

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů**

**Katedra agroekologie a biometeorologie**



**Vliv rozdílné teploty a koncentrace CO<sub>2</sub> na vybrané druhy  
polních plevelů**

**Diplomová práce**

**Autor práce: Bc. Jana Poláková**

**Vedoucí práce: Ing. Josef Holec, Ph.D.**

© 2013 ČZU v Praze

### **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma "Vliv rozdílné teploty a koncentrace CO<sub>2</sub> na vybrané druhy plevelů" jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autorka uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 11.4.2013

---

### **Poděkování**

Ráda bych touto cestou poděkovala vedoucímu diplomové práce Ing. Josefu Holcovi, Ph.D. za odbornou pomoc, připomínky a vedení při řešení daného úkolu. A dále děkuji Ing. Jitce Satrapové za pomoc při výzkumu a zpracování výsledků do mé diplomové práce.

# Vliv rozdílné teploty a koncentrace CO<sub>2</sub> na vybrané druhy polních plevelů

---

## Influence of different temperature and CO<sub>2</sub> concentration selected arable weed species

### Souhrn

Cílem diplomové práce bylo zhodnotit vliv rozdílných teplot a koncentrace CO<sub>2</sub> na vybrané fyziologické charakteristiky modelových druhů polních plevelů. Sledované byly druhy *Chenopodium album* a *Amaranthus retroflexus*. Tyto plevelné druhy byly vybrány jako zástupci C3 a C4 rostlin.

Semena plevelů pocházela ze dvou nadmořských výšek (240 a 624 m.n.m.). Rostliny byly vypěstovány v klimaboxu při světelném režimu světlo/tma (12/12) při teplotě 20°C. V rámci experimentu se stanovovala rychlost čisté fotosyntézy (PN), vodivost průduchů (GS) a využití vody (WUE). Tyto hodnoty byly měřeny v širším rozsahu teplot a koncentrace CO<sub>2</sub>.

Experiment je založen na prognóze vývoje emisí skleníkových plynů. Emisní scénář pesimistický indikuje výrazně zvýšenou koncentraci oxidu uhličitého (535 ppm), zatímco tzv. optimistický scénář počítá jen s nárůstem mírným (467 ppm) a tedy podstatně nižším zvýšením teploty. V laboratorní části experimentu byla stanovena rychlost čisté fotosyntézy (PN), vodivost průduchů (GS) a následně výpočet využití vody (WUE).

Ve výsledku nebyl prokázán statisticky průkazný rozdíl v reakci rostlin na emisní scénáře. Dále byl zkoumán vliv původu lokální populace na dané fyziologické charakteristiky, kde rostliny vypěstované ze semen pocházejících z vyšší nadmořské výšky (624 m) vykazovaly vyšší hodnotu fotosyntézy. Pro jednoznačné potvrzení je však nutné v experimentu pokračovat a měření provést na větším počtu rostlin.

**Klíčová slova:** *Amaranthus retroflexus*, *Chenopodium album*, rychlost čisté fotosyntézy, koncentrace CO<sub>2</sub>, teplota, emisní scénáře

## Summary

The aim of this thesis was to evaluate the influence of different temperatures and CO<sub>2</sub> concentration on some physiological characteristics of the model species of field weeds. Studied species were *Chenopodium album* and *Amaranthus retroflexus*. These weed species were chosen as representatives of C3 and C4 plants.

Seeds of these weed species came from two different altitudes (240 and 624 m). Plants were grown in klimabox with set up light / dark period (12/12) and constant temperature 20 °C. The experiment assessed the net photosynthetic rate (P<sub>N</sub>), stomatal conductance (GS) and water use efficiency (WUE). These values were measured in a wide range of temperature and CO<sub>2</sub> concentration.

The experiment is based on projections of GHG emissions. The pessimistic scenario of emissions indicates a significantly increased concentration of carbon dioxide (535 ppm), while the optimistic scenario assumes only a slight increase (467 ppm) and thus significantly lower increase in temperature. In the laboratory experiment we specify net photosynthetic rate (P<sub>N</sub>), stomatal conductance (GS) and then calculate water use efficiency (WUE).

The results did not demonstrate a statistically significant difference in plant responses to emission scenarios. Furthermore, the effects of local origin of population on the physiological characteristics, plants grown from seeds originating from higher altitudes (624 m) showed higher photosynthesis. For unambiguous confirmation it is necessary to continue the experiment and perform measurements on a larger number of plants.

**Keywords:** *Amaranthus retroflexus*, *Chenopodium album*, net photosynthesis rate, CO<sub>2</sub> concentration, temperature, emission scenarios

# Obsah

<b>Obsah</b> .....	<b>3</b>
<b>1 Úvod</b> .....	<b>1</b>
<b>2 Literární přehled</b> .....	<b>2</b>
2.1    Koncentrace CO <sub>2</sub> v atmosféře .....	2
2.2    Skleníkový efekt.....	2
2.3    Vliv koncentrace CO <sub>2</sub> na změny globálního klimatu .....	4
2.3.1    Příčiny zvýšení koncentrace CO <sub>2</sub> .....	5
2.3.2    Zvýšení globální teploty .....	6
2.3.3    Globální změny klimatu .....	7
2.4    Vliv koncentrace CO <sub>2</sub> na rostliny .....	8
2.4.1    Fotosyntéza rostlin.....	9
2.4.2    Schopnost rostlin přizpůsobit se zvýšené koncentraci CO <sub>2</sub> .....	9
2.4.3    Změny fyziologických procesů v rostlinách.....	10
2.5    Charakteristika C3 a C4 rostlin .....	11
2.5.1    C3 rostliny .....	11
2.5.2    C4 rostliny .....	12
2.6    Studované plevelné druhy.....	13
2.6.1    Merlík bílý – <i>Chenopodium album</i> L. ....	13
2.6.2    Laskavec ohnutý – <i>Amaranthus retroflexus</i> L. ....	15
2.7    Klimatické scénáře.....	17
2.7.1    Emisní scénáře SRES.....	17
2.8    Předpokládané změny klimatu.....	19
<b>3 Hypotézy a cíle</b> .....	<b>20</b>
3.1    Hypotéza.....	20
3.2    Cíl práce .....	20
<b>4 Metodika</b> .....	<b>21</b>
4.1    Rostlinný materiál .....	21
4.2    Charakteristika sledovaných lokalit.....	21
4.3    Laboratorní experimenty.....	22
4.3.1    Vlastní měření .....	23
4.4    Zpracování dat .....	25
<b>5 VÝSLEDKY</b> .....	<b>26</b>
5.1    Stanovení rychlosti čisté fotosyntézy (P <sub>N</sub> ).....	26
5.1.1 <i>Chenopodium album</i> – lokalita Dobrá Voda .....	26
5.1.2 <i>Chenopodium album</i> – lokalita Břežany.....	29

5.1.3	Chenopodium album – rozdíl mezi lokalitami (Dobrá Voda – Břežany) – koncentrace CO <sub>2</sub> 200 ppm .....	32
5.1.4	Chenopodium album – rozdíl mezi lokalitami (Dobrá Voda – Břežany) – koncentrace CO <sub>2</sub> 467 ppm .....	33
5.1.5	Chenopodium album – rozdíl mezi lokalitami (Dobrá Voda – Břežany) – koncentrace CO <sub>2</sub> 535 ppm .....	34
5.1.6	Chenopodium album – rozdíl mezi lokalitami (Dobrá Voda – Břežany) – koncentrace CO <sub>2</sub> 1500 ppm .....	35
5.1.7	Amaranthus retroflexus - lokalita Dobrá Voda .....	36
5.1.8	Amaranthus retroflexus – lokalita Břežany.....	39
5.1.9	Amaranthus retroflexus – rozdíl mezi lokalitami (Dobrá Voda – Břežany) – koncentrace CO <sub>2</sub> 200ppm .....	42
5.1.10	Amaranthus retroflexus – rozdíl mezi lokalitami (Dobrá Voda – Břežany) – koncentrace CO <sub>2</sub> 467 ppm .....	43
5.1.11	Amaranthus retroflexus – rozdíl mezi lokalitami (Dobrá Voda – Břežany) – koncentrace CO <sub>2</sub> 535 ppm .....	44
5.1.12	Amaranthus retroflexus – rozdíl mezi lokalitami (Dobrá Voda – Břežany) – koncentrace CO <sub>2</sub> 1500 ppm .....	45
5.2	Stanovení vodivosti průduchů (GS) .....	46
5.2.1	Chenopodium album – lokalita Dobrá Voda .....	46
5.2.2	Chenopodium album – lokalita Břežany .....	47
5.2.3	Amaranthus retroflexus – lokalita Dobrá Voda .....	48
5.2.4	Amaranthus retroflexus – lokalita Břežany.....	49
5.3	Stanovení efektivnosti využití vody (WUE) .....	50
5.3.1	Chenopodium album – lokalita Dobrá Voda .....	50
5.3.2	Chenopodium album – lokalita Břežany.....	51
5.3.3	Amaranthus retroflexus – lokalita Dobrá Voda .....	52
5.3.4	Amaranthus retroflexus – lokalita Břežany.....	53
5.3.5	Chenopodium album – lokalita Dobrá Voda .....	54
5.3.6	Chenopodium album – lokalita Břežany.....	54
5.3.7	Amaranthus retroflexus – lokalita Dobrá Voda .....	54
5.3.8	Amaranthus retroflexus – lokalita Břežany .....	55
<b>6</b>	<b>Diskuse .....</b>	<b>56</b>
<b>7</b>	<b>Závěr .....</b>	<b>59</b>
<b>8</b>	<b>Použitá literatura .....</b>	<b>60</b>

# 1 Úvod

Mnoho odborníků je přesvědčeno, že lidstvo samo v dnešní době ohrožuje svou vlastní existenci. A to činnostmi, které s největší pravděpodobností povedou k nezanedbatelnému zvýšení globální teploty vzduchu u zemského povrchu. Na změny klimatu má vliv řada faktorů, některé působí téměř okamžitě po tom, co se objeví, a některé působí až v delším geologickém měřítku času.

Již v současnosti dochází k velkým změnám v cyklu uhlíku a koncentraci  $\text{CO}_2$ . Důsledky změn v uvedených cyklech uhlíku se projevují s různě dlouhým zpožděním, a to díky velikosti Země a jejího plynného obalu. Dle několika vědeckých výzkumů se domníváme, že tzv. skleníkové plyny, které jsou v dnešní době hojně vypouštěny do atmosféry, patrně vyvolaly jen v tomto století růst globální teploty zhruba o polovinu stupně Celsia. Na příkladu, jednoho ze skleníkových plynů, oxidu uhličitého lze krásně ilustrovat, jak i relativně malé změny množství látky mají obrovské, mnohostranně provázané a někdy obtížně odhadnutelné důsledky v celém systému.

Otázkou nyní je, jak se lidstvo a celý ekosystém s těmito změnami dokáže vyrovnat. Zda bude globální flora a fauna schopna na přicházející změny reagovat a bez velkých ztrát se jim přizpůsobit. Reakce rostlin na změny klimatu se liší mezi druhy. Přizpůsobení se zemědělských plodin změnám klimatu vyžaduje informace o budoucích rizicích. Jedním z velkých rizik je usnadnění plevelným druhům jejich rozšíření do nových lokalit.



## 2 Literární přehled

Pod pojmem atmosféra Země (nebo také ovzduší) se rozumí plynný obal Země, který sahá od zemského povrchu do výšek několika desítek tisíc kilometrů. Tento plynný obal se otáčí zároveň se Zemí (Bednář a kol., 1993). Atmosféru tvoří směs plynů, jejichž relativní podíly se až do výšky asi 100 kilometrů téměř nemění. Výjimkou je vodní pára, ozon a některé plyny antropogenního původu, jejichž relativní zastoupení ve vzduchu může být naopak prostorově velmi proměnlivé (Metelka a Tolasz, 2009).

### 2.1 Koncentrace CO<sub>2</sub> v atmosféře

V atmosféře je uhlík přítomen především ve formě oxidu uhličitého. Významný, i když mnohem menší je také podíl metanu (CH<sub>4</sub>) a velmi malého množství oxidu uhelnatého (CO). Současná koncentrace oxidu uhličitého (CO<sub>2</sub>) v atmosféře je 395,55 ppm (NOAA, 2013). Oxid uhličitý je důležitý skleníkový plyn, který se uvolňuje prostřednictvím lidských činností, jako je odlesňování a spalování fosilních paliv. K jeho uvolňování však dochází i přírodními procesy a to dýcháním a sopečnou činností (NASA, 2012). Ačkoliv specifické následky lidských aktivit stále ještě zůstávají nejednoznačnými, nelze pochybovat o tom, že lidstvo je schopno ovlivňovat atmosféru planety Země (Nemešová a Pretel, 1998). Změny množství skleníkových plynů a aerosolů v atmosféře, slunečního záření a vlastností zemského povrchu mění energetickou bilanci klimatického systému. Tyto změny se vyjadřují pomocí radiačního působení, které se používá k porovnání míry vlivů přirozených a antropogenních faktorů na oteplování či ochlazování globálního klimatu (IPPC, 2007).

### 2.2 Skleníkový efekt

Skleníkové plyny mají obrovský význam a znatelně ovlivňují chování celého klimatického systému. Kvůli svým fyzikálním vlastnostem totiž na Zemi zadržují energii slunečního záření (Metelka a Tolasz, 2009). Nejdůležitějšími skleníkovými plyny v atmosféře jsou vodní pára (zdaleka nejvýznamnější), oxid uhličitý (CO<sub>2</sub>), oxid dusný (N<sub>2</sub>O), metan (CH<sub>4</sub>) a některé další plyny. Jejich působení spočívá v tom, že pohlcují dlouhovlnné záření lépe než záření krátkovlnné a samy také vyzařují dlouhovlnnou radiaci jak do vnějšího prostoru (ochlazování), tak zpět k zemskému povrchu (skleníkový efekt), (Nemešová a Pretel, 1998).

Skleníkový efekt na Zemi je srovnatelný se zvyšováním teploty ve skleníku během slunečních dnů (Nátr, 2006). Termín „skleníkový efekt“ je nazýván podle toho, že sklo ve skleníku má vlastnosti poněkud podobné naší atmosféře. Viditelné záření Slunce prochází sklem téměř bez překážky a je absorbováno rostlinami a půdou uvnitř skleníku. Tepelné záření, jež vyzařuje z rostlin a půdy, je však absorbováno sklem, které zpětně vyzařuje určitou část opět do skleníku. Sklo takto funguje jako „radiální pokrývka“, která pomáhá udržovat ve skleníku teplo (Houghton, 1998). Země samozřejmě není přikryta sklem, které by vyvolávalo jev shodný se skutečným skleníkem (Nátr, 2006). Skleníkový efekt v atmosféře Země je značně složitější proces (Kadrnožka, 2008). Principem skleníkového efektu je, že sluneční krátkovlnné záření dopadá na vnější okraj atmosféry Země. Malý podíl je absorbován atmosférou, další odražen zpět do vesmíru a největší část dopadá na povrch Země. Zde je částečně absorbováno a částečně odraženo zpět do atmosféry. Povrch Země emituje dlouhovlnné infračervené záření (DIZ), které je v atmosféře poměrně silně pohlcováno molekulami skleníkových plynů. Tím se atmosféra částečně ohřeje a sama emituje dlouhovlnné záření jak zpět k povrchu Země, tak i do vesmíru. Skleníkové plyny prakticky neovlivňují pohlcování slunečního záření, ale silně pohlcují dlouhovlnné záření z povrchu Země (Nátr, 2006). Bez skleníkových plynů by byla průměrná teplota atmosféry v blízkosti zemského povrchu asi o 33°C nižší, než je dnes. Země by pravděpodobně nebyla vhodná pro život, jak ho známe, byla by pokryta sněhem a ledem od pólu až k rovníku (Metelka a Tolasz, 2009).

Teoretický výklad skleníkového efektu vychází ze studia molekul plynů. Symetrické molekuly složené ze dvou stejných atomů jako  $O_2$  nezpůsobují skleníkový efekt, zatímco nesymetrické molekuly plynů vykazují nejsilnější skleníkový efekt. Nesymetrické molekuly mají mírně nerovnovážné rozdělení elektronů. Na jedné části molekuly převládá kladný náboj, zatímco na jiné části molekuly záporný náboj – mluvíme o dipólovém momentu. Jsou to molekuly složené ze dvou různých atomů, tedy  $H_2O$ . Naopak  $CO_2$  je symetrická molekula, která však je složená ze dvou různých atomů, a tím se může za určitých podmínek chovat jako molekula vykazující slabší skleníkový efekt (Kutílek, 2008). Míra vlivu různých skleníkových plynů na chování atmosféry závisí na dvou věcech: na jejich množství a na fyzikálních vlastnostech. Čím více je plyn radiačně účinný (tj. čím více ovlivňuje energetickou bilanci atmosféry v přepočtu na jednotku hmotnosti), tím menší množství stačí k ovlivnění procesů v atmosféře (Metelka a Tolasz, 2009).

Přidáváním skleníkových plynů do atmosféry se zvyšuje jejich koncentrace a tak původně blahodárny vliv přirozeného skleníkového efektu na teplotní poměry na Zemi se mění směrem ke globálnímu oteplování (Nemešová a Pretel, 1998). Skleníkový efekt na Zemi se projevuje od samotného vzniku Země, protože skleníkové plyny – v různé koncentraci – se v její atmosféře vyskytovaly trvale. V současné době bychom tedy měli mluvit přesněji o změnách intenzity projevu skleníkového efektu na Zemi v důsledku změn koncentrace skleníkových plynů. Přitom jde zřetelně o zesilování účinku skleníkových plynů, tedy o zvyšování teploty povrchu Země, protože koncentrace skleníkových plynů se jednoznačně a prokazatelně zvyšuje (Nátr, 2006). Naše chápání toho, jak může složení atmosféry ovlivnit globální klima, ještě není dokonalé, ale rostoucí znalosti v této oblasti naznačují, že změny klimatu ovlivňují život všech organismů na Zemi. V důsledku rostoucí koncentrace CO<sub>2</sub> dochází k podstatnému globálnímu zvýšení teploty, pozměnění srážkových modelů a k možnému zvyšování hladiny moří (Peters a Darling, 1985).

### **2.3 Vliv koncentrace CO<sub>2</sub> na změny globálního klimatu**

Než se začneme zabývat změnami klimatu v budoucnosti, musíme si něco říci o jeho změnách v minulosti (Houghton, 1998). Globální změna klimatu probíhá jako jedna z řady fluktuací systému Země. Klimatický systém Země je složitá soustava nelineárních přenosů energie mezi atmosférou, hydrosférou a biosférou. Je poháněn energií slunečního záření a nepravidelně zasahován sopečnými erupcemi. Vyznačuje se několika systémy oscilací, které svérázně podmiňují klima zemských polokoulí a podle nich jsou vytvářeny i hemisférické modely chování a vývoje globálního klimatu (Samec, 2008). Největšími změnami se vyznačují doby ledové a teplejší doby meziledové (Nemešová a Pretel, 1998). Poslední z těchto ledových dob skončila asi před 12 000 lety a my se nyní nacházíme v tzv. interglaciálním (meziledovém) období (Houghton, 1998).

Nedávné (z geologického poměrování historie Země) hodnoty a změny koncentrace CO<sub>2</sub> v atmosféře jsou pro naši současnost důležitým měřítkem toho, jaké změny lze ještě považovat za výsledek přirozených faktorů, a naopak, které již jsou výsledkem uvážlivé, či naopak nedomyšlené aktivity lidstva. Proto je oprávněný zájem o změny koncentrace CO<sub>2</sub> v atmosféře Země v uplynulých tisíciletích a desetitísíciletích (Nátr, 2006). Za minulé období, dlouhé nejméně 420 tisíc let, se koncentrace oxidu uhličitého pohybovala v pásmu od 190 do 280 ppm a nikdy nepřekročila 300 ppm. Podrobnější údaje o koncentraci oxidu uhličitého v ovzduší jsou známy z pozdějšího období. Koncentrace oxidu uhličitého v posledních

160 tisících letech byla rovněž velmi nízká a pohybovala se od 190 ppm, dosažené před 155 000 lety a opět před 146 000 lety, do koncentrace 280 ppm, která byla zaznamenána na začátku průmyslové éry (Kadrnožka, 2008). Globální koncentrace oxidu uhličitého, metanu a oxidu dusného v atmosféře se od roku 1750 následkem lidské činnosti výrazně zvýšily a nyní jsou mnohem vyšší než hodnoty preindustriální doby stanovené z ledových vrtných jader překlenujících mnoho tisíc let (IPPC, 2007). Příslušné údaje se získávají z analýz bublinek vzduchu uzavřených v ledovcích. Při zvětšování ledovce se v každé vrstvě uchovaly bublinky vzduchu odpovídajícího složení, které bylo na Zemi v oné době. Z vrtů do různých hloubek ledovců získáme vzorky vzduchu z různě dávných období naší historie. Věrohodnost těchto výsledků je doložena mimo jiné tím, že údaje z vrtů provedených do hloubky ledovců odpovídající relativně nedávné době se shodují s přímým měřením (Nátr, 2006). Kolísání koncentrace oxidu uhličitého v ovzduší ve velmi dlouhém období jen ve velmi úzkém pásmu je způsobeno tím, že v každém období se nastaví určitá rovnováha mezi množstvím rostlinné vegetace na Zemi, koncentrací oxidu uhličitého a koncentrací kyslíku v ovzduší (Kadrnožka, 2008). V roce 2005 pak vysoce převýšila přirozený rozsah hodnot za posledních 650 000 let (180 až 300 ppm), stanovený z ledových vrtů. Roční nárůst koncentrace oxidu uhličitého za posledních deset let (průměr za období 1995 – 2005 byl 1,9 ppm za rok) byl rychlejší než kdykoli od počátku soustavných přímých atmosférických měření (průměr za období 1960 – 2005 byl 1,4 ppm za rok), přestože míra růstu vykazuje určitou meziroční variabilitu (IPPC, 2007). V průběhu posledních desetiletí se koncentrace CO<sub>2</sub> měří na mnoha místech Země. Bylo zjištěno, že rozdíly v koncentraci CO<sub>2</sub> v různých oblastech Země jsou sice patrné, ale prakticky zanedbatelné. Důvodem je dlouhá doba setrvávání tohoto plynu v atmosféře, takže dochází k jeho rovnoměrnému promíchání a rozptýlení. Koncentrace CO<sub>2</sub> dosahuje svého maxima v dubnu až květnu, tedy ke konci vegetačního klidu na severní polokouli. Naopak koncentrační minimum se vyskytuje v září, kdy na severní polokouli rozvoj vegetace vrcholí (Nátr, 2006).

### **2.3.1 Příčiny zvýšení koncentrace CO<sub>2</sub>**

Od doby nástupu průmyslu vedly rostoucí emise skleníkových plynů působené lidskou činností ke značnému nárůstu koncentrací atmosférických skleníkových plynů. V období 1970 – 2004 světové emise CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, částečně a úplně fluorovaných uhlovodíků a SF<sub>6</sub> vážené svým potenciálem globálního oteplování (GWP) vzrostly o 70%. Emise těchto plynů narůstaly různým tempem. Emise CO<sub>2</sub> vzrostly v letech 1970 – 2004 o zhruba 80% a v roce

2004 představovaly 77% celkových antropogenních emisí skleníkových plynů (IPPC, 2007). Průmyslové aktivity lidstva přispěly ke zvýšení koncentrací CO<sub>2</sub>. Spalování fosilních paliv, jako jsou uhlí, nafta, plyn, dále kácení lesů, různé technologické postupy uplatňované v zemědělství a průmyslové výrobě nepochybně mění složení atmosféry a přispívají ke změně klimatických podmínek (Nemešová a Pretel, 1998). V současné době je do ovzduší v důsledku spalování fosilních paliv emitováno asi 7 Gt uhlíku ročně. Téměř všechny uhlík vstupuje do ovzduší ve sloučenině s kyslíkem jako oxid uhličitý, takže do ovzduší vstupuje ze spalování fosilních paliv asi 25,6 Gt oxidu uhličitého ročně. Odhady množství uhlíku uvolňovaného do ovzduší v důsledku změn v obhospodařování půdy, vypalování lesů a tlením biomasy se značně liší a pohybují se od 1 Gt až do 5 Gt uhlíku za rok. Celkem tedy nyní vstupuje do ovzduší ročně 8 až 12 Gt uhlíku, neboli 29 až 43 Gt oxidu uhličitého za rok. Přibližně polovina z tohoto množství oxidu uhličitého zůstává v ovzduší a zvyšuje jeho koncentraci v atmosféře (Kadrnožka, 2008).

### **2.3.2 Zvýšení globální teploty**

Že zvýšení koncentrací skleníkových plynů vede ke zvýšení teploty, je známo už od 19. století. Je to poměrně jednoduchý důsledek Planckova a Stefan – Boltzmannova zákona (popisuje vyzařování těles s teplotou vyšší než absolutní nula), tzn. absorpčních spekter skleníkových plynů v infračervené oblasti (proměřených laboratorně) a zákona zachování energie (Metelka a Tolasz, 2009). Vliv na změny klimatu má řada faktorů, některé působí až v delším geologickém měřítku času, některé téměř bezprostředně po tom co se objeví. Jde o velmi komplikovaný systém, ve kterém se vztah mezi určitým faktorem a očekávanou změnou tepelné bilance projevuje jako nelineární a matematicky obtížně popsatelný (Kutílek, 2008). Oxid uhličitý je dobrým pohlcovačem vyzařovaného tepla, vycházejícího ze zemského povrchu, zvýšené množství oxidu uhličitého proto působí nad povrchem jako pokrývka a udržuje ho teplejší, než by byl za normálních okolností. Se zvýšenou teplotou se v atmosféře zvyšuje také množství vodní páry, to se přidává k pokrývkovému efektu a způsobuje další oteplování (Houghton, 1998). Diskutovaný vztah mezi koncentrací CO<sub>2</sub> a změnou teploty či klimatu představuje jen jeho určitou část, i když významnou část. Předpokládejme například, že zvýšením koncentrace CO<sub>2</sub> se zvýší teplota atmosféry. Současné jsou však „aktivovány“ mnohé zpětné vazby. Mezi bezprostřední patří hlavně změny obsahu vodní páry v atmosféře, které mohou na jedné straně zesílit skleníkový efekt, na druhé straně však mohou snižovat teplotu větším odrazem slunečního záření, protože se může zvýšit výskyt oblačnosti nebo

zvětšit plochy pokryté sněhem a ledem v důsledku větších srážek (Nátr, 2006). Zvýšení globální teploty však povede ke změně celkového podnebí. Kdyby byla změna malá a docházelo k ní dostatečně pomalu, skoro určitě bychom byli schopni se jí přizpůsobit. S rychlým rozvojem světového průmyslu však není pravděpodobné, že by tato změna byla buď malá, nebo pomalá. Nedojde-li k úsilí o omezení emisí oxidu uhličitého, bude celková průměrná teplota stoupat o čtvrtinu stupně Celsia každý deset let – nebo o dva a půl stupně během století (Houghton, 1998). Nárůst průměrné globální teploty přízemní vrstvy atmosféry a svrchní vrstvy oceánů, rozsáhlé tání sněhu a ledu a zvyšování průměrné výšky hladin moře dokazuje, že k oteplování klimatického systému dochází. Za posledních sto let se průměrná globální teplota zvýšila o 0,74°C. V hloubkách minimálně do 3000 metrů se zvýšila i průměrná globální teplota oceánů, neboť absorbují více než 80% tepla dodaného do klimatického systému. Termální expanze vody výrazně přispívá ke zvyšování hladin moří a oceánů. Celkové zvýšení hladin za posledních sto let se odhaduje na 17 cm. Trendy ukazují stálé zvyšování teploty i hladin (IPCC, 2007). Globální teplota povrchu Země se v posledních 28 letech měřila ze satelitů. Uvedený vzrůst globální teploty však neznamená, že vyhodnocení teplot na kterémkoliv místě na Zemi obdržíme stejnou hodnotu 0,74°C (Kutílek, 2008). Podobně jako se liší klima různých regionů, tak jsou rozdílné hodnoty vzrůstu průměrné teploty za poslední století. V rovníkových oblastech je vzrůst nepatrný a postupně k pólům se vzrůst teploty zvyšuje, roste tedy se zeměpisnou šířkou. Tyto změny jsou výraznější na severní polokouli (Flannery, 2007). V České republice se průměrná roční teplota zvýšila za 100 let o 1,1 až 1,3°C (ČHMÚ, 2007). Změny vzrůstu teploty jsou také ovlivněny polohou regionu na kontinentu. Odlišné jsou hodnoty pro vnitrozemské klima v porovnání s klimatem ovlivněným oceánem (Kutílek, 2008). O skutečnosti globálního oteplování a o změně klimatu v závislosti na lidských aktivitách jsou odborníci přesvědčeni. Podstatná nejistota se však týká velikosti oteplování a rozmanitosti jeho důsledků v různých částech světa (Houghton, 1998).

### **2.3.3 Globální změny klimatu**

V současné době má globální změna klimatu již pozorovatelné účinky na životní prostředí. Velmi citlivě reagují na změny klimatu živé organismy. Již dnes je dostatek přesvědčivých důkazů o tom, že například rašení stromů na jaře probíhá dříve, než tomu bylo v uplynulém období. Obdobně nástup opadu listů na podzim se odsouvá. Podobné změny najdeme i v chování hmyzu, ptáků, v době kvetení rostlin atd. (Root et al., 2003). Na globální oteplování můžeme usuzovat i z nepřímých důkazů v neživé přírodě. Například se na severní

polokouli prodloužila délka vegetační sezóny v průměru asi o 12 dní za poslední století. Také prodlužování vegetační sezóny není lineárně závislé na vzrůstu průměrné roční teploty v daném regionu. Čím je vyšší teplota, tím méně výrazná je změna délky vegetační sezóny (Kutílek, 2008). Vliv koncentrace CO<sub>2</sub> na rostliny a půdu může být stejně důležitý, a v některých případech, i důležitější než předpokládané klimatické změny. Proto pochopení, jak ekosystémy reagují na rostoucí koncentraci CO<sub>2</sub> je klíčem k předpovídání jejich budoucího rozvíjení a fungování v prostředí bohatém na CO<sub>2</sub> (Morgan et al., 2004). Je třeba připomenout, že účinek zvyšující se koncentrace CO<sub>2</sub> na klima naší planety je sice významný, ale nikoliv jediný faktor rozhodující o těchto procesech. Spolupůsobí s ním řada jiných jevů. Kromě toho jsou následky prvotních změn vyvolaných zvýšenou koncentrací CO<sub>2</sub> opět neobyčejně složité a mohou překvapivě vést nejen k zesílení, ale i k zeslabení primárního účinku zvyšující se koncentrace CO<sub>2</sub> na naše klima (Nátr, 2006).

## **2.4 Vliv koncentrace CO<sub>2</sub> na rostliny**

Přirozené toky uhlíku mají mnohem větší objem než emise (množství uměle vypuštěné do atmosféry) z průmyslu nebo dopravy. Jsou však dlouhodobě velmi dobře vyrovnané, takže množství uhlíku, které se za rok dostane do atmosféry přirozenými procesy, je přibližně stejné jako množství uhlíku přirozenými procesy odstraněné (Metelka a Tolasz, 2009). Pro existenci života na Zemi je výskyt oxidu uhličitého v ovzduší naprosto nezbytný. Významně se totiž podílí na přirozeném skleníkovém efektu atmosféry, jenž na zemském povrchu vytváří vhodné teplotní podmínky pro život. Oxid uhličitý obsažený v ovzduší je nepostradatelná látka pro fotosyntézu a zdroj uhlíku pro vytvořenou biomasu (Janouš, 2010). Na počátku rozvoje Země byl CO<sub>2</sub> důležitou součástí atmosféry. Během 3 miliard let jeho koncentrace postupně klesala. Oxid uhličitý byl z větší části vyměněn za O<sub>2</sub>, nejprve díky aktivitě mikroorganismů, ale postupně i díky aktivitě řas a vyšších rostlin. Oxygenní fotosyntéza je nejdůležitější mechanismus pro zachycení sluneční energie na Zemi. Chemicky vázaná energie a reduktanty generované při světelných reakcích jsou využívány hlavně pro fixaci CO<sub>2</sub>, ale i pro jiné procesy. Fotosyntéza je hlavním procesem cyklické přeměny uhlíku a kyslíku a také pomáhá udržovat plynné složení atmosféry (Patterson, 1995).

### 2.4.1 Fotosyntéza rostlin

Fotosyntéza rostlin odstraňuje oxid uhličitý (a tím i uhlík) z atmosféry a ukládá ho do vegetace. Dýchání živočichů naopak uvolňuje uhlík zpět do vzduchu (Metelka a Tolazs, 2009). Rostliny vytvářejí novou biomasu tak, že s využitím energie slunečního záření zabudovávají vzdušný oxid uhličitý do organických látek. Je evidentní, že čím více energie je k dispozici, tím větší může být rychlost hromadění biomasy, neboli tím větší může být rychlost fotosyntézy (Nátr, 2006). Rychlost fotosyntézy ( $P_N$ ) je ovlivňována řadou faktorů vnějších (světlo,  $CO_2$ , teplota aj.) i vnitřních (anatomická stavba, obsah chlorofylu aj.), (Procházka, 1998). Vyšší koncentrace  $CO_2$  stimulují fotosyntézu a umožňují rostlinám zvýšenou měrou asimilovat uhlík (Houghton, 1998). Intenzita fotosyntézy vzrůstá s rostoucí koncentrací oxidu uhličitého v ovzduší velmi rychle při jeho malých koncentracích. Při větších koncentracích se intenzita fotosyntézy značně zpomaluje a při ještě větších koncentracích dochází k saturaci. To znamená, že při jakémkoliv dalším zvětšování koncentrace oxidu uhličitého se již intenzita fotosyntézy nezvětšuje (Kadrnožka, 2008).

V procesu fotosyntézy je  $CO_2$  rozkládán na uhlík a kyslík pomocí energie slunečního záření dopadajícího na danou rostlinu. Uhlík tvoří základní kostru organických látek (biomasy) a kyslík je uvolňován zpět do atmosféry. V chemických vazbách organických látek je zadržována energie slunečního záření (Janouš, 2010). Jak již bylo řečeno, fotosyntézy se účastní  $CO_2$ , voda a sluneční záření jako dodavatel energie. Musí být přítomny i některé minerální látky. Rostliny absorbují světlo v zeleném chlorofylu. Kromě chlorofylu jsou v chloroplastech buněk přítomny ještě další doprovodné látky (Kutílek, 2008).

### 2.4.2 Schopnost rostlin přizpůsobit se zvýšené koncentraci $CO_2$

Nárůst koncentrace oxidu uhličitého v atmosféře je však v poslední době velmi rychlý, pravděpodobně zejména vlivem rozvoje průmyslu a dopravy (a z toho vyplývající zvyšování emisí  $CO_2$ ) ve světě, takže nastává otázka, zda se rostliny tomuto dokáží přizpůsobit (Nátr, 2000). Reakce rostlin na změny klimatu se liší mezi druhy v závislosti na přizpůsobení se specifickým klimatickým podmínkám. U druhu přizpůsobenému pouze určitým klimatickým podmínkám může dojít ke ztrátě schopnosti čelit rizikům vyplývajícím z měnících se klimatických podmínek (Hyvönen et al., 2012). Různé druhy rostlin reagují na zvýšení koncentrace  $CO_2$  rozdílně. To může způsobit změnu druhového složení přirozených porostů s následným vlivem na složení hmyzu a dalších živočichů v potravním řetězci (Nátr, 2000). S podrobnými znalostmi podmínek, které různé druhy vyžadují, a se znalostí genetických



manipulací, jež máme dnes k dispozici, by nemělo být obtížné přizpůsobit plodiny ve velkých částech světa novým klimatickým poměrům. Mělo by se to podařit přinejmenším v případě plodin, které dozrávají během jednoho nebo dvou roků. Očekávaná rychlost změny podnebí je taková, že se stromy během této doby mohou octnout v naprosto nevhodném klimatu. Podstatě se může změnit teplotní režim nebo srážky a výsledkem může být zakrnělý růst nebo větší náchylnost k nemocem a kalamitám (Houghton, 1998).

Dnes již také existují názory, že dlouhodobě působící koncentrace oxidu uhličitého může způsobit za určitých podmínek naopak pokles rychlosti fotosyntézy. Jde o aklimační depresi fotosyntézy. Tato deprese má příčinu především v poklesu síly sinku, tedy vnitřního spotřebiče produktů fotosyntézy (Marek, 2005). Při měření rychlosti fotosyntézy ve stejných podmínkách se projevují výrazné rozdíly mezi rostlinami, které vyrostly či byly pěstovány v podmínkách odlišných. Například listy rostlin rostoucích při vyšší ozáření se výrazně liší svou fotosyntetickou charakteristikou od listů utvářených spíše ve stínu. Totéž lze uvést o působení vody, minerálních živin aj. A konečně je nutno připomenout i prokázané rozdíly v rychlosti fotosyntézy mezi odrůdami a mnoha kulturních rostlin i mezi různými rostlinnými druhy a rody (Procházka, 1998).

### **2.4.3 Změny fyziologických procesů v rostlinách**

Zvýšená koncentrace oxidu uhličitého způsobuje změny mnoha fyziologických procesů v rostlinách, které spolu různým způsobem interagují, čímž komplikují porozumění vlivům zvýšené koncentrace CO<sub>2</sub> na rostliny, které jsou vzájemně propletené. Například v důsledku působení zvýšené koncentrace CO<sub>2</sub> se snižuje vodivost průduchů, a tím se zvyšuje účinnost využití vody (Nátr, 1998). Zvýšení koncentrace oxidu uhličitého vyvolává uzavření průduchů u většiny bylinných druhů bez ohledu na fotosyntetické dráhy (Morgan et al., 2004). Rostliny mohou díky přivření průduchů a následně větší účinnosti využití vody čerpat méně vody z půdy, což má za následek, že v půdě zůstává více vody. Větší množství vody v půdě umožňuje rostlinám lépe přijímat živiny (Körner, 2003). Pokud je dostatečná půdní vlhkost, přítok vody ke kořínkům je dostatečně velký a průtok tělem rostliny až k průduchu stačí uhradit ztráty vody při otevřeném průduchu. Tuto ztrátu vody nazýváme transpirace. Velikost transpirace závisí při plně otevřeném průduchu na teplotě a atmosférické vlhkosti (Kutílek, 2008).

Přivření průduchů sice sníží výdej vodní páry rostlinami (porostem), ale tím se zvýší její teplota. To může mít za následek urychlení růstu a vývoje rostlin atd. (Nátr, 2006). Bylo

zjištěno, že tento způsob vodní úspory při zvýšené koncentraci oxidu uhličitého se liší u jednotlivých druhů (Volk et al., 2000). Zvýšená koncentrace CO<sub>2</sub> dále ovlivňuje výnos, rychlost vývoje, vodní provoz, růst a vývoj, biodiverzitu a interakci rostlin s parazity. Působení CO<sub>2</sub> je široké a může být umocněno interakcemi s dalšími faktory, například s teplotou a dostupností živin a vody (Nátr, 2000). Klíčovým faktorem při rozhodování o druhu pěstovaných plodin je rozdělení teploty a srážky během roku. Ve světě ovlivněném globálním oteplením se toto rozdělení změní. Proto se také změní skladba pěstovaných plodin a jejich územní rozložení (Houghton, 1998).

## **2.5 Charakteristika C3 a C4 rostlin**

Rostliny se však z hlediska fotosyntézy dělí do tří skupin označovaných jako C3, C4 a CAM, které se liší řadou svých vlastností (Nátr, 2006). Důvodem, proč se rostliny takto klasifikují, je počet atomů uhlíku v prvním stabilním produktu fotosyntézy (Kutílek, 2008). Probíhají v nich odlišné fotosyntetické procesy (Walker, 1992). Typická je rozdílná jejich reakce na zvyšování koncentrace CO<sub>2</sub> ve vzduchu, který je obklopuje (Nátr, 2006). U rostlin C3, které tvoří přibližně 95% všech rostlin na Zemi, vzniká nejdříve fosfoglycerát se třemi atomy C v jedné molekule. U rostlin C4 nejprve vznikne ve středové vrstvě listu (v mezofylu) oxalacetát se čtyřmi atomy C v jedné molekule. Ten je transportován do pochvy cévního svazku, kde se opět rozkládá za vzniku CO<sub>2</sub>, a potom probíhá fotosyntéza standardním průběhem reakcí jako u C3 (Kutílek, 2008).

Každá z uvedených tří skupin je charakterizována celým komplexem anatomických, biochemických i fyziologických znaků. Ještě v 60. letech se například předpokládalo, že mezi tzv. fotosynteticky neúčinnými rostlinami (naše obilniny) bude možno najít jedince, kteří se budou v důsledku spontánních mutací vyznačovat znaky fotosynteticky vysoce účinných rostlin, jako je kukuřice nebo cukrovník. Záhy však byla tato optimistická představa opuštěna, protože obě hlavní skupiny, tj. C3 a C4, se liší tak velkým souborem znaků, že se vylučuje jejich vzájemný přechod příslušným souborem mutací (Procházka, 1998).

### **2.5.1 C3 rostliny**

Mezi rostliny C3 řadíme například pšenici, slunečnici, brambory, fazole, rajčata a další kulturní plodiny mírného pásma. Celkově tak rostliny C3 tvoří většinu zemské rostlinné biomasy oproti rostlinám C4. U C3 rostlin fotosyntéza probíhá dobře za relativně chladných podmínek, protože jejich optimální teplota pro fotosyntézu je relativně nízká

(Gliessman, 2007). Teplotní minimum u rostlin C3 se pohybuje kolem 0°C, u některých druhů probíhá fotosyntéza až do teplot -6 až -10°C. Teplotním optimum u rostlin skupiny C3 je při teplotě 16 až 23°C. Maximální teploty leží kolem 30°C (Kadrnožka, 2008).

U rostlin C3 je CO<sub>2</sub> fixován způsobem, kdy diskriminovaný izotop CO<sub>2</sub> může udržovat rovnováhu s atmosférickým CO<sub>2</sub>. Jeho diskriminace je velmi výrazná. U těchto rostlin je CO<sub>2</sub> fixován enzymem zvaným Rubisco. Rostliny C3 mají při nízké koncentraci CO<sub>2</sub> výrazně nižší rychlost fotosyntézy (P<sub>N</sub>) než rostliny C4 (Procházka, 1998).

### 2.5.2 C4 rostliny

Předpokládá se, že C4 typ se vyvinul z typu C3, bylo dokázáno 45 nezávislých vzniků tohoto typu fotosyntetického metabolismu u 19 čeledí vyšších rostlin. Z odhadovaných 2 500 000 rostlinných druhů vyskytující se na Zemi se u 7 500 druhů vyskytuje C4 typ fotosyntézy (Sage, 2003). Typ fotosyntézy C4 umožňuje fixaci uhlíku při mnohem menší koncentraci oxidu uhličitého než typ fotosyntézy C3 (Gliessman, 2007). Obecně platí, že rostliny C4 jsou přibližně nasyceny CO<sub>2</sub> při koncentracích 200 až 250 ppm. Při zvyšování koncentrace CO<sub>2</sub> ve vzduchu nad tuto hodnotu rostliny C4 jen slabě zvyšují přírůstky hmoty. Reakce rostlin C4 na zvyšování koncentrace CO<sub>2</sub> je slabá, pokud se nedosáhne úpravy celého fotosyntetického procesu genetickými modifikacemi. K rostlinám C4 patří kukuřice, čirok, proso, cukrová třtina (Kutílek, 2008). U rostlin C4 je maxima intenzity fotosyntézy dosaženo až při teplotách okolo 30°C, ale maximální intenzita fotosyntézy u této skupiny rostlin je asi o 50 procent větší než u rostlin skupiny C3 (Kadrnožka, 2008). Při teplotě pod 10°C rychlost čisté fotosyntézy velmi rychle klesá. Optimum teplot je v rozmezí 25 až 40°C (Procházka, 1998). C4 rostliny využívají méně půdní vlhkosti. V teplých a suchých podmínkách mají vyšší intenzitu fotosyntézy a vyšší nárůst biomasy než rostliny C3 (Walker, 1992).

Závislosti rychlosti čisté fotosyntézy (P<sub>N</sub>) na koncentraci CO<sub>2</sub> patří mezi charakteristiky, jimiž se fyziologie fotosyntézy uvedených skupin rostlin nápadně liší. Výdej CO<sub>2</sub> při nulové koncentraci je jedním z měřítek rychlosti fotorespirace (Procházka, 1998). Rozdíl v reakci rychlosti čisté fotosyntézy C3 a C4 rostlin na zvýšenou koncentraci CO<sub>2</sub> může mít vliv také na druhové složení ekosystémů, protože budou zvýhodněny druhy C3, které nejsou nynější koncentrací CO<sub>2</sub> saturovány (Nátr, 1998). U rostlin skupiny C4 dochází k saturaci při přibližně polovičních koncentracích oxidu uhličitého. Kromě toho tyto závislosti platí jen při nepříliš vysokém slunečním toku. Při velkém slunečním toku, odpovídajícímu v našich podmínkách letnímu období v poledních hodinách, dochází k saturaci již při nižších

koncentracích oxidu uhličitého v ovzduší (Kadmožka, 2008). I když rozdíly v reakci rychlosti fotosyntézy a růstu rostlin jsou vyšší u rostlin C3, nejsou tyto rozdíly často tak velké jak se předpokládalo (Poorter, 1993). Vývoj klimatu právě neupřednostňuje rostliny C3 takto jednoznačně. Se změnami klimatu se zvyšuje teplota a rostliny C4 převyšují svou rychlostí fotosyntézy rostliny C3 hlavně při vyšších teplotách. Zvyšování teploty na Zemi tedy bude podporovat rostliny C4. Převaha jedné z obou skupin bude záviset na tom, jestli zvýhodnění rostlin C3 zvyšující se koncentrací CO<sub>2</sub> bude významnější než zvýhodnění rostlin C4 zvyšující se teplotou (Nátr, 2006). Při úrovni koncentrace oxidu uhličitého 370 až 380 ppm byla produkce biomasy, a tedy i hospodářského výnosu, u rostlin skupiny C3 vyšší o 30 až 40 procent při teplotě okolo 30°C, v porovnání s teplotou 5 až 10°C a naopak v porovnání s teplotou 35 až 40°C. U rostlin skupiny C4 byla tato produkce vyšší asi o 10 až 20 procent při teplotě v pásmu 12 až 25 °C proti produkci o teplotě okolo 5°C a naopak při teplotě okolo 30°C (Kadmožka, 2008).

## **2.6 Studované plevelné druhy**

### **2.6.1 Merlík bílý – *Chenopodium album* L.**

Merlík bílý je jednoletý pozdní jarní plevel patřící do čeledi merlíkovitých (*Chenopodiaceae*), (Jursík a kol., 2011). Pomoučená přímá nebo poléhavá bylina, zeleně nebo červeně proužkovaná. Listy střídavé, řapíkaté, delší než širší, zubaté až laločnaté, horní listy kopinaté, celokrajné (Mikulka a kol., 1999). První čtyři pravé listy jsou vstřícné, další již bývají střídavé. Listy jsou světle zelené až sivozelené, oboustranně výrazně žláznatě chlupaté, což vytváří dojem pomoučenosti (Jursík a kol., 2011). Nevýrazně vícehranná lodyha, vysoká 10 – 70 cm (Kazda a kol., 2010). Může však dorůstat výšky přes 2 metry (Hejný a Slavík, 1990). Větví se již odspodu a větve odstávají šikmo vzhůru. Květenství je koncový lichoklas až licholata složená z vícekvětvých, nahloučených stažených klubiček. Okvětní lístky jsou vejčité kopinaté, bíle lemované (Kazda a kol., 2010). Rostlina zakořeňuje větveným křovitým kořenem zasahujícím až do podorničních vrstev (Mikulka a Kneifelová, 2005).

Kvete od června do září. Je to velmi proměnlivý druh (Kohout, 1997). Semena merlíku jsou černá, lesklá se zbytky oplodí. Jedna rostlina vytvoří až 20 tisíc semen, která si dlouho uchovávají klíčivost (Mikulka a kol., 1999). Klíčivost si udržují v půdě velmi dlouhou dobu, i přes deset let (někteří autoři udávají až 40 let). Semena často zůstávají na rostlině i přes zimu. Po přezimování se klíčivost zvyšuje (Kazda a kol., 2010). Merlík je schopen klíčit již při teplotě 1°C, avšak většina semen klíčí v pozdním jaru. Rostliny vzházejí téměř po celou

vegetační dobu, velmi dobře ze semen z povrchu půdy z hloubky 1 – 2cm. Při příznivých vlhkostních podmínkách vzchází masově. Semena vypadávají do okolí mateřské rostliny, na další pozemky se šíří osivem, nevyzrálým chlévským hnojem, kompostem, zemědělskými stroji a endozoochorně (Mikulka a Kneifelová, 2005).

Původ merlíku bílého je nejistý. Předpokládá se, že jeho domovem je východní Evropa, nicméně někteří autoři dokladují jeho rozšíření v Severní Americe již před evropskou kolonizací v 15. a 16. století. Dnes je merlík bílý rozšířen po celém světě, převážně v mírném pásmu. Osidluje všechna ekologická stanoviště s výjimkou extrémně aridních oblastí, až do nadmořské výšky 3 600m. Jde o jeden z deseti nevýznamnějších plevelů světa (Jursík a kol., 2011). Jde tedy o kosmopolitní druh. V České republice je jedním z nejrozšířenějších plevelů na orné půdě (Kazda a kol., 2010). Rozšířen je po celém území, v nížinách i podhorských oblastech (Mikulka a kol., 1999). Dokáže se velmi dobře přizpůsobit stanovištním i klimatickým podmínkám (Mikulka a Kneifelová, 2005). Není náročný na půdní podmínky, ale na hnojení reaguje velmi pozitivně. Merlík je jedním z typických plevelů se širokou stanovištní amplitudou, což znamená, že je schopen růst a produkovat plody v širokém rozpětí podmínek stanoviště (Jursík a kol., 2011). Roste jak na živinami bohatých půdách, tak i na velmi chudých stanovištích, vysušných i přemokřených lokalitách, na všech typech půd. Na půdách hojně zásobených vodou a živinami vytváří mohutné rostliny, bohatě plodící, na suchých lokalitách naopak rostliny velmi nízkého habitu (Kazda a kol., 2010). Jako světlomilná rostlina potřebuje pro svůj růst dostatek světla, a proto zapleveluje převážně okopaniny (kukuřici, řepu cukrovou, brambory), zeleniny, zavlažované plodiny. Škodí však i v dalších plodinách, např. obilniny, zvláště prořídle, chmelnice, vinice a sady. Silně se přemnožuje na nezemědělské půdě, rumišťích, skládkách, stavebních plochách, na neudržovaných lokalitách, kompostech apod., odkud se dostávána zemědělskou půdu (Mikulka a Kneifelová, 2005).

Systém ochrany proti merlíku bílému musí být úplný. Od preventivních metod (čistota osiva, statkových hnojiv, podpora konkurenční schopnosti kulturních rostlin, pravidelné střídání plodin) po přímé hubení mechanické a chemické. Základem systému musí být zabránění dozrání rostlin (Kohout, 1997).

### 2.6.2 Laskavec ohnutý – *Amaranthus retroflexus* L.

Laskavec ohnutý je jednoletý, pozdně jarní plevel. Patří do čeledi laskavcovitých (*Amaranthaceae*). Rostliny dosahují výšky až 1 m. Lodyha je hustě chlupatá. Většinou vytváří silný křovitý kořen s četnými postranními kořeny. Jde o druh morfologicky variabilní. Listy jsou střídavé, dlouze řapíkaté, na okrajích mírně zvlněné (Jursík a kol., 2004). Květenství je nahloučený, přímý lichoklas, tvořený drobnými, jednopohlavními nebo dvoupohlavními, zelenými až bledými květy, sloučenými v květní klubička (Hron a Kohout, 1988). Barva lichoklasu je tmavě zelená až světle hnědá v době zralosti. Jednosemenné tobolky obsahují drobná, černá, čočkovitá semena. Ta mají hladký, silně lesklý povrch a jsou okrouhlá, kolem 1 mm v průměru (Holec a Soukup, 2001).

Laskavec ohnutý je nitrofilní druh. Vyskytuje se především na úrodnějších, středně těžkých až těžších půdách. Je tolerantní k mírnému zasolení půdy. K pH půdy je indiferentní. Je výrazně teplobytný (Jursík a kol., 2004).

Laskavec ohnutý kvete od června do října a vyznačuje se mimořádně vysokou tvorbou semen (Shanley a Lewis, 1969). Na jedné rostlině jich dozrává až několik tisíc (Hron a Kohout, 1988). V případě nedostatku prostoru a živin vytváří mohutné, bohatě větvené rostliny. Stačí tedy i malý počet rostlin k vytvoření bohaté perzistentní půdní zásoby, ze které může v následujících letech vzcházet i velké množství rostlin laskavce (Jursík a kol., 2004). Semena dozrávají postupně a snadno vypadávají z okvětí. Na velmi zaplevelených půdách (např. v okopaninách) může být na podzim v okolí rostliny laskavce půda doslova pokryta vrstvičkou černých semen. Vytrvalá semena mohou v půdě setrávat klíčivá několik let zvláště na méně úrodných půdách (Hron a Vodák, 1959). Mají tvrdé osemení, což do značné míry ovlivňuje jejich primární dormanci (Jursík a kol., 2004).

V půdě vydrží semena životná v závislosti na biologických pochodech (1 až 10 let), přestože podstatná část semen vyklíčí nebo ztrácí svou životnost v nejbližších třech letech (Hron a Kohout, 1988). Laskavec ohnutý vyžaduje pro klíčení relativně vysoké teploty. Minimální teplota pro klíčení semen se pohybuje okolo 10°C, ale výraznější klíčivost bývá až kolem 20°C. Optimální teplota je 25 – 35°C. Mezi klíčivostí semen, teplotou a světlem existuje úzký vztah. Jde o tzv. dvoufázové vzcházení laskavce (Jursík a kol., 2004).

Na jaře při poměrně nižších teplotách vzcházejí semena lépe, jsou-li zakryta půdou (ve tmě), avšak při vyšších teplotách klíčí semena na světle i ve tmě, tj. jak na povrchu půdy, tak i při zakrytí půdou (Hron a Vodák, 1959). Laskavec vzchází nejlépe z povrchu půdy (při teplotě nad 20°C, nebo z hloubky 20 mm. Maximální hloubka, ze které je laskavec schopný

vzejít je 40 mm, avšak pouze na lehčích půdách (Jursík a kol., 2004). Semena jsou kryta silným osemením, nedozrálá semena tak silná a proto klíčí lépe než vyzrálá (Deyl, 1964).

Laskavec ohnutý pochází ze Severní Ameriky, odkud se postupně rozšířil do teplejších a mírnějších oblastí všech kontinentů (Holm et al., 1991). Je nejrozšířenějším druhem laskavců na našem území (Holec a Soukup, 1998). Nejčastěji se vyskytuje zejména na úrodnějších půdách od nížin až do půdhuří. Je častý také na ruminištích, kompostech, úhorech a kolem cest (Hron a Kohout, 1988). Vzhledem k tomu, že semena klíčí pozdě na jaře, může se uplatnit nejlépe v plodinách, jež v době masového klíčení laskavce netvoří zapojený porost. Jsou to hlavně okopaniny, zeleniny a jiné širokořádkové plodiny, v nichž je velmi nebezpečným plevelem (Hron a Vodák, 1959).

Hojně se vyskytuje i v tzv. druhotném zaplevelení porostů po zeslábnutí reziduální účinků herbicidů a skončení kultivačních prací a také v meziporostním období (Kohout, 1997). V teplejších oblastech patří mezi nejškodlivější plevele okopanin a s postupným rozšiřováním pěstování cukrovky a hlavně kukuřice do vyšších poloh proniká na další plochy orné půdy. Nebezpečným plevelem je také v porostech jahodníku, v intenzivních sadech s kultivací meziřadí a na vinicích (Jursík a kol., 2004). Škodí nejen přímo (odebíráním živin, ztěžováním sklizně, zastiňováním), ale i nepřímo díky přenášení chorob, zvláště virových (Hron a Kohout, 1988).

Laskavec ohnutý je expanzivní druh řazený mezi nejhorší světové plevele. Na území ČR se stále intenzivně šíří. K zamezení šíření druhu v polních kulturách je třeba používat jen dokonale čištěného osiva. Při silnějším výskytu je vhodné využívat herbicidy. Na triazinové herbicidy však vzniká rezistence (Mlíkovský a Stýblo, 2006). Především je třeba předcházet výskytu laskavců v porostech i na plochách, odkud se mohou šířit na ornou půdu (zejména na kompostech či v okolí hnojišť), (Mikulka a kol., 1999).

Semena laskavců se mohou šířit i endozoochorně (část jich projde zaživacím traktem živočichů bez poškození), (Jursík a kol., 2004). Na zaplevelených půdách je nutno hubit mladé rostlinky laskavce nejen mezi řádky, ale též v řádcích, neboť nebezpečí velkého zaplevelení jsou právě rostlinky zbylé v řádcích mezi kulturními rostlinami. V každém případě má být zabráněno dozrávání a vypadávání semen laskavce včasným vypletím nebo pokosením rostlin, které často převyšují plodiny (Hron a Vodák, 1959).

## 2.7 Klimatické scénáře

V závislosti na představách o vývoji spotřeby primárních energetických zdrojů v příštím období a jejich pokrývání fosilními palivy jsou vytvářeny prognózy růstu koncentrace skleníkových plynů v budoucnosti (Kadrnožka, 2008). Většina vědeckých studií odhadu budoucího stavu klimatu je založena na prognóze vývoje emisí skleníkových plynů. Lze tak konstruovat scénáře koncentrací skleníkových plynů, které slouží jako vstupy do tzv. Globálních cirkulačních modelů (GCM). Ty si můžeme představit jako řadu matematických rovnic popisujících komplexní procesy v atmosféře. Výstupem jsou hodnoty meteorologických prvků pro různá časová období. Standardně se pracuje s rokem 2025, 2050, 2075 a 2100 (Žalud, 2009).

Klimatický scénář je přijatelný popis klimatu při zahrnutí předpokládaných důsledků antropogenních vlivů. Představuje rozdíl mezi současným stavem (např. období 1961 – 1990) a budoucím modelovým klimatem pro určitý časový horizont, které může za určitých předpokládaných okolností nastat. Projekce klimatu je odezva klimatického systému na určitý scénář emisí skleníkových plynů a aerosolů stanovená klimatickými modely (ČHMÚ, 2008).

### 2.7.1 Emisní scénáře SRES

Jedním ze základních mezinárodně jednotných a uznávaných předpokladů jsou tzv. emisní scénáře SRES, které byly zveřejněny v roce 2000 a v současné době probíhá jejich aktualizace. Jde o odhady budoucího vývoje emisí skleníkových plynů, platný za předpokladu určitého ekonomického, energetického, demografického, technologického, ale i politického vývoje světa (Pretel, 2012). Tyto scénáře nelze chápat přímo jako předpovědi dalšího vývoje, spíše jako eventuality. Spektrum těchto scénářů by mělo pokrývat všechny reálné možnosti dalšího vývoje, od pesimistických až k optimistickým (Metelka a Tolasz, 2009).

Scénář A1 popisuje svět s velmi rychlým růstem ekonomiky a vývojem nových technologií. Populace roste do roku 2050. Tato skupina se dělí na 3 podskupiny dle převažujícího zdroje energie: A1FI – fosilní paliva (intenzivní využívání fosilních paliv), A1T – bez fosilní paliv a A1B – rovnováha ve využívání všech paliv. Ve scénáři A2 populace poroste až do roku 2100. Veškerá opatření jsou činěna na úrovni regionů. Ekonomika roste pomaleji v porovnání se scénářem A1. Scénář B1 popisuje svět s širokou spoluprací. Populace roste do roku 2050 a následně začíná klesat. Rychlý rozvoj informatiky, služeb a nových technologií. Středně rychlý růst ekonomiky. Scénář B2 – budoucnost s orientací na regionální



řešení a trvale udržitelný rozvoj. Nárůst populace nižší než v A2 a ekonomický pokrok pomalejší než v A1 a B1 (Tab. 1), (ČHMÚ, 2008).

Tab.1: Schematický popis emisních scénářů IPCC

scénář	stručný popis
A1	rychlý růst ekonomiky a vývoj nových technologií
A1FI	intenzivní využívání fosilních paliv
A1T	bez fosilních paliv
A1B	vyvážené využívání všech zdrojů energie
A2	heterogenní svět, silný populační nárůst, přetrvávající regionální ekonomické rozdíly
B1	postupující globalizace, rychlý rozvoj informačních technologií, služeb, zavádění nových technologií
B2	důraz na udržitelný rozvoj, podpora regionálních ekonomik, různorodost technologických změn

Zdroj: IPCC – SRES

Koncentrace CO<sub>2</sub> v ovzduší bude stoupat největším tempem podle scénáře A1FI. Druhou největší hodnotu koncentrace emisí CO<sub>2</sub> v roce 2100 dosáhne svět vyvíjející se podle scénáře A2. Koncentrace CO<sub>2</sub> podle scénářů A1T a B1 vykazují klesající tempo růstu. Scénář B2 je charakteristický zpočátku nejnižšími hodnotami koncentrace CO<sub>2</sub>, ale následným nárůstem koncentrací CO<sub>2</sub> (Metelka a Tolasz, 2009). Do konce století (2100) se koncentrace CO<sub>2</sub> zvýší na 540 (scénář B1) až 970 ppm (scénář A1FI). Vztaheno k roku 1750 a koncentraci 280 ppm to představuje zvýšení 90 až 250% (IPCC, 2007).

Předpokládaný vývoj koncentrací skleníkových plynů podle vybraného SRES scénáře lze pak zadat do klimatického modelu, model na základě toho odhadne předpokládané budoucí změny klimatu. Vzájemné rozdíly mezi modelovými výstupy pro různé scénáře SRES a pro závěr 21. století jsou poměrně velké. Ukazuje to, že vývoj teplot ve druhé polovině 21. století pravděpodobně bude poměrně silně závislý na tom, jak se budou vyvíjet emise (a následně i koncentrace) skleníkových plynů. Oproti tomu pro první polovinu 21. století jsou rozdíly mezi scénáři vývoje teplot podstatně menší. Porovnáme-li např. jeden z vyšších scénářů (A2) se středním (A1B) a nízkým (B1), zjistíme, že k roku 2020 se vzájemné rozdíly mezi nimi pohybují jen v setinách °C, kolem roku 2050 je to však již kolem 0,5°C a ke konci století už kolem 1,5°C (Pretel, 2012).

## 2.8 Předpokládané změny klimatu

Dle nových odhadů se předpokládá, že velikost změny teploty do konce 21. století bude v rozpětí 1,1 až 6,4°C, což jsou hodnoty ve větším rozpětí, než uváděli odhady z roku 2001 (nárůst o 1,4 až 5,8°C). Modelové experimenty ukazují, že i kdyby všechny faktory radiačního působení zůstaly na konstantní úrovni roku 2000, došlo by v následujících dvou desetiletích k dalšímu k dalšímu oteplování v globálním měřítku rychlostí zhruba 0,1°C za desetiletí (zejména kvůli pomalé odezvě oceánů). Pokud by se emise pohybovaly v rozsahu scénářů SRES, dalo by se očekávat ve stejném období zhruba dvojnásobné oteplení (0,2°C za desetiletí). Modelové projekce naznačují, že průměrné tempo globálního nárůstu teploty do roku 2030 prakticky nezávisí na volbě scénáře SRES a případné odchylky mezi jednotlivými scénáři i mezi různými částmi planety se pohybují v rámci přesnosti modelových odhadů.

Předpokládaný nárůst teploty do konce 21. století vykazuje prostorové rozložení nezávislé na scénářích podobné tomu, které bylo pozorováno v průběhu několika posledních desetiletí. Největší oteplení se očekává nad pevninou a ve vyšších severních zeměpisných šířkách, nejnižší v oblastech jižních oceánů a částí severního Atlantického oceánu (ČHMÚ, 2008).

Přizpůsobení zemědělských produktů se změně klimatu vyžaduje informace o budoucích rizicích. Jedním z rizik pro systémy obdělávání půdy je možnost rozšíření plevelných druhů na orné půdě (Patterson, 1995). Změny klimatu probíhají poměrně pomalu, přesto se projevují i na změnách ve vegetaci a tedy i v druhovém zastoupení plevelných rostlin na jednotlivých stanovištích (Mikulka a kol., 2010). Tyto změny by mohly usnadnit zakládání plevelných populací a tudíž rozšíření jednotlivých plevelných druhů do nových klimatických zón (Hyvönen, 2012).

V důsledku globálního oteplování se zvyšuje teplota na celé zemi. To přináší mnohé změny v rostlinných a živočišných společenstvech. Organismy musí na tyto přeměny určitým způsobem reagovat. Buď zaniknou nebo se změnám přizpůsobí. Rostliny žijící původně v teplých krajích tak dostávají možnost expandovat do dalších lokalit a postupují směrem na sever, na místa pro ně v minulosti nevhodná. V posledních dvaceti letech můžeme pozorovat poměrně rychlé šíření některých teplomilných plevelů z nížin až do podhorských oblastí. Například ježatka kuří noha, béry, laskavec ohnutý, laskavec zelenoklasý, lilek černý, durman obecný a celá řada dalších (Mikulka a kol., 2010).

## **3 Hypotézy a cíle**

### **3.1 Hypotéza**

- a) Teplota a koncentrace CO<sub>2</sub> mají vliv na hodnoty fotosyntézy a to i v závislosti na původu lokální populace.
  
- b) Existuje rozdíl v hodnotách fotosyntézy v závislosti na zkoumaných emisních scénářích.

### **3.2 Cíl práce**

V souvislosti s rostoucí teplotou vzduchu a koncentrací CO<sub>2</sub> v atmosféře je předmětem řady studií dopad těchto změn na jednotlivé skupiny organismů. Cílem diplomové práce bude zhodnocení vlivu rozdílných teplot a koncentrace CO<sub>2</sub> na vybrané fyziologické charakteristiky modelových druhů polních plevelů.

## 4 Metodika

Laboratorní experiment byl proveden se dvěma plevelnými druhy ze skupin C3 a C4 rostlin. Jednalo se o merlík bílý (*Chenopodium album*) a laskavec ohnutý (*Amaranthus retroflexus*). Semena pro experiment pocházela ze dvou lokalit s různou nadmořskou výškou. Na konci vegetační sezony 2012 proběhl sběr semen daných plevelných druhů na dvou lokalitách s rozdílnou nadmořskou výškou. Jednalo se o lokality Břežany (240 m.n.m.) a Dobrá Voda (u Pacova) (624 m.n.m.). Tato semena byla následně použita při laboratorním experimentu ověřování vlivu původu lokální populace, rozdílných teplot a koncentrace CO<sub>2</sub> na fotosyntetické charakteristiky rostlin.

### 4.1 Rostlinný materiál

#### C3 plevel:

Merlík bílý (*Chenopodium album* L.)

Jedná se o jednoletý jarní plevel patřící do čeledi merlíkovitých (*Chenopodiaceae*). Merlík bílý má nevýrazně vícehrannou lodyhu. Může dorůst výšky až přes dva metry. Rostlina zakořeňuje větveným křovitým kořenem, který zasahuje až do podorničních vrstev. Kvete od června do září. Jedna rostlina je schopna vytvořit až 20 tisíc semen. Merlík bílý je jedním z nejrozšířenějších plevelů na orné půdě v České republice. Je rozšířen po celém území, v nížinách i v podhorských oblastech. Merlík je jedním z typických plevelů se širokou stanovištní amplitudou.

#### C4 plevel:

Laskavec ohnutý (*Amaranthus retroflexus* L.)

Jde o jednoletý, pozdně jarní plevel. Patří do čeledi laskavcovitých (*Amaranthaceae*). Vytváří silný křovitý kořen s četnými postranními kořeny. Lodyha laskavce je hustě chlupatá. Jednotlivé rostliny mohou dosahovat výšky až 1m. Kvete od června do října. Až několik tisíc semen dozrává na jedné rostlině. Laskavec ohnutý je nejrozšířenějším druhem laskavců na našem území. Je to expanzivní druh a je řazený mezi nejhorší světové plevele.

### 4.2 Charakteristika sledovaných lokalit

V tabulce 2 je uvedena klimatická charakteristika lokalit, ze kterých pocházela semena použitá v rámci laboratorního experimentu.

Tab.2: Klimatická charakteristika lokalit, ze kterých pocházela semena vybraných plevelů  
Data za rok 1961–1990 (dlouhodobý průměr)

Lokalita	Zeměpisná délka, N	Zeměpisná šířka, E	Nadmořská výška, m n. m.	Průměrná roční teplota, °C	Průměrný roční úhrn srážek, mm
Břežany I	15° 04'	50° 02'	240	8,5	616,8
Dobrá Voda (u Pacova)	15° 01'	49° 23'	624	5,7	761,5

### **Břežany**

Tato lokalita leží ve Středočeském kraji v okrese Kolín, 9 km západně od Kolína. Podle Quittovy klasifikace se jedná o klimatickou oblast teplou (T2). Tato oblast je charakteristická 160 – 170 dny s teplotou vyšší než 10°C, 90 – 100 dní se srážkami nad 1 mm, sumu srážek za vegetační období 350 – 400 mm. Průměrná lednová teplota je -2 až -3 °C, červencová 18 – 19°C, dubnová 8 – 9°C a říjnová 7 – 9°C (Dziková a kol., 2007).

### **Dobrá Voda (u Pacova)**

Lokalita se nachází v kraji Vysočina v okrese Pelhřimov. Podle Quittovy klasifikace jde o klimatickou oblast mírně teplou (MT4). Tato oblast je charakteristická 140 – 160 dny s teplotou vyšší než 10°C, 110 – 120 dní se srážkami nad 1 mm srážek, sumou srážek za vegetační období 350 – 450 mm. Průměrná lednová teplota je -2 až -3°C, červencová 16 – 17°C, dubnová 6 – 7°C a říjnová 6 – 7°C (Dziková a kol., 2007).

## **4.3 Laboratorní experimenty**

Semena vybraných druhů pocházejících ze dvou lokalit byla vyseta do plastových nádob o rozměrech 130 x 130 x 130 mm. Pro výsev byl použit běžný substrát s příměsí jílu. Rostliny byly pěstovány v klimaboxu při světelném režimu světlo/tma (12/12 hod.) při teplotě 20°C. U rostlin byla pravidelná zálaha (1x za dva dny).

Experiment je založen na prognóze vývoje emisí skleníkových plynů. Emisní scénář pesimistický indikuje výrazně zvýšenou koncentraci oxidu uhličitého (535 ppm), zatímco tzv.

optimistický scénář počítá jen s nárůstem mírným (467 ppm) a tedy podstatně nižším zvýšením teploty (Žalud, 2009). Průběh laboratorních experimentů je znázorněn v tabulce 3:

Tab.3: Režim laboratorních experimentů

Teplota (°C)	5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40
Koncentrace CO <sub>2</sub> (ppm)	200, 385, 467, 500, 535, 750, 1000, 1500
Světelný režim	Světlo

- 385 ppm – současná koncentrace CO<sub>2</sub> v atmosféře
- 467ppm – emisní scénář optimistický B1
- 535ppm – emisní scénář pesimistický A2

#### 4.3.1 Vlastní měření

Pro měření byly použity rostliny laskavce ohnutého a merlíku bílého z důvodu jejich větší listové plochy, která je nutná pro měření fotosyntézy. Zkoumaná rostlina byla umístěna do klimaboxu s danou teplotou (Tab. 3). Měření probíhalo vždy v kombinaci všech teplot a koncentrací CO<sub>2</sub>. Koncentrace CO<sub>2</sub> byla simulována pomocí přístroje CIRAS2, ve kterém je umístěna bombička s CO<sub>2</sub>. Přístroj rovněž zaznamenává a ukládá vybrané fyziologické charakteristiky.

U rostlin bylo prováděno měření rychlosti čisté fotosyntézy ( $P_N$ ), vodivost průduchů (GS) a následně výpočet využití vody (WUE). Rychlost čisté fotosyntézy ( $P_N$ ) je vyjadřována jako hustota toku CO<sub>2</sub> na jednotku plochy listu za čas ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ). Vodivost průduchů (GS) je mírou dostupnosti CO<sub>2</sub> pro biochemický a fotochemický aparát fotosyntézy ( $\text{mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ). Reguluje tedy tok CO<sub>2</sub> do rostliny právě podle jeho koncentrace uvnitř listu (Procházka, 1998). Efektivita využití vody (water use efficiency - WUE) z agronomického hlediska vyjadřuje spotřebované množství rostlinou na jednotku vyprodukované biomasy. Odrůdové rozdíly ve WUE se projevují na úrovni fyziologické efektivnosti využití vody, která odpovídá množství transpirované vody na jednotku čisté fotosyntézy (Haberle, 2008).

Pro měření bylo použito gazometrické metody. Tyto metody umožňují měření rychlosti výměny plynů mezi listem a okolní atmosférou. Principem této metody je změna absorpce v infračervené oblasti v závislosti na obsahu oxidu uhličitého a vodní páry.

Příjem resp. výdej CO<sub>2</sub> asimilujícím pletivem se projeví změnou koncentrace CO<sub>2</sub> v atmosféře obklopující měřený objekt. Změna koncentrace je měřena pomocí infračerveného analyzátoru (IRGA). Aby bylo možno stanovit tuto změnu, je nutno umístit asimilující objekt do tzv. „asimilační komory“ neboli listové kyvety. Ta je vzduchotěsně a elektronicky spojena s IRGA. Na listovou kyvetu se připevňuje zdroj fotosynteticky aktivní radiace.

Pro stanovení hodnot čisté fotosyntézy (P<sub>N</sub>) byl použit přístroj CIRAS2 společnosti PP SYSTEM, osazený univerzální listovou kyvetou PLC6 (U) Rice s teplotním čidlem, která umožňuje měření na listech s menší listovou plochou (1,70 cm<sup>2</sup>).

Při měření přístrojem CIRAS2 bylo použito nastavení automatického ukládání změřených hodnot. V přístroji byl nastaven program s automatickou změnou koncentrace CO<sub>2</sub>. Po ustálení hodnoty koncentrace CO<sub>2</sub> a adaptaci rostliny na změnu koncentrace byla naměřená data automaticky ukládána vždy po jedné minutě. Po zaznamenání hodnot pro různé koncentrace CO<sub>2</sub> byla změněna teplota v klimaboxu a celé měření se opakovalo. Měření bylo provedeno vždy ve třech opakováních (na třech rostlinách daného druhu) pro každou teplotu a hodnotu oxidu uhličitého.

CIRAS2 systém je schopný provádět měření výměny plynů. Při měření systémem CIRAS2 jsou zaznamenávány následující parametry:

Cr – referenční CO<sub>2</sub> (vstupní, ppm)

Hr – referenční H<sub>2</sub>O (vstupní, mb nebo %)

Ap – atmosférický tlak (mb)

Cd – diferenční CO<sub>2</sub> (výstupní, ppm)

Hd – diferenční H<sub>2</sub>O (výstupní, mb nebo %)

rH – relativní vlhkost (% , vypočtená)

Tc – teplota v kyvetě (°C)

Z těchto parametru je automaticky vypočtena:

P<sub>N</sub> – rychlost čisté fotosyntézy (μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>)

Ci – vnitřní koncentrace CO<sub>2</sub> (ppm)

GS – vodivost průduchů (mmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>)

E – rychlost transpirace (mmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>)

Vpd – deficit tlaku páry (mb)

Bombička s CO<sub>2</sub> umožňuje nastavení zvolené koncentrace CO<sub>2</sub>. Měření jsou prováděna na části listu o velikosti 1,70 cm<sup>2</sup>.

Před započítáním vlastního měření musí být zkontrolována stabilita hodnot - Cr (cca 375 ppm), Hr (stabilní +/-0,2 mb), Cd a Hd (blíží se 0 ppm), Tc (rovna okolní teplotě), Tl (blíží se Tc) a Q (cca 1000  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) – v uzavřené kyvetě bez listu.

Do listové kyvety se vkládá list, který je osvětlen LED zdrojem o intenzitě  $Q=1000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , která je doporučována pro C4 rostliny, pro C3 rostliny byla světelná intenzita  $Q=500 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . Po ustálení hodnot  $P_N$ , GS, E, Ci a Vpd přístroj získaná data zaznamená. Pro zaznamenání hodnot je použita metoda automatického ukládání.

Tato metoda byla uznána jako nejvhodnější pro tento typ experimentů (PP System, 2010). Měřeními jsou zjišťovány rozdíly mezi jednotlivými fotosyntetickými typy a případně i mezi lokálními populacemi pocházejícími z různých geografických oblastí, které poskytnou informaci o potenciálu uplatnit se konkurenčně za specifických podmínek změny klimatu.

#### 4.4 Zpracování dat

Pro statistické vyhodnocení bylo použito programu Statistica ver. 9. Pro vyhodnocení získaných výsledků byla použita analýza rozptylu ANOVA, Tuckeyho test na hladině významnosti  $\alpha 0,05$ . Pomocí statistické analýzy bylo zjišťováno, zda existuje průkazný rozdíl mezi hodnotou rychlosti čisté fotosyntézy ( $P_N$ ) v závislosti na koncentraci  $\text{CO}_2$ . Dále pak byl vyhodnocen rozdíl mezi lokalitami. Získaná data  $P_N$ , GS a WUE byla rovněž graficky zpracována. Pro výpočet hodnoty WUE posloužil následující vzorec (Lösh, 2001):

$$\text{WUE} = \frac{P_N}{E}$$

E – rychlost transpirace ( $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )

$P_N$  – rychlost čisté fotosyntézy ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )



## 5 VÝSLEDKY

### 5.1 Stanovení rychlosti čisté fotosyntézy ( $P_N$ )

#### 5.1.1 *Chenopodium album* – lokalita Dobrá Voda

Tab.4: Rychlost čisté fotosyntézy ( $P_N$ ) při teplotě 5°C ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) – Merlík bílý (*Chenopodium album*), (ANOVA, Tukey,  $\alpha = 0,05$ )

č. buňky	CO <sub>2</sub> (ppm)	5°C průměr	1
1	200	0,994444	A
3	467	2,311111	B
2	385	2,366667	B
4	500	2,711111	B C
5	535	3,200000	B C D
6	750	3,400000	C D
7	1000	3,994444	D E
8	1500	4,316667	E

Tab.5: Rychlost čisté fotosyntézy ( $P_N$ ) při teplotě 20°C ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) – Merlík bílý (*Chenopodium album*), (ANOVA, Tukey,  $\alpha = 0,05$ )

č. buňky	CO <sub>2</sub> (ppm)	20°C průměr	1
1	200	3,93333	A
2	385	8,13333	B
3	467	9,08333	B C
4	500	9,53333	B C
5	535	9,86111	B C D
7	1000	11,67222	C D
6	750	12,22778	D
8	1500	12,41111	D

Tab.6: Rychlost čisté fotosyntézy ( $P_N$ ) při teplotě 40°C ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) – Merlík bílý (*Chenopodium album*), (ANOVA, Tukey,  $\alpha = 0,05$ )

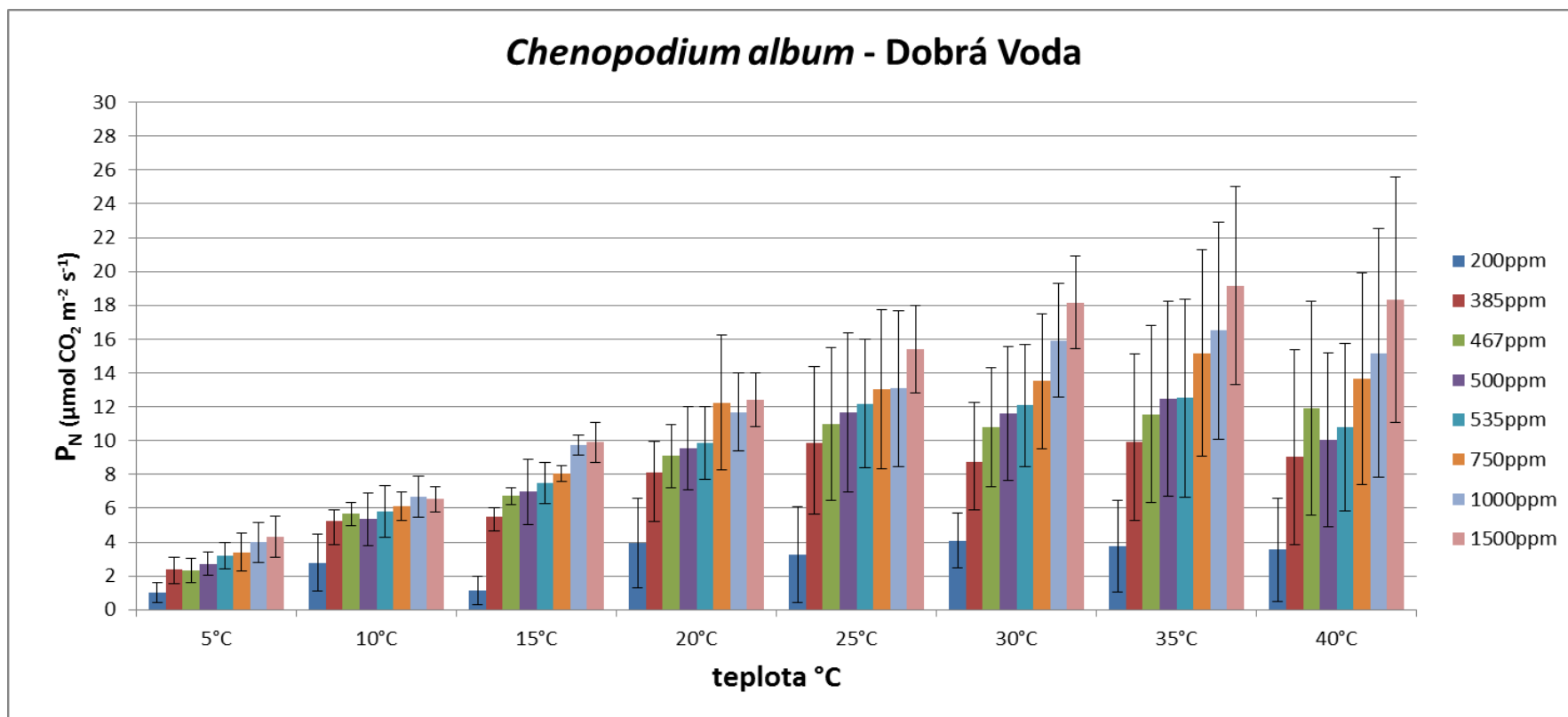
č. buňky	CO <sub>2</sub> (ppm)	40°C průměr	1
1	200	3,53889	A
2	385	9,06111	A B
4	500	10,04444	B C
5	535	10,78333	B C
3	467	11,91667	B C
6	750	13,67222	B C D
7	1000	15,18333	C D
8	1500	18,31667	D

V tabulce 4 jsou uvedeny průměrné hodnoty rychlosti čisté fotosyntézy ( $P_N$ ) u rostlin *Chenopodium album* z lokality Dobrá Voda. Data jsou vyhodnocena pro koncentrace CO<sub>2</sub> od 200 do 1500 ppm při teplotě 5°C. Při sledování vzniklo pět homogenních skupin, které označujeme písmeny A – E. Nejvyšší rychlost čisté fotosyntézy byla zjištěna u koncentrace CO<sub>2</sub> 1500 ppm. Naopak nejmenší při koncentraci CO<sub>2</sub> 200 ppm. Mezi hodnotami  $P_N$  pro klimatické scénáře (467 a 535 ppm) nebyl prokázán statisticky průkazný rozdíl.

Při teplotě 20°C stanovení rychlosti čisté fotosyntézy ( $P_N$ ) u *Chenopodium album* z lokality Dobrá Voda byly zjištěny rozdíly mezi jednotlivými koncentracemi CO<sub>2</sub>. Hodnoty zjištěné rychlosti čisté fotosyntézy dokumentuje tabulka 5. Zde byl zaznamenán vznik čtyř homogenních skupin od A až D. Rozdíl v rychlosti čisté fotosyntézy v hodnotě koncentrace CO<sub>2</sub> pro klimatické scénáře (467 a 535 ppm) nebyl průkazný.

Dále byla u *Chenopodium album* statisticky vyhodnocena hodnota rychlosti čisté fotosyntézy ( $P_N$ ) při teplotě 40°C. Zjištěné hodnoty jsou uvedeny v tabulce 6. Zde byly výsledky taktéž rozřazeny do čtyř homogenních skupin (A – D). Mezi hodnotami  $P_N$  pro klimatické scénáře nebyl prokázán statisticky průkazný rozdíl.

Graf 1 znázorňuje rychlost čisté fotosyntézy u sledovaného druhu *Chenopodium album*. Z grafu je patrné, že s rostoucí teplotou a zvyšující se koncentrací CO<sub>2</sub> roste rychlost fotosyntézy. Při nízké koncentraci CO<sub>2</sub> (200 ppm) je rychlost čisté fotosyntézy ( $P_N$ ) nízká, a to i při vysokých teplotách (40°C). Naopak při vysoké koncentraci CO<sub>2</sub> (1500 ppm) se rychlost fotosyntézy s rostoucí teplotou (30 – 40°C) značně zvyšuje.



Graf 1: Rychlost čisté fotosyntézy ( $P_N$ ) - lokalita Dobrá Voda – *Chenopodium album*

### 5.1.2 *Chenopodium album* – lokalita Břežany

Tab.7: Rychlost čisté fotosyntézy ( $P_N$ ) při teplotě 5°C ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) – Merlík bílý (*Chenopodium album*), (ANOVA, Tukey,  $\alpha = 0,05$ )

č. buňky	CO2 (ppm)	5°C průměr	1
1	200	1,388889	A
3	467	2,461111	B
2	385	2,716667	B C
4	500	2,794444	B C
5	535	3,216667	C D
6	750	3,727778	D
7	1000	4,550000	E
8	1500	5,300000	F

Tab.8: Rychlost čisté fotosyntézy ( $P_N$ ) při teplotě 20°C ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) – Merlík bílý (*Chenopodium album*), (ANOVA, Tukey,  $\alpha = 0,05$ )

č. buňky	CO2 (ppm)	20°C průměr	1
1	200	4,833333	A
2	385	9,144444	B
4	500	9,433333	B
5	535	10,761111	B C
3	467	10,811111	B C
7	1000	11,361111	B C
8	1500	12,233333	C
6	750	12,672222	C

Tab.9: Rychlost čisté fotosyntézy ( $P_N$ ) při teplotě 40°C ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) – Merlík bílý (*Chenopodium album*), (ANOVA, Tukey,  $\alpha = 0,05$ )

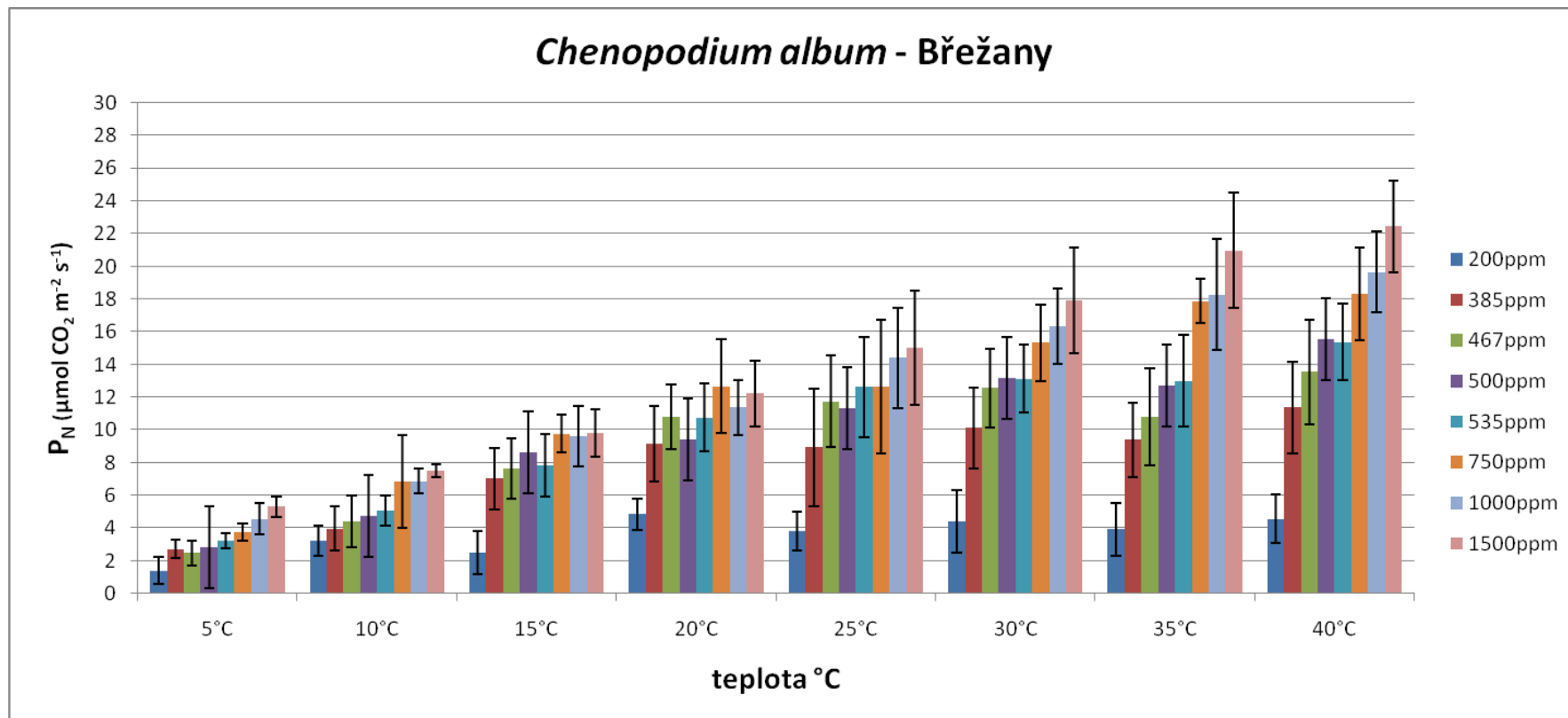
č. buňky	CO2 (ppm)	40°C průměr	1
1	200	4,550000	A
2	385	11,372222	B
3	467	13,538889	B C
5	535	15,355556	C
4	500	15,555556	C
6	750	18,305556	D
7	1000	19,655556	D
8	1500	22,444444	E

Při teplotě 5°C vzniklo šest homogenních skupin označovaných písmeny A - F. Tuto skutečnost dokumentuje tabulka 7. Mezi hodnotami rychlosti čisté fotosyntézy ( $P_N$ ) pro klimatické scénáře (467 a 535 ppm) byl statisticky průkazný rozdíl.

V tabulce 8 jsou uvedeny průměrné hodnoty rychlosti čisté fotosyntézy ( $P_N$ ) u rostlin *Chenopodium album* z lokality Břežany. Při sledování vznikly tři homogenní skupiny (A – C). Data byla vyhodnocena při teplotě 20°C. Mezi hodnotami  $P_N$  pro klimatické scénáře (467 a 535 ppm) nebyl prokázán statisticky průkazný rozdíl.

Tabulka 9 dokládá při sledování rychlosti čisté fotosyntézy ( $P_N$ ) vznik pěti homogenních skupin (A – E). Toto sledování a statistické vyhodnocení probíhalo při teplotě 40°C. Rozdíl mezi hodnotami  $P_N$  pro klimatické scénáře nebyl prokázán.

Graf 2 dokumentuje rychlost čisté fotosyntézy ( $P_N$ ) u druhu *Chenopodium album* z lokality Břežany. Z grafu je patrné, že rychlost fotosyntézy u sledovaných rostlin s rostoucí teplotou a koncentrací CO<sub>2</sub> stoupá. Při vysoké koncentraci (1500 ppm) rychlost čisté fotosyntézy ( $P_N$ ) se s rostoucí teplotou zvyšuje. Naopak při nízké koncentraci CO<sub>2</sub> (200 ppm) je rychlost čisté fotosyntézy ( $P_N$ ) nízká, a to i při vysokých teplotách (40°C).



Graf 2: Rychlost čisté fotosyntézy ( $P_N$ ) – lokalita Břežany – *Chenopodium album*

### 5.1.3 *Chenopodium album* – rozdíl mezi lokalitami (Dobrá Voda – Břežany) – koncentrace CO<sub>2</sub> 200 ppm

Tab.10: Rychlost čisté fotosyntézy ( $P_N$ ) při teplotě 5°C ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) – Merlík bílý (*Chenopodium album*), (ANOVA, Tukey,  $\alpha = 0,05$ )

č. buňky	lokalita	5°C průměr	1
1	Dobrá Voda	0,994444	A
2	Břežany	1,388889	A

Tab.11: Rychlost čisté fotosyntézy ( $P_N$ ) při teplotě 20°C ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) – Merlík bílý (*Chenopodium album*), (ANOVA, Tukey,  $\alpha = 0,05$ )

č. buňky	lokalita	20°C průměr	1
1	Dobrá Voda	3,933333	A
2	Břežany	4,833333	A

Tab.12: Rychlost čisté fotosyntézy ( $P_N$ ) při teplotě 40°C ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) – Merlík bílý (*Chenopodium album*), (ANOVA, Tukey,  $\alpha = 0,05$ )

č. buňky	lokalita	40°C průměr	1
1	Dobrá Voda	3,538889	A
2	Břežany	4,550000	A

Mezi zjištěnými hodnotami rychlosti čisté fotosyntézy ( $P_N$ ) při teplotě 5°C nebyl prokázán statisticky průkazný rozdíl. Zjištěné hodnoty jsou uvedeny v tabulce 10.

V tabulce 11 jsou uvedeny zjištěné hodnoty  $P_N$  při teplotě 20°C z lokalit Dobrá Voda a Břežany. Mezi těmito lokalitami při koncentraci CO<sub>2</sub> 200 ppm nebyl prokázán statisticky průkazný rozdíl.

Rozdíl v rychlosti čisté fotosyntézy v hodnotě koncentrace CO<sub>2</sub> 200 ppm v lokalitách Dobrá Voda a Břežany při teplotě 40°C nebyl průkazný. Zjištěné hodnoty dokumentuje tabulka 12.

#### 5.1.4 *Chenopodium album* – rozdíl mezi lokalitami (Dobrá Voda – Břežany) – koncentrace CO<sub>2</sub> 467 ppm

Tab.13: Rychlost čisté fotosyntézy ( $P_N$ ) při teplotě 5°C ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) – Merlík bílý (*Chenopodium album*), (ANOVA, Tukey,  $\alpha = 0,05$ )

č. buňky	lokalita	5°C průměr	1
1	Dobrá Voda	2,311111	A
2	Břežany	2,461111	A

Tab.14: Rychlost čisté fotosyntézy ( $P_N$ ) při teplotě 20°C ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) – Merlík bílý (*Chenopodium album*), (ANOVA, Tukey,  $\alpha = 0,05$ )

č. buňky	lokalita	20°C průměr	1
1	Dobrá Voda	9,08333	A
2	Břežany	10,81111	B

Tab.15: Rychlost čisté fotosyntézy ( $P_N$ ) při teplotě 40°C ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) – Merlík bílý (*Chenopodium album*), (ANOVA, Tukey,  $\alpha = 0,05$ )

č. buňky	lokalita	40°C průměr	1
1	Dobrá Voda	11,91667	A
2	Břežany	13,53889	A

V tabulce 13 byly zaznamenány hodnoty rychlosti čisté fotosyntézy ( $P_N$ ) u druhu *Chenopodium album* při teplotě 5°C. Statisticky průkazný rozdíl mezi jednotlivými lokalitami nebyl při této teplotě a koncentraci CO<sub>2</sub> (467 ppm) prokázán.

Zjištěné hodnoty rychlosti čisté fotosyntézy u druhu *Chenopodium album* při teplotě 20°C dokumentuje tabulka 14. Zde, mezi lokalitou Dobrá Voda a lokalitou Břežany, byl statisticky průkazný rozdíl.

Mezi zjištěnými hodnotami rychlosti čisté fotosyntézy ( $P_N$ ) při teplotě 40°C nebyl statisticky průkazný rozdíl. Zjištěné hodnoty jsou uvedeny v tabulce 15.



### 5.1.5 *Chenopodium album* – rozdíl mezi lokalitami (Dobrá Voda – Břežany) – koncentrace CO<sub>2</sub> 535 ppm

Tab.16: Rychlost čisté fotosyntézy ( $P_N$ ) při teplotě 5°C ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) – Merlík bílý (*Chenopodium album*), (ANOVA, Tukey,  $\alpha = 0,05$ )

č. buňky	lokalita	5°C průměr	1
1	Dobrá Voda	3,200000	A
2	Břežany	3,216667	A

Tab.17: Rychlost čisté fotosyntézy ( $P_N$ ) při teplotě 20°C ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) – Merlík bílý (*Chenopodium album*), (ANOVA, Tukey,  $\alpha = 0,05$ )

č. buňky	lokalita	20°C průměr	1
1	Dobrá Voda	9,86111	A
2	Břežany	10,76111	A

Tab.18: Rychlost čisté fotosyntézy ( $P_N$ ) při teplotě 40°C ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) – Merlík bílý (*Chenopodium album*), (ANOVA, Tukey,  $\alpha = 0,05$ )

č. buňky	lokalita	40°C průměr	1
1	Dobrá Voda	10,78333	A
2	Břežany	15,35556	B

Rozdíl v rychlosti čisté fotosyntézy ( $P_N$ ) v hodnotě koncentrace CO<sub>2</sub> 535 ppm v lokalitách Dobrá Voda a Břežany při teplotě 5°C nebyl průkazný. Zjištěné hodnoty dokumentuje tabulka 16.

Tabulka 17 dokládá sledování rychlosti čisté fotosyntézy ( $P_N$ ) při koncentraci CO<sub>2</sub> 535 ppm. Toto sledování a statistické vyhodnocení probíhalo při teplotě 20°C. Rozdíl mezi hodnotami  $P_N$  v jednotlivých lokalitách nebyl prokázán.

Mezi hodnotami rychlosti čisté fotosyntézy ( $P_N$ ) pro koncentraci CO<sub>2</sub> 535 ppm byl prokázán statisticky průkazný rozdíl. Tuto skutečnost dokládá tabulka 18.

### 5.1.6 *Chenopodium album* – rozdíl mezi lokalitami (Dobrá Voda – Břežany) – koncentrace CO<sub>2</sub> 1500 ppm

Tab.19: Rychlost čisté fotosyntézy ( $P_N$ ) při teplotě 5°C ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) – Merlík bílý (*Chenopodium album*), (ANOVA, Tukey,  $\alpha = 0,05$ )

č. buňky	lokalita	5°C průměr	1
1	Dobrá Voda	4,316667	A
2	Břežany	5,300000	B

Tab.20: Rychlost čisté fotosyntézy ( $P_N$ ) při teplotě 20°C ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) – Merlík bílý (*Chenopodium album*), (ANOVA, Tukey,  $\alpha = 0,05$ )

č. buňky	lokalita	20°C průměr	1
2	Břežany	12,233333	A
1	Dobrá Voda	12,411111	A

Tab.21: Rychlost čisté fotosyntézy ( $P_N$ ) při teplotě 40°C ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) – Merlík bílý (*Chenopodium album*), (ANOVA, Tukey,  $\alpha = 0,05$ )

č. buňky	lokalita	40°C průměr	1
1	Dobrá Voda	18,316667	A
2	Břežany	22,444444	B

Zjištěné hodnoty rychlosti čisté fotosyntézy u druhu *Chenopodium album* při teplotě 5°C dokumentuje tabulka 19. Z této tabulky je patrné, že mezi lokalitami byl prokázán statisticky průkazný rozdíl.

Mezi zjištěnými hodnotami rychlosti čisté fotosyntézy ( $P_N$ ) při teplotě 20°C nebyl prokázán statisticky průkazný rozdíl. Zjištěné hodnoty jsou uvedeny v tabulce 20.

V tabulce 21 jsou uvedeny zjištěné hodnoty  $P_N$  při teplotě 40°C z lokalit Dobrá Voda a Břežany. Mezi těmito lokalitami při koncentraci CO<sub>2</sub> 1500 ppm byl zjištěn statisticky průkazný rozdíl.

### 5.1.7 *Amaranthus retroflexus* - lokalita Dobrá Voda

Tab.22: Rychlost čisté fotosyntézy ( $P_N$ ) při teplotě 5°C ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) – Laskavec ohnutý (*Amaranthus retroflexus*), (ANOVA, Tukey,  $\alpha = 0,05$ )

č. buňky	CO <sub>2</sub> (ppm)	5°C průměr	1
1	200	-0,011111	A
2	385	1,050000	B
4	500	1,644444	B C
3	467	1,716667	B C
5	535	2,283333	C D
7	1000	2,466667	D
6	750	2,788889	D
8	1500	4,144444	E

Tab.23: Rychlost čisté fotosyntézy ( $P_N$ ) při teplotě 20°C ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) – Laskavec ohnutý (*Amaranthus retroflexus*), (ANOVA, Tukey,  $\alpha = 0,05$ )

č. buňky	CO <sub>2</sub> (ppm)	20°C průměr	1
1	200	6,17222	A
2	385	8,66111	B
3	467	9,37222	B
4	500	10,97778	C
5	535	12,01111	C D
6	750	12,76111	D E
7	1000	14,32222	EF
8	1500	15,29444	F

Tab.24: Rychlost čisté fotosyntézy ( $P_N$ ) při teplotě 40°C ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) – Laskavec ohnutý (*Amaranthus retroflexus*), (ANOVA, Tukey,  $\alpha = 0,05$ )

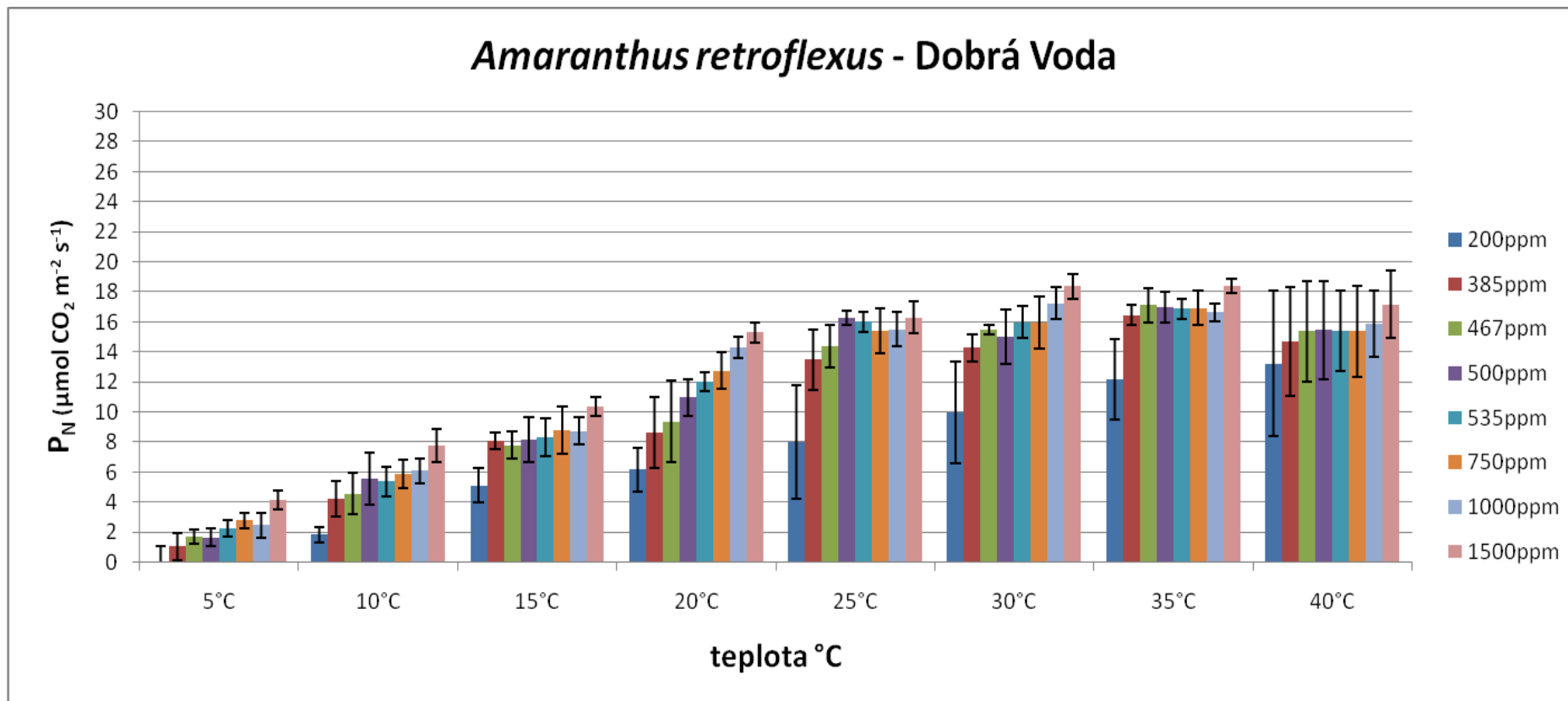
č. buňky	CO <sub>2</sub> (ppm)	40°C průměr	1
1	200	13,22778	A
2	385	14,66667	A B
6	750	15,38333	A B
3	467	15,40000	A B
5	535	15,40000	A B
4	500	15,45556	A B
7	1000	15,86667	A B
8	1500	17,17778	B

Při teplotě 5°C stanovení rychlosti čisté fotosyntézy ( $P_N$ ) u *Amaranthus retroflexus* z lokality Dobrá Voda byly zjištěny rozdíly mezi jednotlivými koncentracemi  $CO_2$  (220 – 1500 ppm). Hodnoty zjištěné rychlosti čisté fotosyntézy dokumentuje tabulka 22. Zde byl zaznamenán vznik pěti homogenních skupin od A až E. Rozdíl v rychlosti čisté fotosyntézy v hodnotě koncentrace  $CO_2$  pro klimatické scénáře (467 a 535 ppm) nebyl statisticky průkazný.

V tabulce 23 jsou uvedeny průměrné hodnoty rychlosti čisté fotosyntézy ( $P_N$ ) u rostlin *Amaranthus retroflexus* z lokality Dobrá Voda. Při sledování vzniklo šest homogenních skupin, které označujeme písmeny A – F. Data byla vyhodnocena při teplotě 20°C. Mezi hodnotami  $P_N$  pro klimatické scénáře (467 a 535 ppm) byl prokázán statisticky průkazný rozdíl.

Dále byla u *Amaranthus retroflexus* statisticky vyhodnocena hodnota rychlosti čisté fotosyntézy ( $P_N$ ) při teplotě 40°C. Zjištěné hodnoty jsou uvedeny v tabulce 24. Zde byly výsledky rozřazeny do dvou homogenních skupin (A – B). Mezi hodnotami  $P_N$  pro klimatické scénáře nebyl prokázán statisticky průkazný rozdíl.

Graf 3 znázorňuje rychlost čisté fotosyntézy ( $P_N$ ) u druhu *Amaranthus retroflexus* z lokality Dobrá Voda. Graf dokumentuje, že rychlost fotosyntézy u sledovaných rostlin s rostoucí teplotou a koncentrací  $CO_2$  stoupá. Rychlost čisté fotosyntézy ( $P_N$ ) se zvyšuje jak při nízké (200 ppm), tak i při vysoké koncentraci  $CO_2$  (1500 ppm). To vše v závislosti na vzrůstající teplotě.



Graf 3: Rychlost čisté fotosyntézy ( $P_N$ ) - lokalita Dobrá Voda – *Amaranthus retroflexus*

### 5.1.8 *Amaranthus retroflexus* – lokalita Břežany

Tab.25: Rychlost čisté fotosyntézy ( $P_N$ ) při teplotě 5°C ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) – Laskavec ohnutý (*Amaranthus retroflexus*), (ANOVA, Tukey,  $\alpha = 0,05$ )

č. buňky	CO2 (ppm)	5°C průměr	1
1	200	0,355556	A
2	467	1,300000	B
3	385	1,327778	B
4	500	1,438889	B
5	535	1,500000	B
6	750	2,700000	C
7	1000	3,066667	C
8	1500	3,783333	D

Tab.26: Rychlost čisté fotosyntézy ( $P_N$ ) při teplotě 20°C ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) – Laskavec ohnutý (*Amaranthus retroflexus*), (ANOVA, Tukey,  $\alpha = 0,05$ )

č. buňky	CO2 (ppm)	20°C průměr	1
1	200	2,26111	A
2	385	6,42778	B
3	467	8,09444	B C
4	500	9,50000	C D
5	535	10,05000	D
6	750	10,52778	D E
7	1000	11,11111	D E
8	1500	12,13889	E

Tab.27: Rychlost čisté fotosyntézy ( $P_N$ ) při teplotě 40°C ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) – Laskavec ohnutý (*Amaranthus retroflexus*), (ANOVA, Tukey,  $\alpha = 0,05$ )

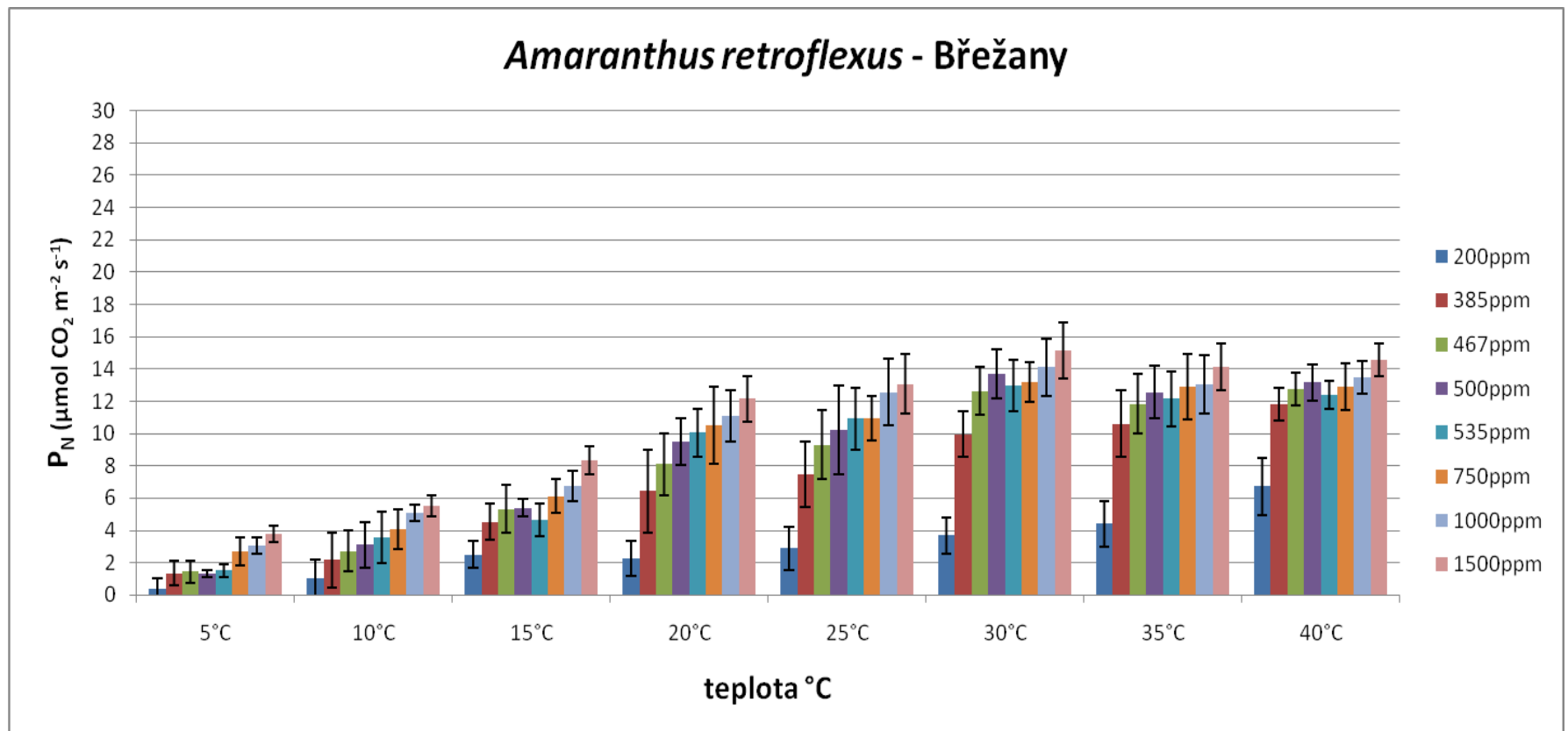
č. buňky	CO2 (ppm)	40°C průměr	1
1	200	6,71667	A
2	385	11,79444	B
5	535	12,36111	B C
3	467	12,76111	B C
6	750	12,90556	B C
4	500	13,15000	C
7	1000	13,45000	C D
8	1500	14,57778	D

Tabulka 25 dokládá při sledování rychlosti čisté fotosyntézy ( $P_N$ ) vznik čtyř homogenních skupin (A – D). Data byla vyhodnocena při teplotě 5°C. Rozdíl mezi hodnotami  $P_N$  pro klimatické scénáře (467 a 535 ppm) nebyl při této teplotě prokázán.

Při teplotě 20°C vzniklo pět homogenních skupin označovaných písmeny A - E. Tuto skutečnost dokumentuje tabulka 26. Mezi hodnotami rychlosti čisté fotosyntézy ( $P_N$ ) pro klimatické scénáře (467 a 535 ppm) byl zjištěn statisticky průkazný rozdíl.

V tabulce 27 jsou uvedeny průměrné hodnoty rychlosti čisté fotosyntézy ( $P_N$ ) u rostlin *Amaranthus retroflexus* z lokality Dobrá Voda. Při sledování vznikly čtyři homogenní skupiny (A – D). Toto sledování probíhalo při teplotě 40°C a rozdíl mezi hodnotami  $P_N$  pro klimatické scénáře nebyl statisticky prokázán.

Graf 4 dokumentuje hodnoty rychlosti čisté fotosyntézy ( $P_N$ ) u rostlin *Amaranthus retroflexus* z lokality Břežany. Z grafu je patrné, že rychlost fotosyntézy rostoucí koncentrací  $CO_2$  a teplotou také narůstá. Při vysoké koncentraci  $CO_2$  (1500 ppm) hodnota  $P_N$  se s rostoucí teplotou zvyšuje. Naopak při nízké koncentraci  $CO_2$  (200 ppm) je rychlost čisté fotosyntézy ( $P_N$ ) nízká, a to i při vyšších teplotách (40°C).



Graf 4: Rychlost čisté fotosyntézy ( $P_N$ ) - lokalita Břežany – *Amaranthus retroflexus*



### 5.1.9 *Amaranthus retroflexus* – rozdíl mezi lokalitami (Dobrá Voda – Břežany) – koncentrace CO<sub>2</sub> 200ppm

Tab.28: Rychlost čisté fotosyntézy ( $P_N$ ) při teplotě 5°C ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) – Laskavec ohnutý (*Amaranthus retroflexus*), (ANOVA, Tukey,  $\alpha = 0,05$ )

č. buňky	lokalita	5°C průměr	1
1	Dobrá Voda	-0,011111	A
2	Břežany	0,355556	A

Tab.29: Rychlost čisté fotosyntézy ( $P_N$ ) při teplotě 20°C ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) – Laskavec ohnutý (*Amaranthus retroflexus*), (ANOVA, Tukey,  $\alpha = 0,05$ )

č. buňky	lokalita	20°C průměr	1
2	Břežany	2,261111	A
1	Dobrá Voda	6,172222	B

Tab.30: Rychlost čisté fotosyntézy ( $P_N$ ) při teplotě 40°C ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) – Laskavec ohnutý (*Amaranthus retroflexus*), (ANOVA, Tukey,  $\alpha = 0,05$ )

č. buňky	lokalita	40°C průměr	1
2	Břežany	6,71667	A
1	Dobrá Voda	13,22779	B

V tabulce 28 jsou uvedeny zjištěné hodnoty  $P_N$  při teplotě 5°C z lokalit Dobrá Voda a Břežany. Mezi těmito lokalitami při koncentraci CO<sub>2</sub> 200 ppm nebyl prokázán statisticky průkazný rozdíl.

Mezi zjištěnými hodnotami rychlosti čisté fotosyntézy ( $P_N$ ) při teplotě 20°C statisticky průkazný rozdíl byl prokázán. Zjištěné hodnoty jsou uvedeny v tabulce 29.

Při teplotě 40°C byl statistický průkazný rozdíl také prokázán. Tuto skutečnost dokumentuje tabulka 30. Z tabulky je patrné, že rychlost čisté fotosyntézy ( $P_N$ ) je v lokalitě Dobrá Voda vyšší než v lokalitě Břežany.

### 5.1.10 *Amaranthus retroflexus* – rozdíl mezi lokalitami (Dobrá Voda – Břežany) – koncentrace CO<sub>2</sub> 467 ppm

Tab.31: Rychlost čisté fotosyntézy ( $P_N$ ) při teplotě 5°C ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) – Laskavec ohnutý (*Amaranthus retroflexus*), (ANOVA, Tukey,  $\alpha = 0,05$ )

č. buňky	lokalita	5°C průměr	1
2	Břežany	1,438889	A
1	Dobrá Voda	1,716667	A

Tab.32: Rychlost čisté fotosyntézy ( $P_N$ ) při teplotě 20°C ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) – Laskavec ohnutý (*Amaranthus retroflexus*), (ANOVA, Tukey,  $\alpha = 0,05$ )

č. buňky	lokalita	20°C průměr	1
2	Břežany	8,094444	A
1	Dobrá Voda	9,372222	A

Tab.33: Rychlost čisté fotosyntézy ( $P_N$ ) při teplotě 40°C ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) – Laskavec ohnutý (*Amaranthus retroflexus*), (ANOVA, Tukey,  $\alpha = 0,05$ )

č. buňky	lokalita	40°C průměr	1
2	Břežany	12,76111	A
1	Dobrá Voda	15,40000	B

V tabulce 31 byly zaznamenány hodnoty rychlosti čisté fotosyntézy ( $P_N$ ) u druhu *Amaranthus retroflexus* při teplotě 5°C. Statisticky průkazný rozdíl mezi jednotlivými lokalitami nebyl při této teplotě a koncentraci CO<sub>2</sub> (467 ppm) prokázán.

Rozdíl v rychlosti čisté fotosyntézy ( $P_N$ ) v hodnotě koncentrace CO<sub>2</sub> 467 ppm v lokalitách Dobrá Voda a Břežany při teplotě 20°C nebyl průkazný. Zjištěné hodnoty dokumentuje tabulka 32.

Mezi zjištěnými hodnotami rychlosti čisté fotosyntézy ( $P_N$ ) při teplotě 40°C byl prokázán statisticky průkazný rozdíl. Zjištěné hodnoty jsou uvedeny v tabulce 33.

**5.1.11 *Amaranthus retroflexus* – rozdíl mezi lokalitami (Dobrá Voda – Břežany) – koncentrace CO<sub>2</sub> 535 ppm**

Tab.34: Rychlost čisté fotosyntézy ( $P_N$ ) při teplotě 5°C ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) – Laskavec ohnutý (*Amaranthus retroflexus*), (ANOVA, Tukey,  $\alpha = 0,05$ )

č. buňky	lokalita	5°C průměr	1
2	Břežany	1,500000	A
1	Dobrá Voda	2,283333	B

Tab.35: Rychlost čisté fotosyntézy ( $P_N$ ) při teplotě 20°C ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) – Laskavec ohnutý (*Amaranthus retroflexus*), (ANOVA, Tukey,  $\alpha = 0,05$ )

č. buňky	lokalita	20°C průměr	1
2	Břežany	10,05000	A
1	Dobrá Voda	12,01111	B

Tab.36: Rychlost čisté fotosyntézy ( $P_N$ ) při teplotě 40°C ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) – Laskavec ohnutý (*Amaranthus retroflexus*), (ANOVA, Tukey,  $\alpha = 0,05$ )

č. buňky	lokalita	40°C průměr	1
2	Břežany	12,36111	A
1	Dobrá Voda	15,40000	B

Tabulka 34 dokumentuje situaci při 5°C a koncentraci CO<sub>2</sub> 535 ppm. Z tabulky je patrné, že hodnota rychlosti čisté fotosyntézy je u lokality Dobrá Voda vyšší než u lokality Břežany. Byl zde tedy prokázán statisticky průkazný rozdíl.

Při teplotě 20°C mezi hodnotami rychlosti čisté fotosyntézy ( $P_N$ ) pro koncentraci CO<sub>2</sub> 535 ppm byl prokázán statisticky průkazný rozdíl. Tyto hodnoty dokumentuje tabulka 35.

Mezi zjištěnými hodnotami rychlosti čisté fotosyntézy ( $P_N$ ) při teplotě 40°C statisticky průkazný rozdíl byl prokázán. Zjištěné hodnoty jsou uvedeny v tabulce 36.

**5.1.12 *Amaranthus retroflexus* – rozdíl mezi lokalitami (Dobrá Voda – Břežany) – koncentrace CO<sub>2</sub> 1500 ppm**

Tab.37: Rychlost čisté fotosyntézy ( $P_N$ ) při teplotě 5°C ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) – Laskavec ohnutý (*Amaranthus retroflexus*), (ANOVA, Tukey,  $\alpha = 0,05$ )

č. buňky	lokalita	5°C průměr	1
2	Břežany	3,783333	A
1	Dobrá Voda	4,144444	A

Tab.38: Rychlost čisté fotosyntézy ( $P_N$ ) při teplotě 20°C ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) – Laskavec ohnutý (*Amaranthus retroflexus*), (ANOVA, Tukey,  $\alpha = 0,05$ )

č. buňky	lokalita	20°C průměr	1
2	Břežany	12,13889	A
1	Dobrá Voda	15,29444	B

Tab.39: Rychlost čisté fotosyntézy ( $P_N$ ) při teplotě 40°C ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) – Laskavec ohnutý (*Amaranthus retroflexus*), (ANOVA, Tukey,  $\alpha = 0,05$ )

č. buňky	lokalita	40°C průměr	1
2	Břežany	14,57778	A
1	Dobrá Voda	17,17778	B

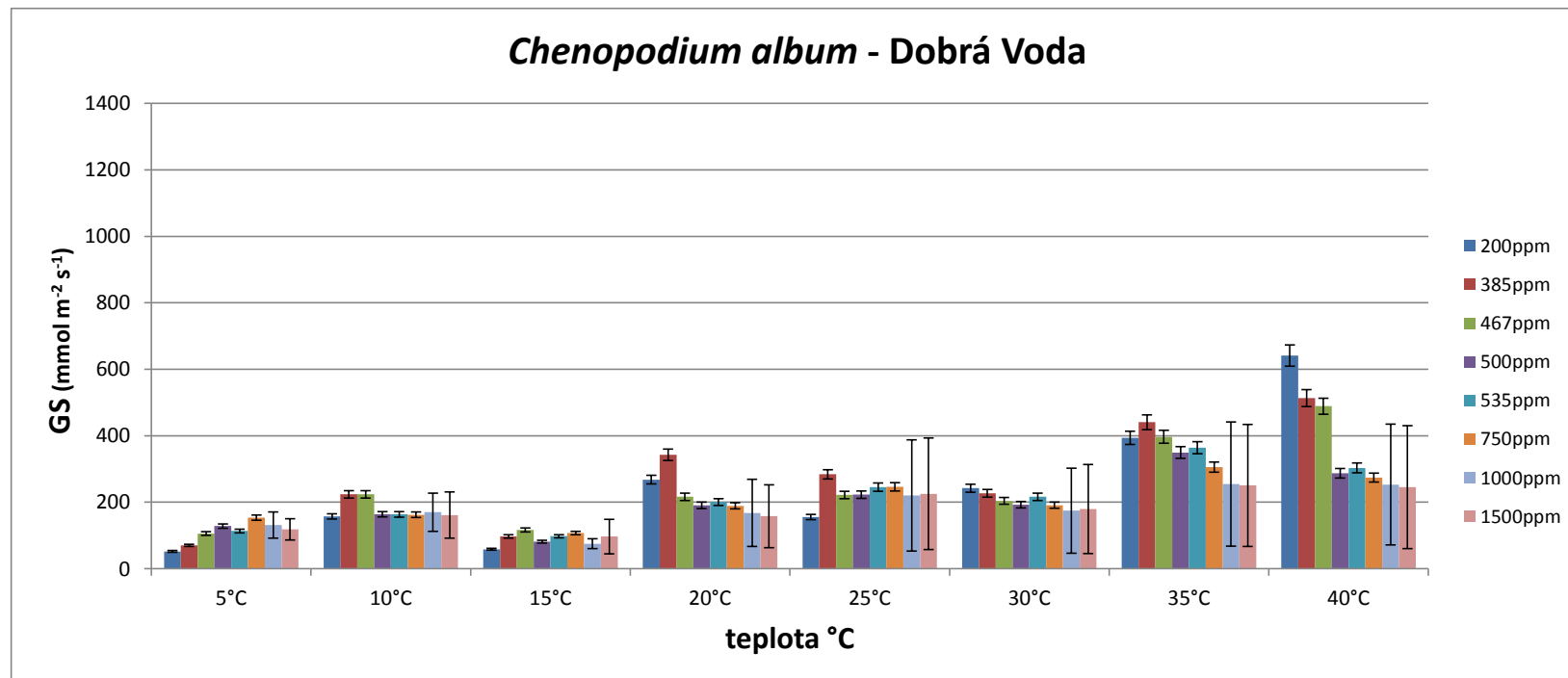
Zjištěné hodnoty rychlosti fotosyntézy ( $P_N$ ) při nejvyšší měřené a sledované koncentraci CO<sub>2</sub> (1500 ppm) dokumentuje tabulka 37. Tyto hodnoty byly hodnoceny při teplotě 5°C. Mezi lokalitami Dobrá Voda a Břežany nebyl při této teplotě a koncentraci CO<sub>2</sub> prokázán statisticky průkazný rozdíl.

Při teplotě 20°C byl mezi sledovanými lokalitami prokázán statisticky průkazný rozdíl. Hodnota  $P_N$  je u lokality Dobrá Voda vyšší než u lokality Břežany. Tyto hodnoty jsou uvedeny v tabulce 38.

Mezi zjištěnými hodnotami rychlosti čisté fotosyntézy ( $P_N$ ) při teplotě 40°C byl prokázán statisticky průkazný rozdíl. Zjištěné hodnoty jsou uvedeny v tabulce 39.

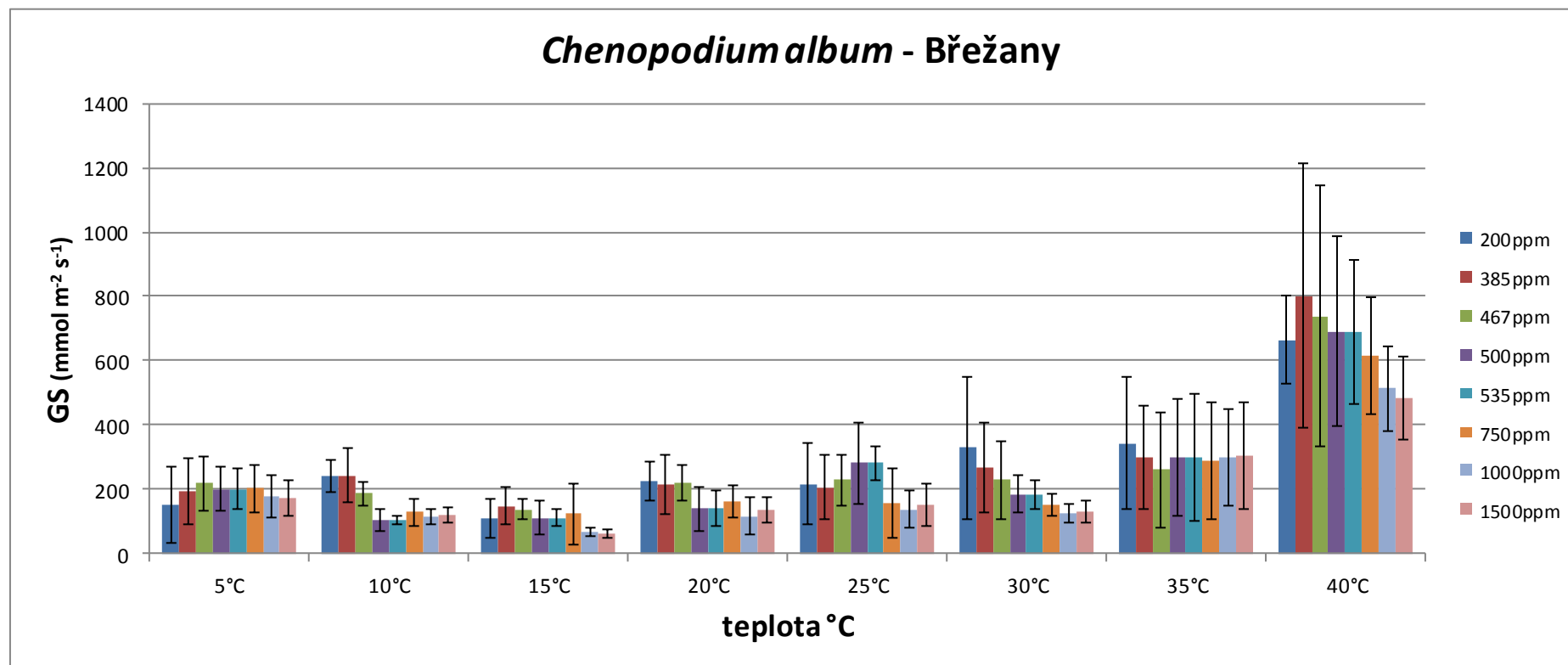
## 5.2 Stanovení vodivosti průduchů (GS)

### 5.2.1 *Chenopodium album* – lokalita Dobrá Voda



Graf 5: Vodivost průduchů (GS) – lokalita Dobrá Voda – *Chenopodium album*

### 5.2.2 *Chenopodium album* – lokalita Břežany

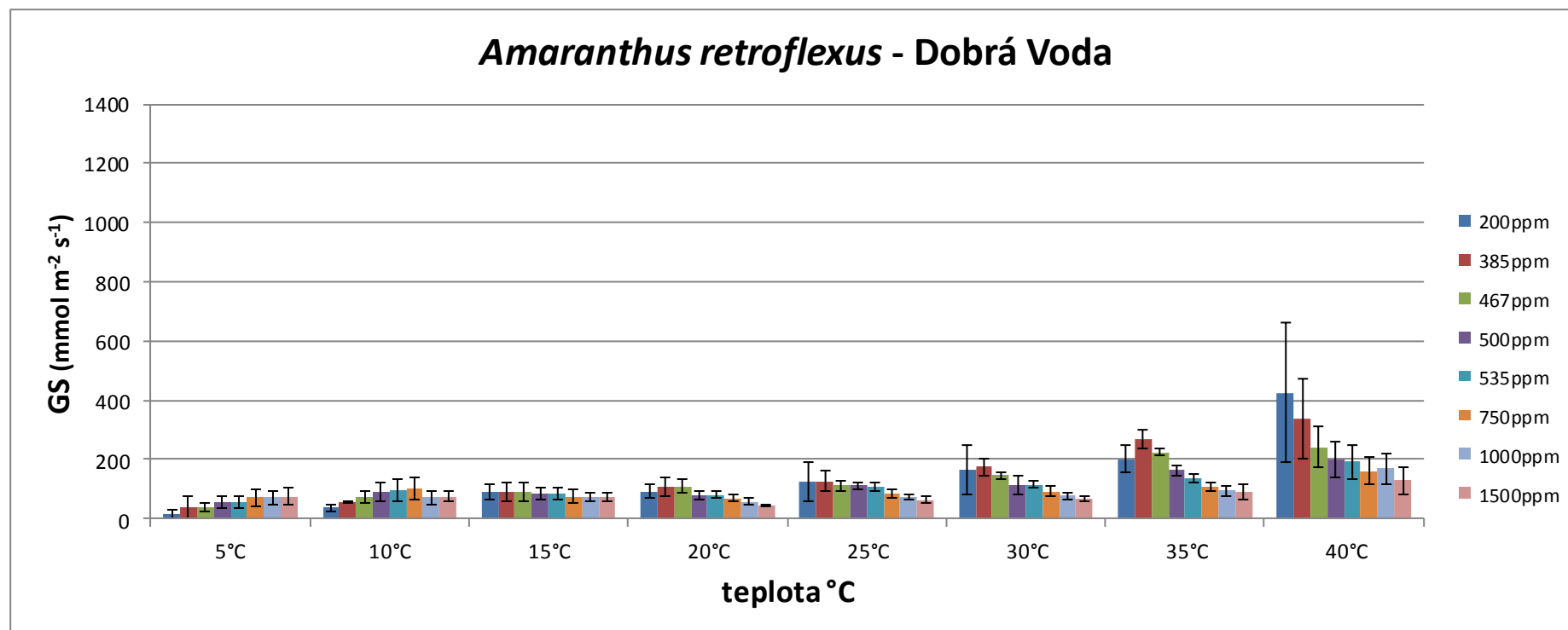


Graf 6: Vodivost průduchů (GS) – lokalita Břežany – *Chenopodium album*

Zjištěné hodnoty vodivosti průduchů (GS) sledovaných rostlin *Chenopodium album* dokumentuje graf 5. Z grafu je patrné, že největší vodivost průduchů u rostlin je při nejvyšší sledované teplotě (40°C) a zároveň při nízké koncentraci CO<sub>2</sub>.

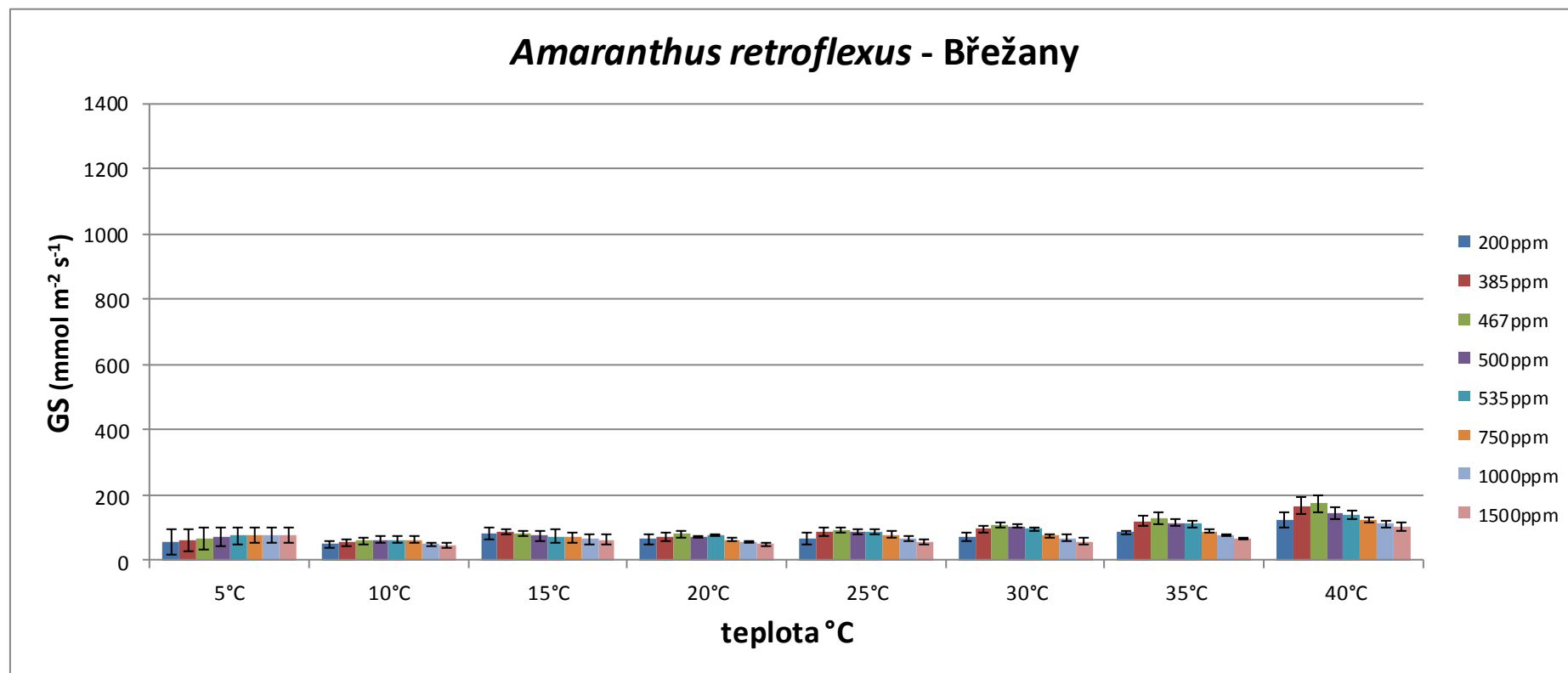
Tuto skutečnost dokládá i graf 6. Zde jsou zjištěné hodnoty vodivosti průduchů (GS) u rostlin *Chenopodium album* z lokality Břežany.

### 5.2.3 *Amaranthus retroflexus* – lokalita Dobrá Voda



Graf 7: Vodivost průduchů (GS) – lokalita Dobrá Voda – *Amaranthus retroflexus*

#### 5.2.4 *Amaranthus retroflexus* – lokalita Břežany



Graf 8: Vodivost průduchů (GS) – lokalita Břežany – *Amaranthus retroflexus*

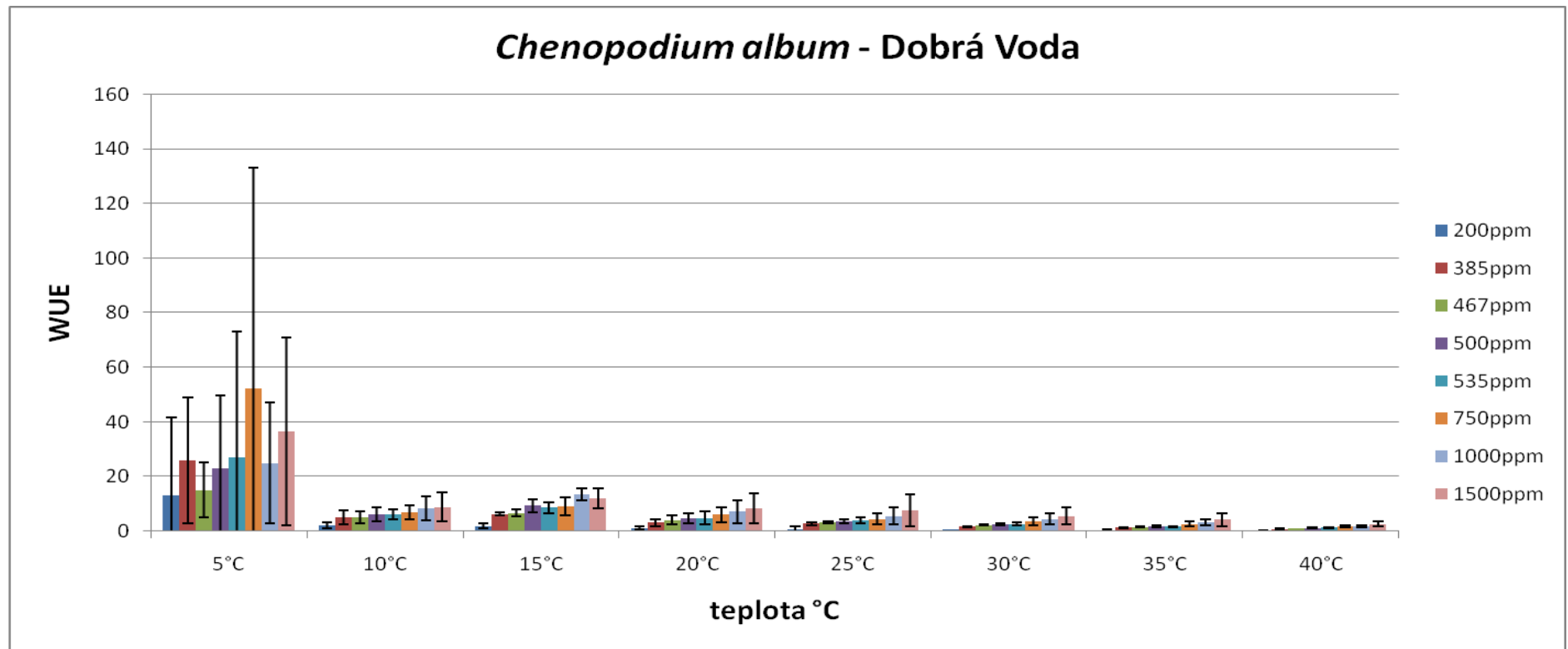
Graf 7 znázorňuje zjištěné hodnoty vodivosti průduchů u rostlin *Amaranthus retroflexus*. Zde se hodnoty mezi jednotlivými koncentracemi CO<sub>2</sub> a teplotami také liší. Nárůst vodivosti průduchů je viditelný až při teplotě 40°C a při nízké koncentraci CO<sub>2</sub>.

Graf 8 dokumentuje velmi podobnou situaci. Z tohoto grafu nárůst není patrný ani při vyšší teplotě (40°C). Vodivost průduchů se v průběhu měření výrazně nezměnila.



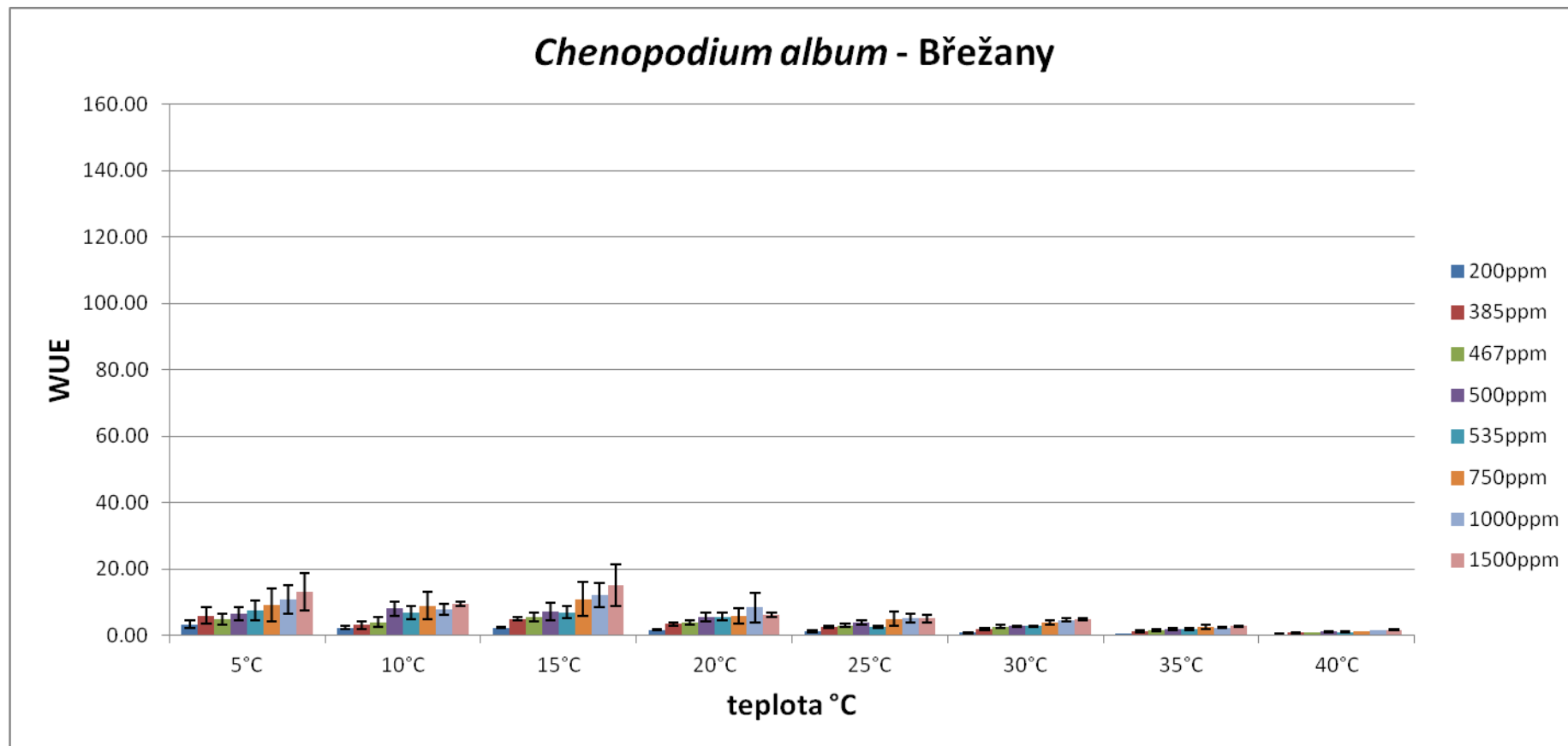
### 5.3 Stanovení efektivity využití vody (WUE)

#### 5.3.1 *Chenopodium album* – lokalita Dobrá Voda



Graf 9: Využití efektivity vody (WUE) – lokalita Dobrá Voda – *Chenopodium album*

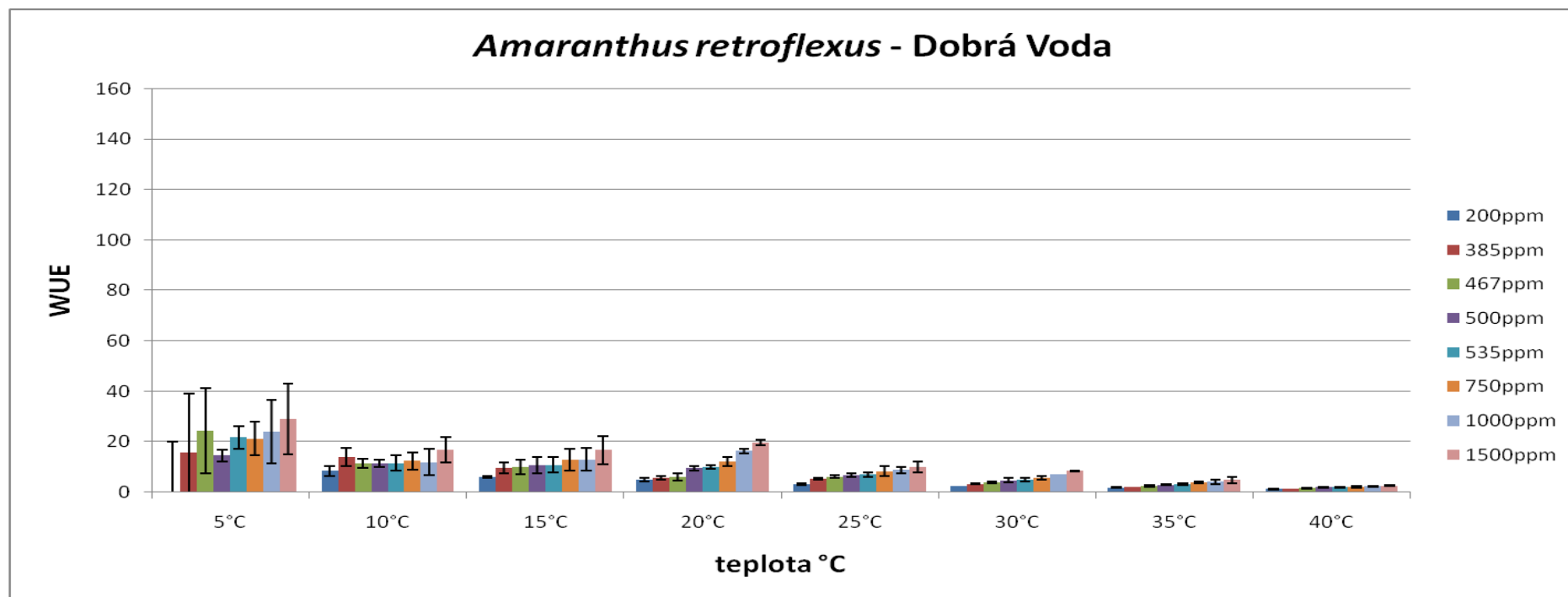
### 5.3.2 *Chenopodium album* – lokalita Břežany



Graf 10: Využití efektivity vody (WUE) – lokalita Břežany – *Chenopodium album*

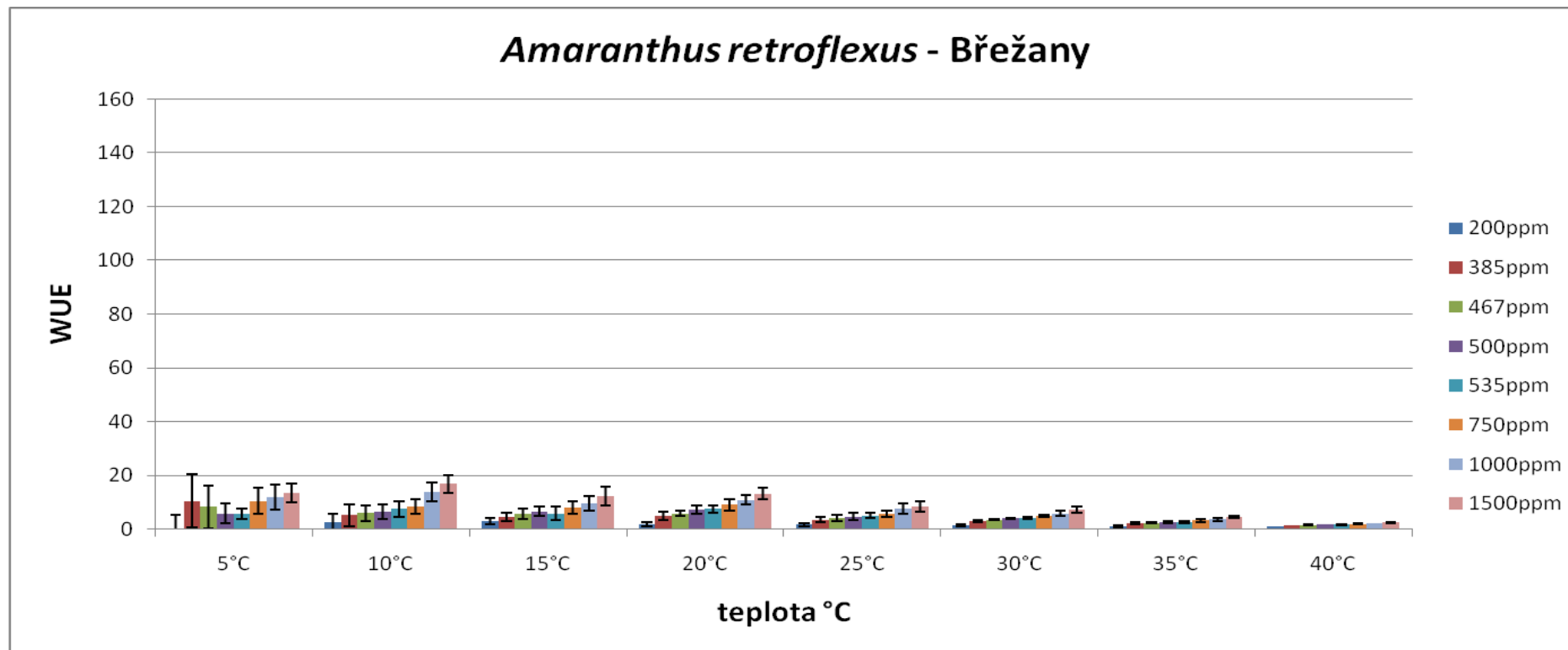
Hodnoty efektivity využití vody (WUE) u rostlin *Chenopodium album* z lokality Dobrá Voda znázorňuje graf 9. Z grafu je patrné, že se zvyšující se teplotou hodnota WUE u rostlin klesá. Naopak s rostoucí koncentrací CO<sub>2</sub> jeho hodnota stoupá. U rostlin *Chenopodium album* z lokality Břežany je situace obdobná. Tuto skutečnost popisuje graf 10.

### 5.3.3 *Amaranthus retroflexus* – lokalita Dobrá Voda



Graf 11: Efektivnost využití vody (WUE) – lokality Dobrá Voda – *Amaranthus retroflexus*

### 5.3.4 *Amaranthus retroflexus* – lokalita Břežany



Graf 12: Efektivnost využití vody (WUE) – lokality Břežany – *Amaranthus retroflexus*

Oba grafy (graf 11, graf 12) dokumentují stejnou situaci. Pokles WUE s rostoucí teplotou. A nejvyšší efektivnost využití vody je při nejvyšší koncentraci CO<sub>2</sub>, a to při koncentraci 1500 ppm.

Hodnotu efektivnosti využití vody můžeme rovněž popsat pomocí regresních rovnic (jednoduchá lineární regrese).

### **5.3.5 *Chenopodium album* – lokalita Dobrá Voda**

WUE; 5°C:  $y = 16,6005 + 0,016 * x$ ;  $r = 0,1536$ ;  $p = 0,0661$ ;  $r^2 = 0,0236$   
WUE; 10°C:  $y = 3,0373 + 0,0045 * x$ ;  $r = 0,4840$ ;  $p = 0,0000$ ;  $r^2 = 0,2343$   
WUE; 15°C:  $y = 3,6004 + 0,0072 * x$ ;  $r = 0,6916$ ;  $p = 0,0000$ ;  $r^2 = 0,4782$   
WUE; 20°C:  $y = 1,5154 + 0,0052 * x$ ;  $r = 0,5588$ ;  $p = 0,0000$ ;  $r^2 = 0,3123$   
WUE; 25°C:  $y = 0,8711 + 0,0047 * x$ ;  $r = 0,5820$ ;  $p = 0,0000$ ;  $r^2 = 0,3387$   
WUE; 30°C:  $y = 0,4951 + 0,0037 * x$ ;  $r = 0,7002$ ;  $p = 0,0000$ ;  $r^2 = 0,4903$   
WUE; 35°C:  $y = 0,1745 + 0,0028 * x$ ;  $r = 0,7396$ ;  $p = 0,0000$ ;  $r^2 = 0,5470$   
WUE; 40°C:  $y = 0,1848 + 0,0018 * x$ ;  $r = 0,8253$ ;  $p = 0,0000$ ;  $r^2 = 0,6812$

### **5.3.6 *Chenopodium album* – lokalita Břežany**

WUE; 5°C:  $y = 2,6522 + 0,0074 * x$ ;  $r = 0,6349$ ;  $p = 0,0000$ ;  $r^2 = 0,4032$   
WUE; 10°C:  $y = 2,7631 + 0,0052 * x$ ;  $r = 0,6208$ ;  $p = 0,0000$ ;  $r^2 = 0,3854$   
WUE; 15°C:  $y = 1,5765 + 0,0098 * x$ ;  $r = 0,7405$ ;  $p = 0,0000$ ;  $r^2 = 0,5484$   
WUE; 20°C:  $y = 2,7092 + 0,0035 * x$ ;  $r = 0,5102$ ;  $p = 0,0000$ ;  $r^2 = 0,2603$   
WUE; 25°C:  $y = 1,5496 + 0,003 * x$ ;  $r = 0,6685$ ;  $p = 0,0000$ ;  $r^2 = 0,4469$   
WUE; 30°C:  $y = 0,9485 + 0,0031 * x$ ;  $r = 0,8915$ ;  $p = 0,0000$ ;  $r^2 = 0,7948$   
WUE; 35°C:  $y = 0,8021 + 0,0015 * x$ ;  $r = 0,7667$ ;  $p = 0,0000$ ;  $r^2 = 0,5878$   
WUE; 40°C:  $y = 0,3915 + 0,0009 * x$ ;  $r = 0,9106$ ;  $p = 0,0000$ ;  $r^2 = 0,8293$

### **5.3.7 *Amaranthus retroflexus* – lokalita Dobrá Voda**

WUE; 5°C:  $y = 3,6013 + 0,0207 * x$ ;  $r = 0,3996$ ;  $p = 0,0000$ ;  $r^2 = 0,1597$   
WUE; 10°C:  $y = 9,1423 + 0,0046 * x$ ;  $r = 0,4395$ ;  $p = 0,0000$ ;  $r^2 = 0,1931$   
WUE; 15°C:  $y = 6,3622 + 0,0073 * x$ ;  $r = 0,6179$ ;  $p = 0,0000$ ;  $r^2 = 0,3818$   
WUE; 20°C:  $y = 2,1532 + 0,0125 * x$ ;  $r = 0,9450$ ;  $p = 0,0000$ ;  $r^2 = 0,8930$   
WUE; 25°C:  $y = 3,8177 + 0,0047 * x$ ;  $r = 0,7808$ ;  $p = 0,0000$ ;  $r^2 = 0,6096$   
WUE; 30°C:  $y = 1,8885 + 0,0047 * x$ ;  $r = 0,9468$ ;  $p = 0,0000$ ;  $r^2 = 0,8965$   
WUE; 35°C:  $y = 1,4896 + 0,0025 * x$ ;  $r = 0,8202$ ;  $p = 0,0000$ ;  $r^2 = 0,6727$   
WUE; 40°C:  $y = 1,1672 + 0,001 * x$ ;  $r = 0,8396$ ;  $p = 0,0000$ ;  $r^2 = 0,7050$

### 5.3.8 *Amaranthus retroflexus* – lokalita Břežany

WUE; 5°C:  $y = 2,5822 + 0,0085*x$ ;  $r = 0,4570$ ;  $p = 0,00000$ ;  $r^2 = 0,2088$

WUE; 10°C:  $y = 0,8812 + 0,0113*x$ ;  $r = 0,8020$ ;  $p = 0,0000$ ;  $r^2 = 0,6431$

WUE; 15°C:  $y = 2,2856 + 0,0071*x$ ;  $r = 0,7781$ ;  $p = 0,0000$ ;  $r^2 = 0,6054$

WUE; 20°C:  $y = 2,1501 + 0,0082*x$ ;  $r = 0,8689$ ;  $p = 0,0000$ ;  $r^2 = 0,7550$

WUE; 25°C:  $y = 1,778 + 0,0051*x$ ;  $r = 0,8034$ ;  $p = 0,0000$ ;  $r^2 = 0,6455$

WUE; 30°C:  $y = 1,5766 + 0,0041*x$ ;  $r = 0,8970$ ;  $p = 0,0000$ ;  $r^2 = 0,8046$

WUE; 35°C:  $y = 1,1913 + 0,0024*x$ ;  $r = 0,8935$ ;  $p = 0,0000$ ;  $r^2 = 0,7984$

WUE; 40°C:  $y = 1,0943 + 0,0011*x$ ;  $r = 0,9195$ ;  $p = 0,0000$ ;  $r^2 = 0,8456$

## 6 Diskuse

V první části experimentu byla sledována rychlost čisté fotosyntézy u jednotlivých druhů C3 (*Chenopodium album*) a C4 rostlin (*Amaranthus retroflexus*). Z výsledků je patrné, že rychlost čisté fotosyntézy se u těchto druhů liší. U C3 rostlin rychlost fotosyntézy při vysoké koncentraci CO<sub>2</sub> (1500 ppm) a teplotě roste. Naopak při nízké koncentraci (200 ppm) je hodnota P<sub>N</sub> nízká, a to i při vysokých teplotách (Tab. 4, Tab. 5, Tab. 6, Tab. 7, Tab. 9). Tuto skutečnost potvrzuje Procházka (1998), který uvádí, že rostliny C3 mají při nízké koncentraci CO<sub>2</sub> výrazně nižší rychlost fotosyntézy (P<sub>N</sub>) než rostliny C4. U C4 rostlin bylo zjištěno, že hodnota rychlosti čisté fotosyntézy také roste s rostoucí teplotou a koncentrací CO<sub>2</sub>, ovšem tento nárůst není tak rychlý a výrazný jako u C3 rostlin. (Graf 3, Graf 4). Kutílek (2008) popisuje, že rostliny C4 jsou přibližně nasyceny CO<sub>2</sub> při koncentracích 200 až 250 ppm. Při zvyšování koncentrace CO<sub>2</sub> ve vzduchu nad tuto hodnotu rostliny C4 jen slabě zvyšují přírůstky hmoty. Reakce rostlin C4 na zvyšování koncentrace CO<sub>2</sub> je slabá, pokud se nedosáhne úpravy celého fotosyntetického procesu genetickými modifikacemi. Nátr (1998) uvádí, že rozdíl v reakci rychlosti čisté fotosyntézy C3 a C4 rostlin na zvýšenou koncentraci CO<sub>2</sub> může mít vliv také na druhové složení ekosystémů, protože budou zvýhodněny druhy C3, které nejsou nynější koncentrací CO<sub>2</sub> saturovány. Nátr (2006) také popisuje, že vývoj klimatu právě neupřednostňuje rostliny C3 takto jednoznačně. Se změnami klimatu se zvyšuje teplota a rostliny C4 převyšují svou rychlostí fotosyntézy rostliny C3 hlavně při vyšších teplotách. Zvyšování teploty na Zemi tedy bude podporovat rostliny C4. Převaha jedné z obou skupin bude záviset na tom, jestli zvýhodnění rostlin C3 zvyšující se koncentrací CO<sub>2</sub> bude významnější než zvýhodnění rostlin C4 zvyšující se teplotou.

V rámci měření rychlosti čisté fotosyntézy probíhalo měření na rostlinách vypěstovaných ze semen z lokalit s odlišnou nadmořskou výškou. U *Chenopodium album* byl zjištěn statisticky neprůkazný rozdíl mezi lokalitami při teplotách 5°C, 20°C, 40°C při měřené koncentraci CO<sub>2</sub> 200 ppm (Tab. 10, Tab. 11, Tab. 12). Při koncentraci CO<sub>2</sub> 467 ppm byl statisticky průkazný rozdíl pouze u teploty 20°C (Tab. 14). Statisticky průkazný rozdíl byl dále při teplotě 40°C, a to u koncentrace CO<sub>2</sub> 535 ppm. Při nejvyšší koncentraci CO<sub>2</sub> (1500 ppm) byly statisticky průkazné rozdíly zjištěny u teplot 5°C a 40°C (Tab. 19, Tab. 21).

U *Amaranthus retroflexus* z výsledků vyplývá, že statisticky průkazné rozdíly byly u vyšších teplot (20°C, 40°C) při koncentraci CO<sub>2</sub> 200 ppm (Tab. 29, Tab. 30). U vyšší koncentrace CO<sub>2</sub> (467 ppm) byl statisticky průkazný rozdíl pouze u teploty 40°C (Tab. 33).

Statisticky průkazné rozdíly byly zjištěny u všech tří sledovaných teplot (5°C, 20°C, 40°C) při koncentraci 535 ppm (Tab. 34, Tab. 35, Tab. 36). Při poslední a nejvyšší koncentraci CO<sub>2</sub> (1500 ppm) nebyl statisticky průkazný rozdíl pouze při teplotě 5°C (Tab. 37).

Obecně tedy můžeme říci, že u *Chenopodium album* byla zjištěna vyšší hodnota fotosyntézy u rostlin vypěstovaných ze semen pocházejících z lokality s nižší nadmořskou výškou (Břežany). Naopak u *Amaranthus retroflexus* vyšší hodnoty fotosyntézy vykazovaly rostliny vypěstované ze semen pocházejících z vyšších nadmořských výšek (Dobrá Voda). Rozdíl tedy mezi lokalitami byl prokázán při některých teplotách a koncentracích, to však může být způsobeno např. variabilitou jedinců. Procházka (1998) popisuje, že při měření rychlosti fotosyntézy ve stejných podmínkách se projevují výrazné rozdíly mezi rostlinami, které vyrostly či byly pěstovány v podmínkách odlišných. Například listy rostlin rostoucích při vyšší ozáření se výrazně liší svou fotosyntetickou charakteristikou od listů utvářených spíše ve stínu. Totéž lze uvést o působení vody, minerálních živin aj. A konečně je nutno připomenout i prokázané rozdíly v rychlosti fotosyntézy mezi odrůdami a mnoha kulturních rostlin i mezi různými rostlinnými druhy a rody. Kumar (2005) uvádí ve výsledcích své práce při měření rychlosti fotosyntézy na lokalitách s různou nadmořskou výškou, že mezi lokalitami nebyl zjištěn statisticky průkazný rozdíl. Zkoumána byla nadmořská výška od 1300 do 4500 m.n.m.

Můžeme předpokládat, že zvýšením koncentrace CO<sub>2</sub> se zvýší teplota atmosféry, což povede ke změně celkového podnebí. Jak uvádějí Root et al (2003), že v současné době má globální změna klimatu již pozorovatelné účinky na životní prostředí. Velmi citlivě reagují na změny klimatu živé organismy. Morgan et al (2004), popisují, že vliv koncentrace CO<sub>2</sub> na rostliny a půdu může být stejně důležitý, a v některých případech, i důležitější než předpokládané klimatické změny. Proto pochopení, jak ekosystémy reagují na rostoucí koncentraci CO<sub>2</sub> je klíčem k předpovídání jejich budoucího rozvíjení a fungování v prostředí bohatém na CO<sub>2</sub>. Proto jako odhad budoucího vývoje klimatu, jsme si určili tzv. klimatické scénáře. Žalud (2009) popisuje dva klimatické scénáře, a to emisní scénář pesimistický, který indikuje výrazně zvýšenou koncentraci oxidu uhličitého (535 ppm), zatímco tzv. optimistický scénář počítá jen s nárůstem mírným (467 ppm) a tedy podstatně nižším zvýšením teploty. Rozdíl mezi jednotlivými scénáři byl rovněž součástí experimentu. U *Chenopodium album* byl statisticky průkazný rozdíl mezi koncentracemi CO<sub>2</sub> 467 ppm a 535 ppm pouze při teplotě 5°C, a to u rostlin vypěstovaných ze semen z lokality Břežany (Tab. 7). U *Amaranthus retroflexus* byl statisticky průkazný rozdíl zjištěn u rostlin z obou lokalit, avšak pouze při



teplotě 20°C (Tab. 23, Tab. 26). Přestože u sledovaných koncentrací CO<sub>2</sub> pro emisní scénáře byl statistický rozdíl průkazný, hodnoty rychlosti čisté fotosyntézy (P<sub>N</sub>) se lišily jen velmi málo. Ze zjištěných výsledků můžeme tedy konstatovat, že reakce rostlin na oba emisní scénáře určující změnu koncentrace CO<sub>2</sub> v budoucnu, bude téměř zanedbatelná. Můžeme tedy předpokládat, že na rostliny bude mít větší vliv změna teploty. To by pak hovořilo ve prospěch C4 rostlin a jejich větší uplatnění v měnícím se klimatu.

Dále byla u C3 a C4 rostlin hodnocena vodivost průduchů. Z výsledků je patrné, že rostliny při vysoké koncentraci CO<sub>2</sub> průduchy uzavírají a tím se jejich vodivost snižuje (Graf 5, Graf 6, Graf 7, Graf 8). Nátr (1998) uvádí, že zvýšená koncentrace oxidu uhličitého způsobuje změny mnoha fyziologických procesů v rostlinách, které spolu různým způsobem interagují, čímž komplikují porozumění vlivům zvýšené koncentrace CO<sub>2</sub> na rostliny, které jsou vzájemně propletené. Nátr (2006) také popisuje, že zvýšení koncentrace CO<sub>2</sub> snižuje otevřenost průduchů, a tím také množství vody, které rostlina vydává transpirací, tedy vypařuje. Jenže s poklesem transpirace se zvýší teplota listů, což urychlí vývoj rostlin a také zvýší rychlost jejího dýchání, tedy ztráty biomasy. Körner (2003) dokládá, že rostliny mohou díky přivření průduchů a následně větší účinnosti využití vody čerpat méně vody z půdy, což má za následek, že v půdě zůstává více vody. Větší množství vody v půdě umožňuje rostlinám lépe přijímat živiny. Což lze pro rostliny do budoucnosti považovat za velmi pozitivní důsledek.

S vodivostí průduchů úzce souvisí využití vody rostlinou. Tuto skutečnost potvrzuje Nátr (1998), který uvádí, že v důsledku působení zvýšené koncentrace CO<sub>2</sub> se snižuje vodivost průduchů, a tím se zvyšuje účinnost využití vody. Efektivnost využití vody byla předmětem mého dalšího experimentu. Zde je z výsledků patrné, že se zvyšující se teplotou hodnota využití vody klesá. A naopak s rostoucí koncentrací CO<sub>2</sub> hodnota WUE narůstá (Graf 9, Graf 10, Graf 11, Graf 12).

Ze získaných výsledků můžeme předpokládat, že měnící se klima bude přispívat spíše k rozvoji C4 rostlin. Lze to předpokládat na základě ne tak velkého a rychlého růstu koncentrace CO<sub>2</sub> v ovzduší, ale na postupném růstu globální teploty. Ovšem o tom, který druh rostlin bude v budoucnu lépe prosperovat, rozhodne až průběh klimatických změn. Proto nelze jednoznačně určit, pro které rostliny bude budoucí vývoj klimatu výhodnější. Abychom mohli přesně říci, které rostliny budou zvýhodněny, bylo by za potřebí větší množství provedených analýz s větším počtem rostlinného materiálu.

## 7 Závěr

Zjištěné výsledky mé diplomové bych zhodnotila takto:

- Z výsledků je patrné, že rychlost čisté fotosyntézy ( $P_N$ ) s rostoucí koncentrací  $CO_2$  a teplotou stoupá. Při vysoké koncentraci  $CO_2$  (1500 ppm) se  $P_N$  s rostoucí teplotou zvyšuje. Naopak při nízké koncentraci  $CO_2$  (200 ppm) je rychlost čisté fotosyntézy nízká, a to i při vysokých teplotách.
- Ve výsledku nebyl prokázán statisticky průkazný rozdíl v reakci rostlin na emisní scénáře.
- Dále byl zkoumán vliv původu lokální populace na dané fyziologické charakteristiky, zde bylo zjištěno, že rostliny vypěstované ze semen pocházejících z vyšší nadmořské výšky (624 m) vykazovaly vyšší hodnotu rychlosti čisté fotosyntézy.
- V další části experimentu byla sledována hodnota vodivosti průduchů (GS). Z výsledků je patrné, že rostliny při vysoké koncentraci  $CO_2$  průduchy uzavírají a tím se jejich vodivost snižuje.
- S vodivostí průduchů úzce souvisí využití vody u rostlin. Pro také byla efektivnost využití vody (WUE) součástí dalšího experimentu. Zde bylo z výsledků zjištěno, že se zvyšující se teplotou hodnota využití vody klesá. A naopak s rostoucí koncentrací  $CO_2$  hodnota WUE se zvyšuje.

Pro jednoznačné potvrzení výsledků je však nutné v experimentu pokračovat a měření provést na větším počtu rostlin.

## 8 Použitá literatura

Bednář, J. 1993. Meteorologický slovník výkladový terminologický. Academia, Ministerstvo životního prostředí ČR. Praha.

ČHMÚ: Český hydrometeorologický ústav. 2007. Klimatická změna na počátku 21. století a její předpokládaný další vývoj (Stanovisko Českého hydrometeorologického ústavu ze dne 22.2. 2007).

ČHMÚ: Český hydrometeorologický ústav. 2008. Scénáře budoucího vývoje světového klimatu. 1-5 s.

Deyl, M. 1964. Plevelle polí a zahrad. Nakladatelství Československé Akademie. Praha. 392 s.

Dziková, H (eds). 2007. Atlas podnebí Česka. Český hydrometeorologický ústav. Praha. Univerzita Palackého v Olomouci. 255 s.

Flannery, T. 2007. Měníme podnebí – Minulost a budoucnost klimatických změn. Dokořán. Praha. 270 s. ISBN 978-80-7363-121-5.

Gliessman, S. R. 2007. Agroecology – The Ecology of Sustainable Food Systems. CRC Press. New York. p. 384. ISBN 0-8493-2845-4.

Haberle, J., Trčková, M., Růžek, P. 2008. Příčiny nepříznivého působení sucha a dalších abiotických faktorů na příjem a využití živin obilninami a možnosti jeho omezení. Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i. Praha. 28 s. ISBN 978-80-87011-45-4.

Hejný, S., Slavík, B. 1990. Květena 2. Academia. Praha. 544 s.

Holec, J., Soukup, J. 2001. Významnější plevelné druhy rodu *Amaranthus* L. Sborník pracovního semináře Výzkumné trendy v agrotechnice a meteorologii. KOPRA AF ČZU. 46 - 47 s.

Holm, L., Plucknett, D. L., Pancho, J. V., Herberger, J. P. 1991. The World's worst weeds: distribution and biology. Krieger Publishing Company. Malabar, Florida. p. 609. ISBN 0-89464-415-7.

Houghton, J. 1998. Globální oteplování. Academia. Praha. 228 s. ISBN 80-200-0636-2.

- Hron, F., Kohout, V. 1988. Plevelle polí a zahrad. Ministerstvo zemědělství a výživy ČR. 343 s.
- Hron, F., Vodák, A. 1959. Polní plevelle a boj proti nim. Státní zemědělské nakladatelství. Praha. 379 s.
- Hyvönen, T., Luoto, M., Uotila, P. 2012. Assessment of weed establishment risk in a changing European climate. p. 348-360.
- IPCC. 2007. Souhrnná zpráva – Shrnutí pro politické představitele. [on-line] Dostupné z URL: [http://amper.ped.muni.cz/gw/ipcc\\_cz/Shrnujici.pdf](http://amper.ped.muni.cz/gw/ipcc_cz/Shrnujici.pdf)
- IPCC. 2007. Summary for Policymaker. Climate change. [on-line] Dostupné z URL: <http://www.ipcc.ch/>
- Janouš, D. 2010. Vliv oxidu uhličitého v ovzduší na růst rostlin. [on-line] Dostupné z URL: <http://3pol.cz/864-vliv-oxidu-uhliciteho-v%20ovzdusi-na-rust-rostlin>
- Jursík, M., Holec, J., Soukup, J. 2004. Biologie a regulace významných plevelů cukrové řepy – Laskavec ohnutý (*Amaranthus retroflexus* L.). Listy cukrovarnické a řepařské. 120. č.3. 87 – 92 s.
- Jursík, M., Holec, J., Hamouz, P., Soukup, J. 2011. Plevelle – biologie a regulace. Kurent, s.r.o. České Budějovice. 232 s. ISBN 978-80-87111-27-7.
- Kadrnožka, J. 2008. Globální oteplování Země – Příčiny, průběh, důsledky, řešení. Vysoké učení technické v Brně – nakladatelství VUTIUM. Brno. 467 s. ISBN 978-80-214-3498-1.
- Kazda, J., Mikulka, J., Prokinová, E. 2010. Encyklopedie ochrany rostlin: polní plodiny. Profi Press, s.r.o. Praha. 399 s. ISBN 978-80-86726-34-2.
- Kohout, V. 1997. Plevelle polí a zahrad. Agrospoj. Praha. 235 s.
- Kutílek, M. 2008. Racionálně o globálním oteplování. Dokořán, s.r.o. Praha. 185 s. ISBN 978-80-7363-183-3.
- Körner, C. 2003. Atmospheric CO<sub>2</sub> enrichment – an ecological perspective. Physiological Plant Ecology. 4th edition. Springer. p. 177 – 184.

- Kumar, N., Kumar, S., Ahuja, P. S. 2005. Photosynthetic characteristics of *Hordeum*, *Triticum*, *Rumex*, and *Trifolium* species at contrasting altitudes. *Photosynthetica* 43 (2): p. 195 – 201.
- Lösh, R. 2001. Wasserhaushalt der Pflanzen. Quelle und Meyer. 595 s. ISBN 3-494-02238-0.
- Marek, M. V. 2005. Globální změna klimatu a její možné účinky na lesní hospodářství II. Fyziologické základy působení CO<sub>2</sub> na lesní ekosystémy. Vysoké učení technické v Brně – nakladatelství VUTIUM. Brno.
- Metelka, L., Tolasz, R. 2009. Klimatické změny: fakta bez mýtů. Univerzita Karlova v Praze, Centrum pro otázky životního prostředí. Praha. 35 s. ISBN 978-80-87076-13-2.
- Mikulka, J., Chodová, D., Martinková, Z., Kohout, V., Soukup, J., Uhlík, J. 1999. Plevelné rostliny polí, luk a zahrad. *Farmář – Zemědělské listy*. Praha. 160 s. ISBN 80-902413-2-8.
- Mikulka, J., Kneifelová, M., Martinková, Z., Soukup, J., Uhlík, J. 2005. Plevelné rostliny. Profi Press, s.r.o. Praha. 148 s. ISBN 80-902413-02-8.
- Mikulka, J., Štrobach, J., Andr, J., Burešová, V. 2010. Metody regulace invazivních plevelů na zemědělské půdě. Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i. Praha. 32 s. ISBN: 978-80-7427-042-0.
- Mlíkovský, J., Stýblo, P. 2006. Nepůvodní druhy fauny a flóry České republiky. ČSOP. Praha. 496 s.
- Morgan, J. A., Pataki, D. E., Körner, C., Clark, H., Del Grosso, S.J., Grünzweig, J.M., Knapp, A.K. et al. 2004. Water relations in grassland and desert ecosystems exposed to elevated atmospheric CO<sub>2</sub>. *Oecologia* (2004) 140: p. 11 – 25.
- NASA. 2012. The current and future consequences of global change. [on-line] Dostupné z URL: <http://climate.nasa.gov/effects>
- Nátr, L. 1998. Fotosyntéza. Fyziologie rostlin. Academia. Praha. 484 s. ISBN 80-200-0586-2.
- Nátr, L. 2000. Koncentrace CO<sub>2</sub> a rostliny. ISV nakladatelství. Praha. 257 s. ISBN 80-85866-62-5.
- Nátr, L. 2006. Země jako skleník: proč se bát oxidu uhličitého? Academia. Praha. 143 s. ISBN 80-200-1362-8.

- Nemešová, I., Pretel, J. 1998. Skleníkový efekt a životní prostředí: Podstata, rizika, možná řešení a mezinárodní souvislosti. Ministerstvo životního prostředí, Český hydrometeorologický ústav. Praha. 76 s. ISBN 80-7212-046-8.
- NOAA. 2013. National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) USA [on-line] Monthly Mean Concentrations at the Mauna Loa Observatory [cit. 2.3. 2013] Dostupné z URL: <http://co2now.org/images/stories/data/co2-mlo-monthly-noaa-esrl.pdf>
- Patterson, D. T. 1995. Weeds in a Changing Climate. *Weed Science*. 43 (4). p. 685 – 701.
- Peters, R. L., Darling, J. D., S. 1985. The Greenhouse Effect and Nature Reserves. *BioScience*. Vol. 35. No. 11, The Biological Diversity Crisis (Dec., 1985). p. 707 – 717. [on-line] Dostupné z URL: <http://www.jstor.org/stable/10.2307/1310052>
- Poorter, H. 1993. Interspecific variation in the growth response of plants to an elevated ambient CO<sub>2</sub> concentration. *Vegatatio* 104/ 105. p. 77 – 97.
- PP SYSTEMS. 2010. CIRAS2, Portable Photosynthesis System Operator's Manual. Version 2.04.2010. PP Systems Europe, UK.
- Pretel, J. 2012. Klimatické změny a jejich dopady na život lidí. ČHMÚ. 40 s.
- Procházka, S., Macháčková, I., Krekule, J., Šebánek, J. 1998. Fyziologie rostlin. Academia. Praha. 484 s. ISBN 80-200-0586-2.
- Root, T. L., Price, J. T., Hall, K. R., Schneider, S. H., Rosenzweig, C., Pounds, J. A. 2003. Fingerprints of global warming on wild animals and plants. *Nature* 421. p. 57 – 60.
- Sage, R. F., Kubien, D. S. 2003. Quo vadis C<sub>4</sub>? An ecophysiological perspective on global change and the future of C<sub>4</sub> plants. *Photosynthesis Research*, 77 (2 – 3). p. 209 – 225.
- Samec, P. 2008. Změny klimatu a lesnictví. Česká zemědělská univerzita v Praze. Praha. 142 s. ISBN 978-80-213-1841-0.
- Shanley, B., Lewis, O. 1969. The protein nutritional value of wild plants used as dietary supplements. *Plant Food for Human Nutrition*. New York. p. 258.
- Volk, M., Niklaus, P. A., Körner, C. 2000. Soil moisture effects determine CO<sub>2</sub> – responses of grassland species. *Oecologia* 125. p. 380 – 388.

Walker, D. 1992. Energy, Plants and Man. University of Sheffield. Brighton. p. 277. ISBN 1-870232-05-4.

Žalud, Z., Trnka, M., Dubrovský, M., Hlavinka, P., Semerádová, D., Kocmánková, E. 2009. Očekávané dopady změny klimatu na zemědělskou produkci. Ústav agrosystémů a bioklimatologie, Mendelova zemědělská univerzita v Brně. [on-line] Dostupné z URL: [http://www.ufa.cas.cz/dub/crop/2009-kukurice\\_v\\_praxi-zdenek.pdf](http://www.ufa.cas.cz/dub/crop/2009-kukurice_v_praxi-zdenek.pdf)