184 s.
13. Larcher, W. 1988. Fyziologická ekologie rostlín. Vydavateľství Československé akademie věd, Praha, 1.vyd. 1988. 368 s.

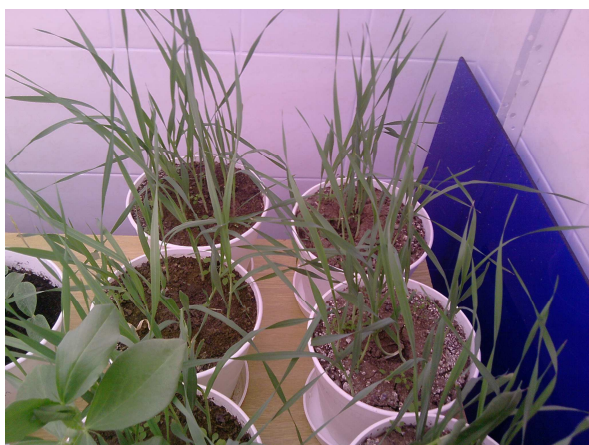
14. Lichtenthaler, H.K. 1987. Chlorophylls and Carotenoids: Pigments of Photosynthetic Biomembranes. In: *Methods in enzymology*, 1987,148, 350-382.
15. Lu, C.- Zhang, J. 1999. Effects of water stress on photosystem II photochemistry and its thermostability in wheat plants. In: *Journal of Experimental Botany*, 1999, 50, 1199-1206.
16. Lu, Z.- Neumann, P. M. 1998. Water- stressed maize, barley and rice seedlings show species diversity in mechanisms of leaf growth inhibition. In: *Journal of Experimental Botany*, 1998, 49, 1945-1952.
17. Machková, N. 2005. Prejavy klimatických zmien na Slovensku, In *Enviromagazín*. Banská Bystrica, Roč. 10, č. 1, 2005, s 4-5 a 9.
18. Matejka, J. - Huzulák F., J.1987. Analýza mikroklímy porastu. 1. vyd. Bratislava: VEDA. 1987, 232 s.
19. Monsi, M.- Saeki, T. 1953. Über den Lichtfaktor in den Pflanzengesellschaften und seine Bedeutung für die Stoffproduktion. In: *Japanese Journal of Botany*, 1953,14,22-52.
20. Nátr, Ľ. 1987. Biologické základy rostlinné výroby, Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 1987, 142 s.
21. Olsovska, K.- Brestic, M. 2001. Function of hydraulic and chemical water stress signalization in evaluation of drought resistance of juvenile plants. In: *Journal of Central European Agriculture*, 2001,2.
22. Passarella V. S., Savin R., Slafer G.A. 2005. Breeding effects on sensitivity of barley grain weight and quality to events of high temperature during grain filling. In *Euphytica* [online], roč. 1-2, 2005, č. 155, s. 41-48 [cit. 2010-03-05]. Dostupné na:<http://apps.isiknowledge.com/full_record.do?product=UA&search_mode=GeneralSearch&qid=4&SID=T2mljgoMFC5dA2PhCaC&page=7&doc=65&colname=WO S>
23. Passarella V. S., Savin R., Slafer G.A. 2008. Are temperature effects on weight and quality of barley grains modified by resource availability? In *Australian Journal of Agricultural Research* [online], roč. 6, 2008, č. 59, s. 510-516 [cit. 2010-03-05].Dostupné

na:<http://apps.isiknowledge.com/full_record.do?&colname=WOS&search_mode=CitingArticles&qid=8&page=1&product=UA&SID=T2mljgoMFC5dA2PhCaC&doc=1>

24. Pastenes, C.- Horton, P. 1996b. Effect of high temperature on photosynthesis in beans. II. CO₂ assimilation and metabolite contents. In: *Plant Physiology*, 1996, 112, 1253-1260.
25. Porter, J. R.- Gawith, M. 1999. Temperatures and the growth and development of wheat: a review. *European Journal of Agriculture*, 1999, 10, 23-36.
26. Procházka, S.- Macháčková, J.- Krekule, J.- Šebánek, J. 1998. Fyziologie rostlin. 1.vyd. Praha: Academia, 1998, 484s. ISBN 80-200 0586-2
27. Rawson. H. M.- Zajac, M. 1993. Effects of higher temperatures, photoperiod and seed vernalisation on development in two spring wheats. In: *Australian Journal of Plant Physiology*, 1993, 20, 211-222.
28. Repková, J.- Brestič, M.- Olšovská, K. 2009. Leaf growth under temperature and light control. In: *Plant, Soil and Environment*, 2009, 55 (12): 551-557.
29. Sambo, E. Y. 1983. Leaf extension rate in temperate pasture grasses in relation to assimilate pool in the extension zone. In: *Journal of Experimental Botany*, 1983,34,1281- 1290.
30. Shah, N.H.- Paulsen, G.M. 2003. Interaction of drought and high temperature on photosynthesis and grain-filling of wheat. In: *Plant and Soil*, 2003, 257, 219-226.
31. Slováková, L. – Mistrík, I. 2007. Fyziologické procesy rastlín v podmienkach stresu. Vydavateľstvo UK, Bratislava, 231 s. ISBN 978-80-223-2322-2
32. Strasser, R.J.- Srivastava, A.-Govindjee. 1995. Polyphasic chlorophyll *a* fluorescence transient in plants and cyanobacteria. In: *Photochemistry and Photobiology*, 1995, 61, 32-42
33. Strasser, B.J. 1997. Donor side capacity of photosystem II probed by chlorophyll *a* fluorescence transient. In: *Photosynthesis Research*, 1997, 52, 147-155.
34. Šebánek, J.: Fyziologie rostlin. SZN, Praha,1983

35. Šesták, Z.- Čatský, J. 1966. Metody studia fotosyntetické produkce rostlin. Praha: Academia, 1966. s.335-363.
36. Špánik, F. – Tomlain, J. 1997. Klimatické zmeny a ich dopad na poľnohospodárstvo. Nitra: SPU Nitra, 1997, 154 s. ISBN 80-7137-345-1
37. Terek, J. – Vostal, Z. 2003. Základy ekologie a enviromentalistiky, Prešov 2003,19-22s.
38. Tesařová, J.- Seidlová, F.- Nátr, L. 1992. Relationship between the blade and sheat growth in the same leaf and succesive leaves of winter barley. In: *Biológia Plantarum*, 1992,34,325- 333.
39. Ugarte C., Calderini D. F., Slafer G. A. 2007. Grain weight and grain number responsiveness to pre-anthesis temperature in wheat, barley and triticale. In *Field Crops Research* [online], roč. 2-3, 2007, č. 100, s. 240-248 [cit. 2010-03-05].Dostupné na:<
http://apps.isiknowledge.com/full_record.do?&colname=WOS&search_mode=CitingArticles&qid=9&page=1&product=UA&SID=T2mljgoMFC5dA2PhCaC&doc=2>
40. Woolley, J. T. 1971. Reflectance and transmittance of light by leaves. In: *Plant Physiology*, 1971,47, 656-662.
41. Yamori, W.- Noguchi, K.- Terashima, I. 2005. Temperature acclimation of photosynthesis in spinach leaves: analyses of photosynthetic components and temperature dependencies of photosynthetic partial reactions. In: *Plant, Cell an Environment*, 2005, 536- 547.
42. Zimolka, J. 2006. Ječmen - formy a užitkové směry v České republice. Praha: Prefipress, 2006, ISBN (EAN): 80-86726-18-5, 200 s.
43. URL 1: <http://www.ipcc.cm> [cit. 10. marca 2010]
44. URL 2: <http://www.osivo.sk/data/bob.doc> [cit. 10. marca 2010]

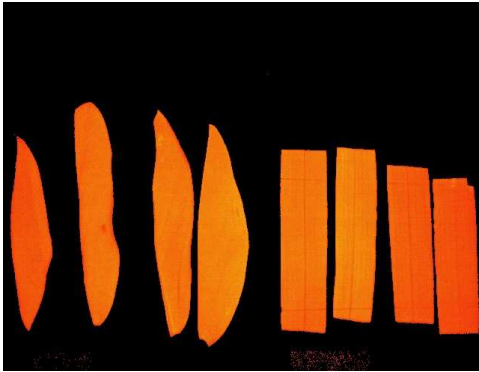
7 Prílohy



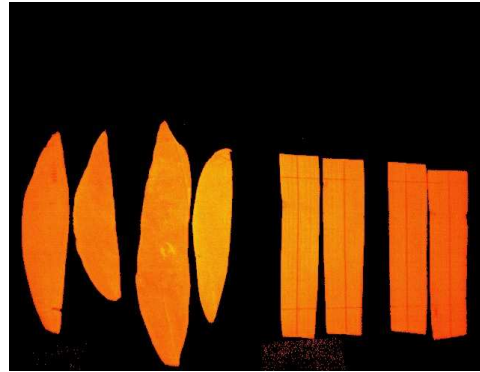
Obrázok 12. Nádobový vegetačný pokus zo snímaním mikroklimatických podmienok jačmeňa jarného a bôbu konského v klimatizovanom prostredí (klimabox).

Imaging Pam - analýza modulovanej fluorescence chlorofylu a

Aktuálna fluorescencia

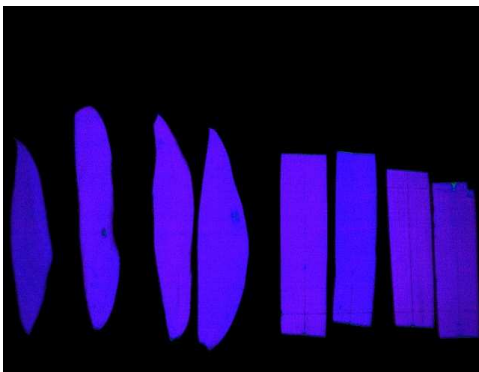


pred teplotou

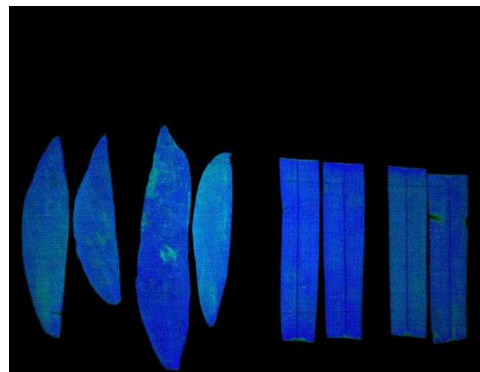


po teplote

Aktuálna fotochemická efektívnosť fotosystému II meraná pri $0 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$

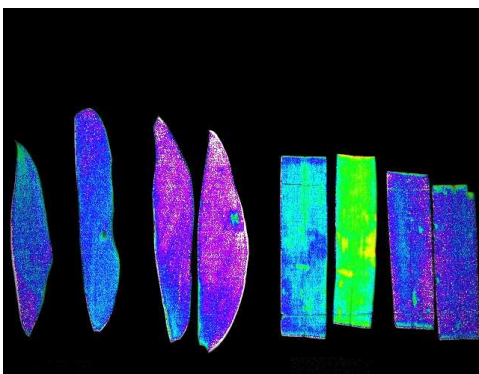


pred teplotou

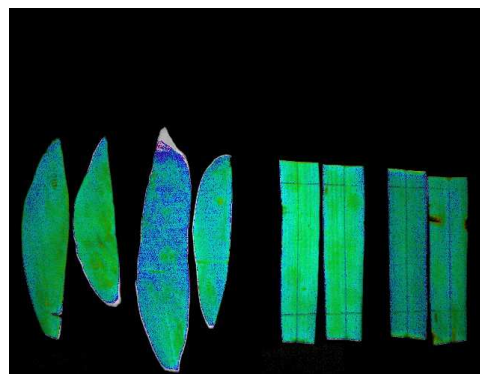


po teplote

Koeficient nefotochemického uhasínania meraný pri $1251 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$



pred teplotou



po teplote

