

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra botaniky a fyziologie rostlin



Vliv zvýšené koncentrace CO₂ na tvorbu výnosu pšenice seté

Bakalářská práce

Autor práce: Martin Olišar

Vedoucí práce: Ing. František Hnilička, Ph.D.

© 2013 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Vliv zvýšené koncentrace CO₂ na tvorbu výnosu pšenice seté" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 10.dubna 2013

Martin Olišar

Poděkování

Velmi děkuji panu Ing. Františku Hnilčkoví, Ph.D. za ochotu vést mou práci a za cenné rady a připomínky k textu.

Vliv zvýšené koncentrace CO₂ na tvorbu výnosu pšenice seté

Effect of an increased CO₂ concentration on wheat yield formation

Souhrn

Bakalářská práce je řešena formou literární rešerše. V literární rešerši je řešena problematika tvorby biologického a hospodářského výnosu pšenice seté (*Triticum aestivum* L.) za působení zvýšené koncentrace oxidu uhličitého (CO₂).

Oxid uhličitý se do atmosféry přirozeně dostává při respiraci všech živých organismů, dále vzniká při hoření a je produktem mnoha chemických reakcí. Člověk jeho koncentraci navýšil spalováním fosilních paliv. Oxid uhličitý je fixován do organických látek fotosyntézou.

Bylo zjištěno, že zvýšená koncentrace CO₂ vede obecně k většímu biologickému i hospodářskému výnosu o 36 % u C₃ rostlin a 14 % u C₄ rostlin, které jsou stávající koncentrací téměř saturovány, proto se u nich větší nárůsty výnosů nečekají. Literární prameny se však ve výši vlivu vyšší koncentrace CO₂ významně liší.

Bylo zjištěno, že rostliny reagují na vyšší koncentraci CO₂ přivřením průduchů a snížením transpirace.

Dále bylo zjištěno, že globální oteplování může zlepšit podmínky pěstování některých polních plodin a to především změnou rajonizace a prodloužením teplého období roku. Mezi rizika patří nedostatek srážek, riziko sucha, častější výskyt přívalových srážek či riziko eroze.

Klíčová slova: pšenice, výnos, koncentrace CO₂, *Triticum aestivum*

Summary

In this literary research we are solving problem of making biological and economic yield of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) with influence of elevated concentration of carbon dioxide (CO₂).

Carbon dioxide is getting to the atmosphere as product of respiration of all living species it is also product of burning and many other chemical reactions. Humans have increased its concentration through burning fossil fuels (coal, gas, oil). Carbon dioxide is fixated into organic compounds by green plants in photosynthesis.

It has been realized impact of global warming on plants, and possibilities of adaptation. It has been found out that elevated concentration of CO₂ generally leads to bigger biological and economic yield. Yield was bigger by 36 % in C₃ plants and by 14 % in C₄ plants, which are now almost saturated with CO₂ and we can't expect higher yield. Sources of literature are strongly different in influence of higher concentration CO₂.

It has been found out, that plants respond to elevated CO₂ concentration by closing stomata and slowing down transpiration.

It has been also found out that global warming could improve growing conditions of some field plants. It can change regionalization, and extend warm weather season. As a danger we can see lack of precipitation, risk of drought and occurrence of strong rain and soil erosion.

Keywords: wheat, yield, concentration CO₂, *Triticum aestivum*

OBSAH

1. Úvod.....	8
2. Cíl práce.....	9
3. Literární přehled	10
3.1 Pšenice setá - botanická charakteristika.....	10
3.1.1 Pšenice obecná – <i>Triticum aestivum</i> L.	10
3.1.2 Historie a současnost pěstování	10
3.2 Nároky na pěstování.....	11
3.2.1. Rajonizace.....	11
3.2.2 Zařazení do osevního postupu	13
3.2.3 Zakládání porostu	14
3.2.4 Výživa a hnojení pšenice	15
3.2.5 Sklizeň	16
3.3 Tvorba výnosu u pšenice.....	18
3.3.1 Biologický výnos	18
3.3.2 Hospodářský výnos.....	20
3.4 Změny koncentrace CO ₂ v atmosféře	23
3.4.1 Uhlík v rostlinách a atmosféře	23
3.4.2 Vývoj koncentrace CO ₂ v atmosféře.....	23
3.4.3 Koloběhy uhlíku a CO ₂ v přírodě	25
3.4.4 Změna klimatu	26
3.5 Vliv změn koncentrace CO ₂ na rostliny.....	28
3.5.1 Fotosyntéza	28
3.5.2 Fotorespirace.....	29
3.5.3 C ₃ a C ₄ rostliny	29
3.5.4 Další procesy probíhající v rostlině	30

3.5.5 Skleníkový efekt	31
3.6 Vliv CO ₂ na výnos	31
3.6.1 Vliv CO ₂ na biologický výnos	31
3.6.2 Vliv CO ₂ na hospodářský výnos	32
3.7 Shrnutí	33
4. Závěr	36
5. Seznam literatury	37
6. Seznam použitých zkratk	42

1. ÚVOD

Jak dokládají objektivní měření koncentrace CO_2 v atmosféře stále stoupá. Spolu s tím také probíhá diskuze o dopadech tohoto fenoménu na planetu, zejména na činnost člověka. Existují názory o vlivu tohoto plynu na tzv. globální oteplování a na frekvenci a sílu přírodních katastrof. Vedle těchto negativních jevů má CO_2 důležitou úlohu v živých organismech. Uhlík je základním prvkem organické hmoty. CO_2 z atmosféry je fixován v procesu fotosyntézy do energeticky bohatých látek, primárně cukrů. Ty se však záhy mění na další důležité látky (polysacharidy, bílkoviny, aj.). Přítomnost CO_2 přímo ovlivňuje činnost fotosyntézy, čili i rychlost akumulace asimilátů vč. zásobních látek. Tím dochází k ovlivnění biologického i hospodářského výnosu. Tato skutečnost je velmi důležitá v kontextu stoupající koncentrace CO_2 . Dá se říci, že současný trend přeje zvyšování výnosů, nicméně ruku v ruce se zvyšováním koncentrace CO_2 jde i jev zvaný globální oteplování, který bude, podle současných prognóz, výnos kulturních rostlin limitovat dostupností vody. Vědci proto nabádají, aby byl tento budoucí selekční tlak již uvažován ve šlechtitelských procesech. Další špatnou stránkou jsou dle prognóz, čtenější extrémní srážkové jevy, jako třeba kroupy či přivalové srážky.

Vzhledem k současnému exponenciálnímu růstu počtu obyvatel je potřeba řešit otázku: Čím lidstvo nakrmíme? V současné době již existuje několik možností, ať už probíhá intenzivní šlechtění i s GMO, tak například pokusy s novými morfotypy, ale i se změnami v agrotechnice, zmiňme např. precizní zemědělství. Skleníkový efekt je proces, který bude naši snahu globálně komplikovat.

2. CÍL PRÁCE

Zvyšování koncentrace oxidu uhličitého má přímý dopad na rostliny, kdy u nich dochází ke zvyšování fotosyntézy, listové plochy, množství sušiny a v neposlední řadě také ke zvyšování výnosu.

Z výše uvedeného vyplívají následující cíle práce:

- a) formou literární rešerše shrnout vliv zvyšující se koncentrace oxidu uhličitého na fyziologické reakce rostlin,
- b) formou literární rešerše shrnout vliv zvýšené koncentrace oxidu uhličitého na tvorbu a výši výnosu rostlin, především pšenice.

3. LITERÁRNÍ PŘEHLED

3.1 PŠENICE SETÁ - BOTANICKÁ CHARAKTERISTIKA

3.1.1 PŠENICE OBECNÁ – *TRITICUM AESTIVUM* L.

Jak uvádí Dostál (1989) pšenice náleží do čeledi *Poaceae*, (lipnicovité) a jde o jednoděložnou rostlinu. Zimolka a kol. (2005) uvádí, že podle ploidie rozlišujeme tři skupiny zástupců rodu *Triticum* (Jedná se o diploidní pšenice ($2n=14$) *Triticum boeoticum* (Boiss.) či *Triticum monoccocum* L. což jsou obě jednozrnky bez významného pěstitelského užítku. Dále o tetraploidní pšenice ($2n=28$) s významnými zástupci pšenice polské (*Triticum polonicum*) a pšenice tvrdé (*Triticum durum*), která je používána k výrobě těstovin. Nejvýznamnějšími pšenicemi z hlediska pěstitelského použití jsou hexaploidní pšenice s pšenicí špaldou (*Triticum spelta* L.), která je užívána k výrobě těstovin a v ekologickém zemědělství. Nejpěstovanějším druhem je pšenice setá (*Triticum aestivum* L.).

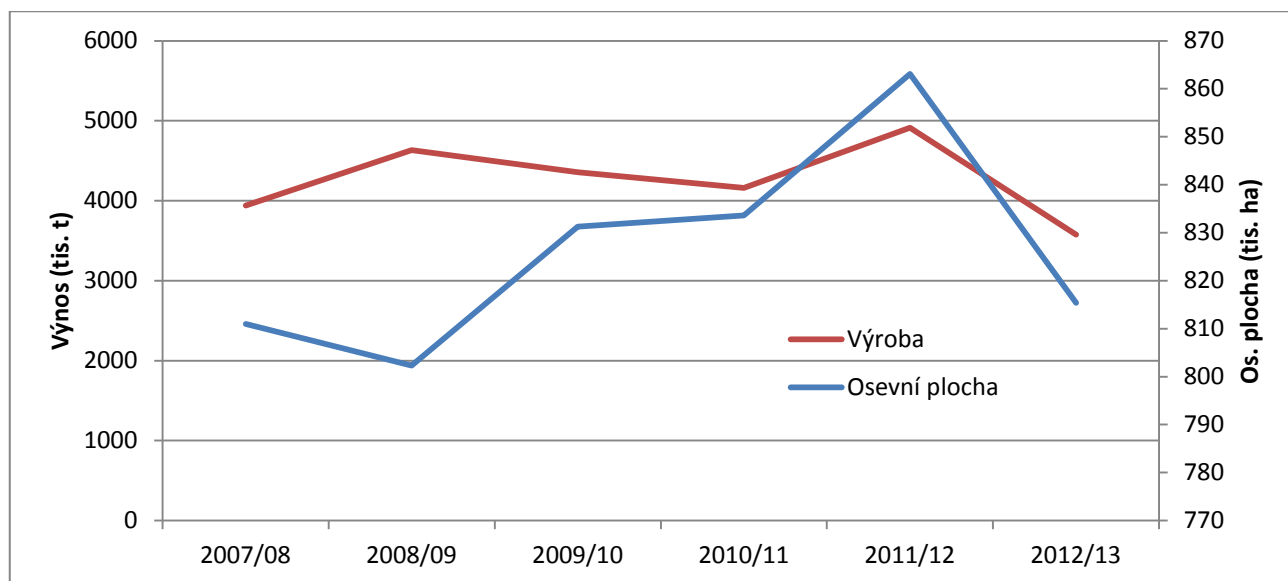
3.1.2 HISTORIE A SOUČASNOST PĚSTOVÁNÍ

Martinek a Kadlíková (2011) uvádí, že plané formy pšenice dvouzrnky byly pěstovány lidmi již před 19 tis. lety a rod *Triticum* je pěstován již 5 tis. až 6 tis. let, jak uvádí Křen a kol. (1998). Od té doby došlo vlivem silných tlaků prostředí a hlavně tlakem pěstitelů na kvalitní a pěstitelsky výhodné, díky tomu se vyvinuly různé formy pšenice. Martinek a Kadlíková (2011) dále zmiňují, že z hlediska rozpadavosti klasu rozlišujeme klas rozpadavý (např. *Triticum boeoticum*), lámavý klas pšenice špaldy (*Triticum spelta* L.) a nelámavý klas nejrozšířenější pšenice seté (*Triticum aestivum* L.).

Ze statistik FAO, dostupných z < <http://faostat3.fao.org> > vyplývá, že pšenice obecná (*Triticum aestivum* L.) je nejrozšířenější plodinou ve světě (224 mil. ha), za ní následuje kukuřice (161 mil. ha), rýže (159 mil. ha) a sója (97 mil. ha). Podle výnosů je však až na třetím místě. Podle statistik FAO z roku 2008 byla první kukuřice ($5,1094 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$), potom rýže ($4,3094 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$), pšenice byla třetí v pořadí ($3,0861 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) následovaná sójou ($2,3841 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$).

Situační a výhledová zpráva obiloviny 2012 uvádí, že osevň plocha obilovin v tomto období dosáhla výměry 815,4 tis. ha. Pokles výměry o 5,5 % způsobilo poškození pšenice ozimé holomrazy, kdy musely být plochy zaorány. Graf 1 ukazuje srovnání vývoje osetých ploch a výroby pšenice v letech 2007/2008 až 2012/2013, kdy se jedná o odhad. Z něj je patrné, že až na dvě výjimky celková výroba pšenice koresponduje s osetou plochou. První výjimka je rok 2008/2009, který byl výnosově velmi dobrý a druhá výjimka je rok 2011/2012, kdy byly

poškozeny porosty jarními holomrazy a následně silným přisuškem na jaře. Odhad na rok 2012/2013 ukazuje, že pokles ve výrobě bude způsoben poklesem oseté plochy.

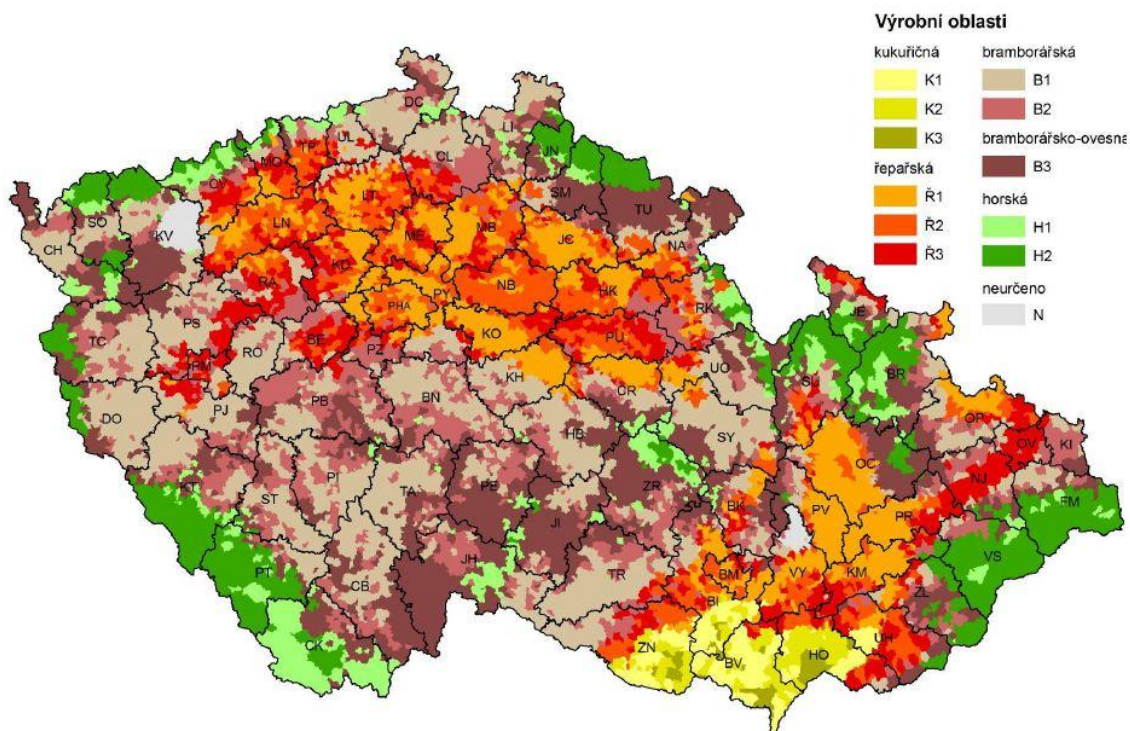


Graf 1: Srovnání vývoje osetých ploch (v tis. ha) s výrobou (v tis. t) v řadě let od 2007/2008 až 2012/2013 (Kůst a Potměšilová, 2012)

3.2 NÁROKY NA PĚSTOVÁNÍ

3.2.1. RAJONIZACE

Půdní a klimatické faktory prostředí jsou při pěstování prakticky jakékoli plodiny velmi významným faktorem, který ovlivňuje to, jak se bude plodina dařit a jaký bude mít výnos. Palík a kol. (2009) uvádí mapu výrobních oblastí České republiky na Obrázku 1. Křen a kol. (1998), Zimolka a kol. (2005) se shodují, že na základě dlouhodobých výnosových výsledků z polyfaktoriálních pokusů vyplývá ovlivnění výnosu z 25 % právě vlivem stanoviště a ročníku. Křen a kol. (1998) dále dodávají, že tak je vliv stanoviště a ročníku větší, než vliv půdního typu a půdního druhu. Je tomu tak proto, že vliv těchto faktorů je možné ovlivnit agrotechnikou. Petr (2001) staví vliv předplodiny na přední úroveň. Ta podle něj může velmi výrazně zlepšit strukturu, biologickou aktivitu, fyzikální poměry půdy. Ty pak mohou v kombinaci s vhodnou operací přípravy půdy vylepšit i méně vhodné stanoviště, jak uvádí Faměra (1993), který dále vyzdvihuje právě ovlivnění humifikačních procesů v půdě, což podle něj má velký vliv na rozvoj rostliny v průběhu vegetace.



Obrázek 1: Mapa výrobních oblastí České republiky (převzato z Palík a kol., 2009)

Pšenice se pěstuje ve všech výrobních oblastech. Od těch s velmi dobrými podmínkami, až po ty s nevhodnými podmínkami. To se podepisuje i na kvalitě vyprodukované pšenice. Křen a kol. (1998), vymezuje území České republiky do čtyř oblastí z hlediska použití k potravinářským účelům:

Oblasti s velmi dobrými podmínkami

Podle agroklimatických kritérií se jedná o oblasti dostatečně teplé až velmi teplé, podoblasti jsou převážně suché až velmi suché. V jarním a letním období se průměrné denní teploty pohybují mezi 14-17 °C a úhrn srážek je nízký (250-350 mm). Tomu odpovídají nízké hodnoty hydrotermických koeficientů za červen až září (do 1,4). Tyto oblasti jsou charakteristické vysokými úhrnnými hodnotami slunečního svitu během jarního a letního vegetačního období (na jižní Moravě 1400-1500 hodin, v severozápadních Čechách 1300-1400 hodin). K převažujícím půdním typům patří nívní půdy, černozemě, hnědozemě a rendziny.

Oblasti s převážně vyhovujícími podmínkami

Podle agroklimatických kritérií se jedná o oblasti poměrně až dostatečně teplé, podoblasti jsou mírně suché až převážně suché. Průměrná jarní a letní teplota je 13-15 °C, úhrn srážek na

Moravě 350-400 mm, v Čechách do 350 mm, hydrotermický koeficient 1,4-1,5. Množství slunečního svitu dosahuje 1400-1500 hodin na Moravě a v Čechách 1300-1400 hodin. Půdní typy jsou hnědozemě, nivní půdy a rendziny, v Čechách černozemě.

Oblasti s převážně nevyhovujícími podmínkami

Zahrnují oblasti mírně teplé až poměrně teplé a podoblasti mírně vlhké až mírně suché. Průměrná jarní a letní teplota je 12-14 °C, úhrn srážek 400-500 mm, v Čechách i méně. Hodnoty hydrotermického koeficientu za červen až srpen se pohybují mezi 1,5-1,8. Sluneční svit v jarním a letním vegetačním období dosahuje 1200-1300 hodin. Převládají půdy podzolové, v nižších polohách jsou zastoupeny také hnědozemě. V těchto oblastech se dobrá pekařská jakost zrna dosahuje pouze ve zvláště příznivých letech.

Oblasti s nevhodnými podmínkami

Jsou chladné a vlhčí, s průměrnou jarní a letní teplotou 11-13 °C (s výjimkou horských poloh) a úhrnem srážek nad 500 mm (s výjimkou některých území v Čechách). Hydrotermický koeficient přesahuje hodnotu 1,8. Úhrnný sluneční svit během jarního a letního vegetačního období je krátký (1200 hodin). Většina půd je podzolových.

3.2.2 ZAŘAZENÍ DO OSEVNÍHO POSTUPU

Pšenice je plodinou velmi náročnou na předplodinu. Křen a kol. (1998) uvádí, že obecně nejlepší předplodinou jsou víceleté pícniny. Především pro jejich schopnost fixace vzdušného dusíku a také pro množství posklizňových zbytků, které později pozitivně působí na tvorbu výnosu. Uvedení autoři dále uvádí, že taková předplodina může zvyšovat vláhový deficit půdy, což má vliv na výnos, ale nikoli na kvalitu zrna.

Křen a kol. (1998) uvádí jako další možnost použití luskovinoobilné směsky. Ta je dobrým řešením, ovšem za předpokladu, že neobsahuje příliš velký podíl obilnin. Dále je vhodné použít olejniny či okopaniny, pokud jsou hnojeny chlévským hnojem a pokud nekolidují agrotechnické lhůty sklizně a setí.

Podle Zimolky a kol. (2005) jsou nejméně vhodnou předplodinou obiloviny. Tato kombinace má negativní vliv na výnos a i na kvalitu zrna, a zvláště nebezpečný je rozvoj specifických plevelů a chorob obilovin.

Faměra (1993) konstatuje, že nejcitlivější na předplodinu jsou pšenice v horších bramborářských a horských oblastech. Naopak v řepařské oblasti stačí zvolit vhodnou (tolerantní) odrůdu a velkým propadům ve výnosech a kvalitě se lze vyhnout.

3.2.3 ZAKLÁDÁNÍ POROSTU

Křen a kol. (1998) uvádí, že příprava seťového lůžka a uložení semene do půdy je základním faktorem kvality porostu. Kvalita setí je přímo úměrná s výší výnosů pšenice. Při zakládání je třeba myslet především na rovnoměrné horizontální a vertikální uložení semen v půdě, což má zásadní vliv na tvorbu vyrovnaně hustého porostu. Správná hustota porostu pak umožňuje maximální využití plochy pozemku pro asimilační činnost porostu. Zároveň správně hustý, zapojený porost potlačuje prosazování plevelů a snižuje tak náklady na pozdější herbicidní ošetření. Naopak příliš hustý porost může usnadnit prosazení houbových chorob, především nutí rostliny mezi sebou k silnému konkurenčnímu boji o zdroje. Což ochuzuje půdu o živiny, které pak nejsou využity pro tvorbu výnosu. Příliš řídký založený porost potřebuje delší čas k zapojení, případně se mu nemusí podařit zapojit vůbec. Odhalená půda je ideálním místem pro rozvoj plevelů a k neproduktivnímu výparu vody.

Uvedení autoři dále konstatují, že při zmenšování meziřádkové vzdálenosti každé zúžení řádku o 1 cm zvyšovalo výnos o 0,17 %. Z toho vyplývá, že z hlediska plošného rozmístění semen je nejvhodnější tzv. páskové setí, při kterém nejsou vytvářeny řádky.

Dalším velmi významným faktorem při zakládání porostu je termín setí, jak dokládá ve své práci Zimolka a kol. (2005). Tichý a kol. (2001) uvádí, že při opožděném setí vzrůstá vliv povětrnostních. Křen a kol. (1998) uvádí, že při příliš raném setí dochází k rychlejšímu vývoji rostlin a dodává, že rostlina pak nepřežimuje v ideální růstové fázi a je náchylnější k vymrznutí. To se může stát nejen při raném setí, ale i při příliš dobrých povětrnostních podmínkách, což zmiňuje Zimolka a kol. (2005). Křen a kol. (1998) pak doporučují porost ošetřit aplikací morforegulatorů, konkrétně doporučuje např. Retacel extra R 68, Stabilan 750 SL, nebo CCC Stefes. Zimolka a kol. (2005) namítá, že to je náklad snižující rentabilitu pěstování.

Setí po agrotechnickém termínu snižuje výnos. Nejvíce tolerantní jsou odrůdy s dobrou odnožovací schopností.

3.2.4 VÝŽIVA A HNOJENÍ PŠENICE

Zimolka a kol. (2005) uvádí, že při uvažování hnojení je třeba brát v potaz zásobenost stanoviště, s čímž úzce souvisí předplodina, fyzikálně-chemické parametry půdy a specifické nároky jednotlivých plodin na výživu.

Jako hlavní prvky sledujeme N, P, K, Ca, Mg. Liebig (1843) uvádí, že při růstu rostlin platí zákon minima, který říká, že růst rostlin omezuje ten prvek, který je rostlině nejméně přístupný. Z čehož vyplývá, že neexistují nedůležité živiny. Všechny jsou důležité a cílem je zajistit rostlině dostatečné množství přístupných živin. Zimolka a kol. (2005) upozorňuje na potřebu péče o správné pH půdy z důvodu dobré přístupu živin a doporučuje vápnit k organicky hnojeným předplodinám. Za nejlepší způsob zjištění potřeby vápnění považuje laboratorní stanovení hodnoty výměnného pH, které by nemělo klesnout pod 6,0.

Zimolka a kol. (2005) a Křen a kol. (1998) shodně dělí hnojení do čtyř dávek. Dělí hnojení na základní, regenerační, produkční a kvalitativní. Faměra (1993) místo kvalitativní dávky používá termín pozdní.

Základní hnojení se provádí na podzim se zapravením do půdního profilu, vhodná jsou statková hnojiva. Zimolka a kol. (2005) doporučuje dávkovat hnojivo s ohledem na předplodinu a celkový stav půdy. Faměra (1993) navrhuje základní dávku vypustit úplně a zdůvodňuje to malou využitelností dusíku rostlinami v podzimním a zimním období. Doporučuje dusík dodat ve zvýšené míře později, při intenzivnějších obdobích růstu. Tentýž autor ale doporučuje dodat dusík při zaorávání většího množství posklizňových zbytků, pro vytvoření příznivého poměru C : N, který je důležitý pro mineralizaci.

Regenerační hnojení se provádí na jaře. Účelem opatření je nastartovat růst porostu po zimním období a podpořit odnožování. Růžek a kol. (2009) uvádí, že na dávku dusíku a termín její aplikace má vliv zásoba minerálního dusíku v půdě a stav porostu, především jeho hustota po zimě a celkové zdraví. Křen a kol. (1998) doporučuje u hůře přezimovaných porostů aplikovat do 30 kg N.ha⁻¹ ve formě LAV. Faměra (1993) doporučuje při časně možnosti regeneračního hnojení dávku rozdělit na dvě aplikace.

Produkční hnojení se provádí na počátku sloupkování. Jejím účelem je podpořit utváření základů klasu, jakožto výnosotvorného prvku. Faměra (1993) doporučuje aplikovat 30-50 kg N.ha⁻¹ kapalnými hnojivy např. DAM 390. Palík a kol. (2009) zmiňuje možnost aplikovat

močovinu až 55 kg čistého N.ha⁻¹ na počátku druhé poloviny sloupkování do objevení posledního listu.

Kvalitativní hnojení se provádí před nebo v době metání. Faměra (1993) doporučuje hnojit pevnými hnojivy s dobře seřízeným rozmetadlem, aby nedošlo k mechanickému poškození porostu. Dále upozorňuje na nutnost dostatečného množství vláhy pro účinek hnojiva. Navrhuje dávku kolem 30 kg N.ha⁻¹, která by měla podpořit tvorbu zrna v klase. Palík a kol. (2009) uvádějí doporučenou dávku 40 až 60 kg N.ha⁻¹. Autoři dále uvádí, že takové přihnojení může mít pozitivní vliv na HTS a obsah bílkovin v zrna. Dále upozorňuje na možnost použít kapalné hnojivo DAM 360 za použití hadicového aplikátoru. Křen a kol. (1998) uvádí, že tato pozdní aplikace má smysl pouze u potravinářské pšenice a množitelských porostů. Za základ úspěšného zásahu považuje vhodné vláhové poměry a dobrý zdravotní stav porostu, dávkování doporučuje na 30 - 40 kg N.ha⁻¹, přičemž upozorňuje na nutnost přihlídnutí k množství dusíku dodaného již v předchozích aplikacích.

3.2.5 SKLIZEŇ

Křen a kol. (1998) definují stupně zralosti pšenice takto:

Mléčná zralost (DC 75) nastává, když žloutnou a zasychají spodní listy na rostlině, všechna kolénka jsou zelená a šťavnatá, plevy pluchy a plušky jsou zelené, z obilky po stisknutí vytéká tekutina mléčného charakteru.

Vosková zralost (DC 85) nastává tehdy, pokud je celá rostlina žlutá, kolénka slabě zelená a šťavnatá, obilky a klas jsou vybarveny typicky pro odrůdu, obilky se mezi prsty hnětou (jako vosk).

Žlutá zralost (DC 90) nastává, pokud všechny části rostliny jsou typicky slámově žluté a zaschlé, kolénka jsou hnědá, ale nezaschlá, jen ve spodní polovině stébla zasychají a srašťují se. V obilce po vrypu nehtem zůstává rýha, přívod zásobních látek do obilky je ukončen.

Plná zralost (DC 92) je definovaná jako všechny části rostlin, tedy i kolénka na celém stéble, jsou zaschlá a srašťelá, obilka je tvrdá, nedá se do ní rýpnout nehtem a těžko se láme, u některých odrůd je nyní nebezpečí lámání stébla a výdrolu obilek.

Zimolka a kol. (2005) upozorňuje na skutečnost, že pšenice obvykle dozrává nestejně, proto je třeba provádět odběry a pozorování zralosti na různých částech honu s přihlídnutím k terénním dispozicím honu. Zimolka (2005) nabízí možnost desikace, což je chemický zásah,

který ukončí růst a urychlí dozrávání. Faměra (1993) upozorňuje na riziko snížení potravinářské kvality produktu.

Jak se shoduje Zimolka a kol. (2005), Křen a kol. (1998), Faměra (1993), samotná sklizeň se



Obrázek 2: Ukázka mechanizované sklizně maloparcelkovou sklízecí mlátičkou Wintersteiger (foto: autor)

provádí jednorázově sklízecími mlátičkami. Všichni též upozorňují na nutnost správného seřízení sklízecí mlátičky. Obrázek 4 a Obrázek 5 ukazují dvě možnosti velikosti sklízecí mlátičky dle účelu. Na Obrázku 2 je vidět maloparcelková sklízecí mlátička Wintersteiger určená pro sklizeň pokusných parcel do plátěných pytlíků a na Obrázku 3 je klasická sklízecí mlátička firmy Claas pro sklizeň velkých ploch v zemědělském provozu. Zimolka a kol. (2005) navrhuje možný způsob kontroly seřízení mlátičky pomocí výpočtu ztrát na ha. Spočívá

v ohraničení prostoru 1–2 m² a následném sběru vypadlých semen a vydrolení semen z nevymláčených klasů. Následně je nutno získaná

semena zvážit a přepočítat na ha a poté ztrátu vyčíslit v procentech. Dále je nutné stanovit hranici přijatelných ztrát a při jejím překročení znovu seřídít sklízecí mlátičku, či upravit pojezdovou rychlost.



Obrázek 3: Ukázka sklizně sklízecí mlátičkou Claas Lexion

(zdroj:<http://www.agromachinery.cz/domain/agromachinery-s0/files/texty/claas-lexion700.jpg>)

3.3 TVORBA VÝNOSU U PŠENICE

Petr (2000) rozlišuje biologický výnos jako celkovou biomasu rostliny, a hospodářský výnos jako pouze hmotnost obilí. U jiných plodin, například u cukrovky, může být hospodářský výnos roven výnosu biologickému, pokud je sklizen i chrást.

Nátr (2002a) uvádí, že rostliny jsou od začátku šlechtěny, aby dosáhly určitých vlastností, tuto představu nazývá jako ideotyp. Rasmusson (1987) definuje šlechtění na ideotyp jako metodu pro zvýšení genetického výnosového potenciálu, která je založena na modifikaci individuálních znaků, přičemž je specifikován cíl této změny. Hnilička a kol. (2007) ideotyp definuje jako fyziologický a morfologický model rostliny. Dále zdůrazňují, že není vhodné ideotyp definovat globálně, navrhuje proto prezentovat ideotyp s ohledem na konkrétní podmínky konkrétního prostředí.

3.3.1 BIOLOGICKÝ VÝNOS

Petr (1980) uvádí jako hlavní zdroj asimilátů pro biologický výnos fotosyntézu, její rychlost a účinnost zvyšuje biomasu rostliny a definuje tzv. harvest index (sklizňový index) jako podíl hmotnosti sušiny zrna na hmotnosti sušiny rostliny. Martinek a kol. (2011) uvádí, že současné metody šlechtění vedou především ke změnám v proporcích rostlin, tj. ke změně harvest indexu ve prospěch hmotnosti zrna.

Petr (2000) uvádí, že hlavními faktory ovlivňující biologický výnos jsou:

1. Velikost asimilačního aparátu a délka jeho aktivní funkce

Gardner et al. (2003) uvádí, že důležitým faktorem je index listové plochy (Leaf Area Index, LAI) vyjádřený v m^2 listové plochy na m^2 půdy. LAI určuje hodnoty absorpce záření. Nátr (2011) uvádí, že není důležitá velikost listů rostliny, ale rozhodující je schopnost účinně pokrýt plochu. Podle Petra (2000) se LAI dnešních odrůd pohybuje od 4 do 8 m^2 na m^2 půdy. Nátr (2002a) uvádí dokonce 8–11 m^2 na m^2 půdy. Petr (1980) uvádí extrémní naměřené hodnoty až 8-10 m^2 na m^2 půdy. Nátr (2002a) uvádí, že velikost LAI je dána v první fázi růstu na rychlosti klíčení a vnějších podmínkách pro růst rostlin a druhá část, charakterizovaná ukončeným růstem, pak udává velikost LAI dobou, po kterou vydrží být fotosynteticky aktivní. Petr (1980) dále uvádí, že LAI vyjadřuje pouze plochu listů, ovšem fotosynteticky aktivní je i stonek a především klas po vymetání, a to velmi významně. Jak uvádí Martinek a kol. (2011) na pozorování pšenice s různými morfotypy klasu byl změřen nárůst výnosů u

pšenice s dlouhými plevami (LG), jejichž fotosynteticky aktivní povrch v klase je větší. Martinek a kol. (2011) rovněž upozorňuje, že klas je jedna z posledních částí rostliny, které zůstávají fotosynteticky aktivní před sklizní.

2. Výkonnost asimilačního aparátu a rychlost fotosyntézy

Martinek a kol. (2011) uvádí, že srovnání starých a nových odrůd pšenice vede k závěru, že výnosy se nedaří zlepšovat šlechtěním na lepší výkonnost fotosyntézy. Nárůst ve výnosech je tvořen změnami v proporcích rostlin, případně ve zvětšení plochy listů, nebo jejich přímějším postavením ke slunci.

3. Aktivita kořenového systému

Hnilička a kol. (2007) uvádí, že kořeny jsou nejcitlivější částí rostliny v reakci na vnější prostředí. Petr (2000) uvádí, že velikost kořenového systému je třeba podporovat vhodnou volbou způsobu přípravy půdy. Připomíná, že mohutný kořenový systém znamená více vláhy a obecně živin, což se pozitivně projevuje na účinnosti fotosyntézy. Hnilička a kol. (2007) upozorňují dále na schopnost kořenové soustavy tvořit některé fytohormony a na probíhající metabolické procesy. Bláha (2000) v pokusech ověřil, že pšenice reaguje na rozdílné množství živin velikostí hmoty kořenového systému a to tak, že čím menší dostupnost živin, tím více kořenové hmoty tvoří, dle citlivosti odrůdy k nedostatku živin. Bláha a Haberle (1999) uvádějí, že odrůdy pšenice citlivé na nedostatek živin na to reagují vyšší tvorbou kořenové hmoty. Naproti tomu odrůdy odolné či tolerantní k nedostatku živin reagují malým nárůstem kořenové hmoty. Haberle a kol. (1995) uvádí, že staré odrůdy jsou více tolerantní než ty současné na nedostatek živin co se týče podle schopnosti tvořit kořenový systém.

4. Distribuce asimilátů mezi orgány

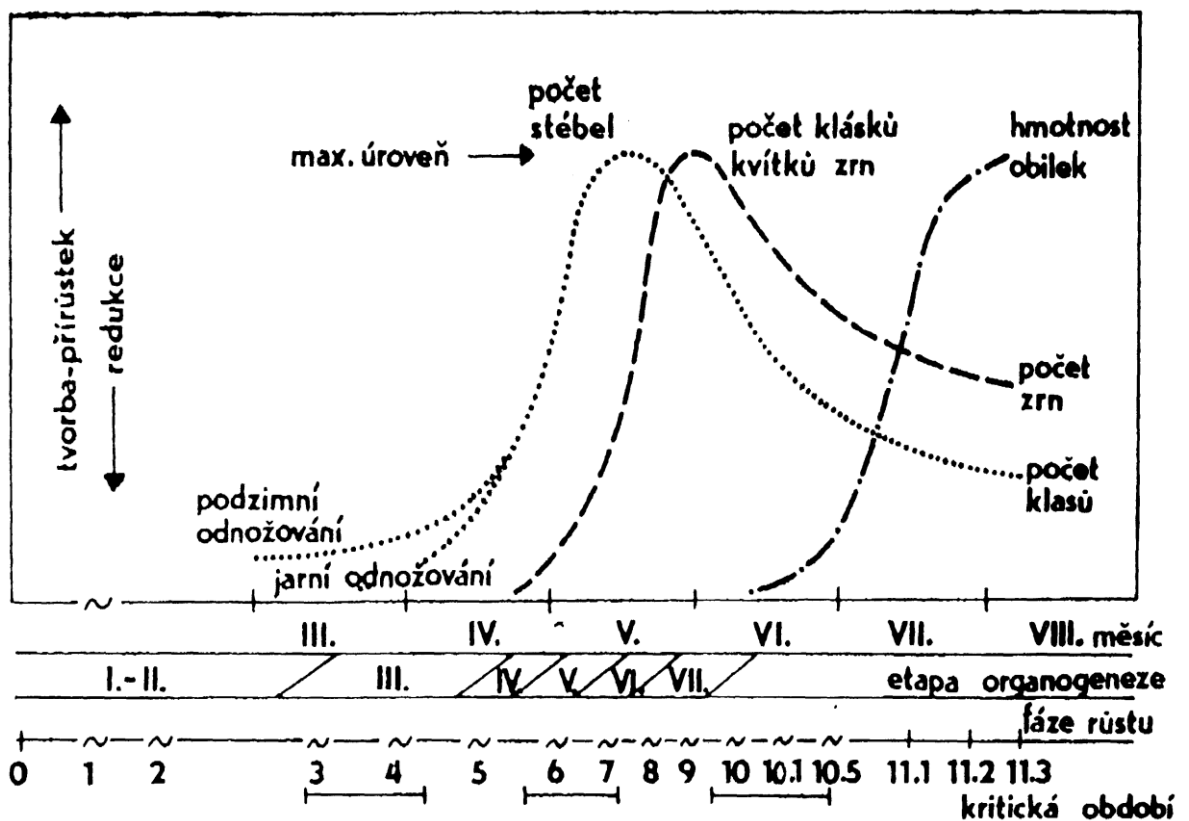
Gardner et al. (2003) uvádí pojmy sink a source, kdy source definuje jako místo, kde látky do rostliny vstupují, nebo kde jsou syntetizovány, a sink je místo, kde jsou tyto látky uplatněny. Dále uvádí, že aby mohlo dojít k uložení látek, je třeba je na dané místo dopravit. Gardner et al. (2003) uvádí, že transport ze zdroje do sinku se děje xylémem vzestupně, touto cestou je transportována voda a ionty z kořenů vzhůru a floémem, ten je sestupný a zabezpečuje transport asimilátů z listů. Uvedení autoři dále uvádějí, že pro výnos je obecná rychlost transportu méně důležitá, než specific mass transfer (SMT), což je hmotnost asimilátů přesunutá průřezem floému za jednotku času. Dále Gardner et al. (2003) upozorňují na možnost remobilizace asimilátů, kdy rostlina může některé látky, mimo strukturních jako je

celulosa a hemicelulosa, přenést do míst, kde jsou aktuálně potřebné. Jedná se o cukry, lipidy a škroby, které mohou být uvolněny a přeneseny například do vzrostného vrcholu, nebo klasu.

Martinek a kol. (2011) uvádí, že nárůst výnosů je způsoben změnami v proporcích rostlin. Petr (2000) uvádí, že poměr zrna ku slámě (tzv. harvest index) se změnil z 1 : 2 - 2,5 u starých odrůd na 1 : 0,8 - 1,3. Ve shodě s Martinek a kol. (2011) uvádí, že změna harvest indexu je největším pokrokem ve šlechtění obilnin.

3.3.2 HOSPODÁŘSKÝ VÝNOS

Evans et Fischer (1999) uvádí definici výnosového potenciálu jako výnos odrůdy pěstované v prostředí, na něž je odrůda zvyklá, za ideálního dostatku živin a vody, aniž by byla limitována škůdci, konkurencí plevelů a jiných stresorů.



Obrázek 4: Dynamika tvorby výnosových prvků u obilnin (Petr,1980)

Petr a kol. (1983) uvádí, že výnosotvorné prvky obilovin vznikají v různých obdobích vývoje rostliny. Tuto dynamiku tvorby výnosů ilustruje Obrázek 4, kde vidíme, ve kterém měsíci dochází k maximálním přírůstkům jednotlivých výnosotvorných prvků. Zároveň popisuje i kritická období, kdy mohou negativní vnější projevy způsobit největší redukci jednotlivých výnosotvorných prvků. Do doby kritických období je možné cílit agrotechnické zásahy, které by měly mít za cíl jednotlivé prvky zlepšit.

Petr a kol. (1983) za výnosotvorné prvky považuje:

1. Počet produktivních stébel na m² (počet klasů na m²)

Petr (1980) uvádí, že počet produktivních stébel na m² je dán A/ počtem rostlin na m². Tento počet je, dle něj, dán kvalitou osiva, procesem setí (kvalitou, hloubkou, dobou a výsevkem), dále průběhem počasí a rozvojem škůdců a chorob, a dále na vnitrodruhové a mezidruhové konkurenci. B/ je dán produktivním odnožováním. To ovlivňují vnitřní faktory jako genotyp, ale i vnější, zejména průběh počasí (především vláhový režim ročníku), dále pohotová zásoba živin v půdním profilu.

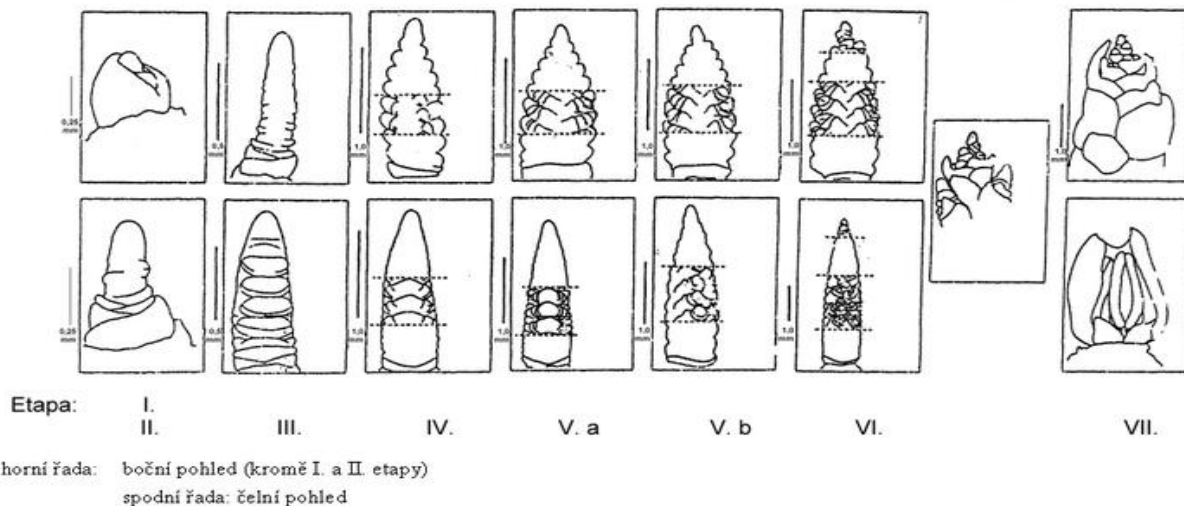
Zimolka a kol. (2005), Křen a kol. (1998) uvádějí, že je výhodné podpořit odnožování vhodným morforegulátorem např. Etephon, nebo CCC. Slavíková (1986) uvádí, že porost má určitou schopnost autoregulace, která u řídkého porostu podpoří odnožování a u hustého porostu, vlivem konkurence, odnožení omezí, tento jev nazývá "samozředování populace". Slavíková (1983) dále uvádí, že vnitrodruhová konkurence v porostu negativně ovlivňuje většinu průměrných a podprůměrných jedinců. Větší jedinci budou přednostně čerpat zdroje, což ve velmi hustém porostu vede k nadměrné mortalitě, která je tím vyšší, čím je vyšší hustota porostu.

Petr a kol. (1983) uvádí několik dalších faktorů ovlivňující odnožování. Jedná se o dobu vývoje, kdy platí, že čím delší je vývoj, tím více rostlina odnožuje. Dále délka jarovizace, kdy Petr a kol. (1983) na souboru tehdejších odrůd naměřili, že čím delší doba jarovizace tím více odnoží, ale mezi odrůdami se objevilo mnoho výjimek. Petr a Hnilička (2002) uvádí, že před dvaceti lety byly pěstovány převážně odrůdy s dobou jarovizace 40-50 dní, odrůdy registrované v roce 2000 požadují i více než 60 dní. Autoři upozorňují, že to může být maximální hodnota, kterou lze v podmínkách České republiky dosáhnout.

2. Počet zrn v klasu

Petr (2000) uvádí, že na přechodu do fáze sloupkování se nachází v porostu stébla v různé etapě vzrostného vrcholu, od IV. do VI. Petr a kol. (1983) uvádí, že samotná délka klasu se zakládá již ve III. etapě, což ukazuje Obrázek 5. Ta však nemusí být rozhodující v konečném počtu semen v klasu. Petr (1980) uvádí, že pro založení určitého počtu semen je u pšenice nutná kombinace teploty a délky dne. Teplota je velmi patrná u ozimých forem, což prokázali svými pokusy Petr a Hnilička (2002). Petr (1980) uvádí, že počet klásků se zakládá od II. do IV. etapy organogeneze a příznivě na něj působí zpoždění vývoje. Rychtářík (2000) uvádí, že

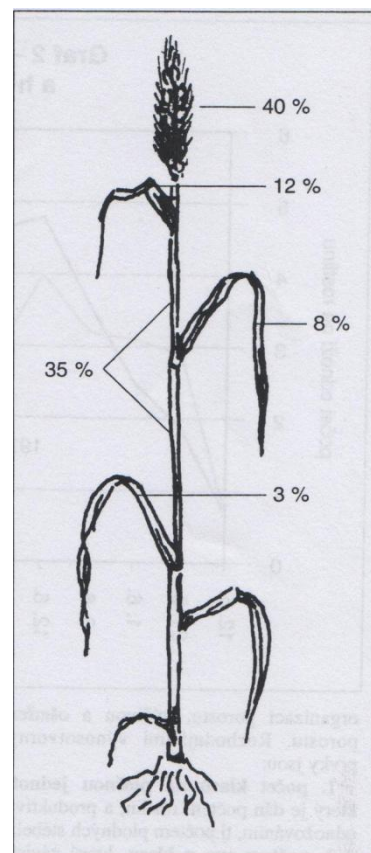
existují genové komplexy umožňující vyšší akumulaci kapacity klasu formou např. větevnatosti, mnohokláskovosti. Autor dále uvádí, že tyto formy mají vyšší výnosový potenciál, vyššího reálného výnosu však zatím nedosahují.



Obrázek 5: Mikrofenologická stupnice organogeneze vzrostného vrcholu pšenice podle Kupermanové (Petr a kol., 1983)

3. Hmotnost tisíce obilek (HTS)

Petr a kol. (1983) uvádí, že HTS je poměrně stabilní charakteristika odrůdy. Podle Petra (2000) je tento faktor závislý především na odrůdě, potom na průběhu počasí a agrotechnice. Petr (1980) uvádí, že nejlepším způsobem jak agrotechnicky podpořit vyšší HTS je přihnojit porost dusíkem. Autor dále uvádí, že HTS je i kompenzačním prvkem špatných podmínek při zakládání délky klasu a počtu semen. Takže pokud bude mít rostlina málo semen, může do každého uložit více asimilátů, čímž se zvýší hmotnost semene. Gardner et al. (2003) uvádí, že asimiláty uložené v obilkách pocházejí z fotosyntézy praporečového listu, klasu a osin, a také ze zelené části stébla



Obrázek 6: Podíl jednotlivých částí rostliny na tvorbě asimilátů převáděných do obilek (Petr, 2000)

a remobilizovaných asimilátů, což znázorňuje Obrázek 6. Nižší listy pak zásobují především kořenový systém.

Výnos lze před sklizní spočítat podle vzorce:

$$Výnos = \frac{K * Z * A}{10^5}$$

kde: K - počet prod. stébel na m²; Z - průměrný počet zrn v klasu; A - HTS (g)

3.4 ZMĚNY KONCENTRACE CO₂ V ATMOSFÉŘE

3.4.1 UHLÍK V ROSTLINÁCH A ATMOSFÉŘE

Vodrážka (2002) uvádí, že oxid uhličitý je plyn s nezastupitelnou rolí v chemismu veškeré organické hmoty, při vzniku sacharidů, jakožto zásobáren energie; při rozkladu sacharidů v procesu dýchání; při rozkladu a mineralizaci; a v neposlední řadě je spolu s vodou (H₂O) produktem při dokonalém spalování.

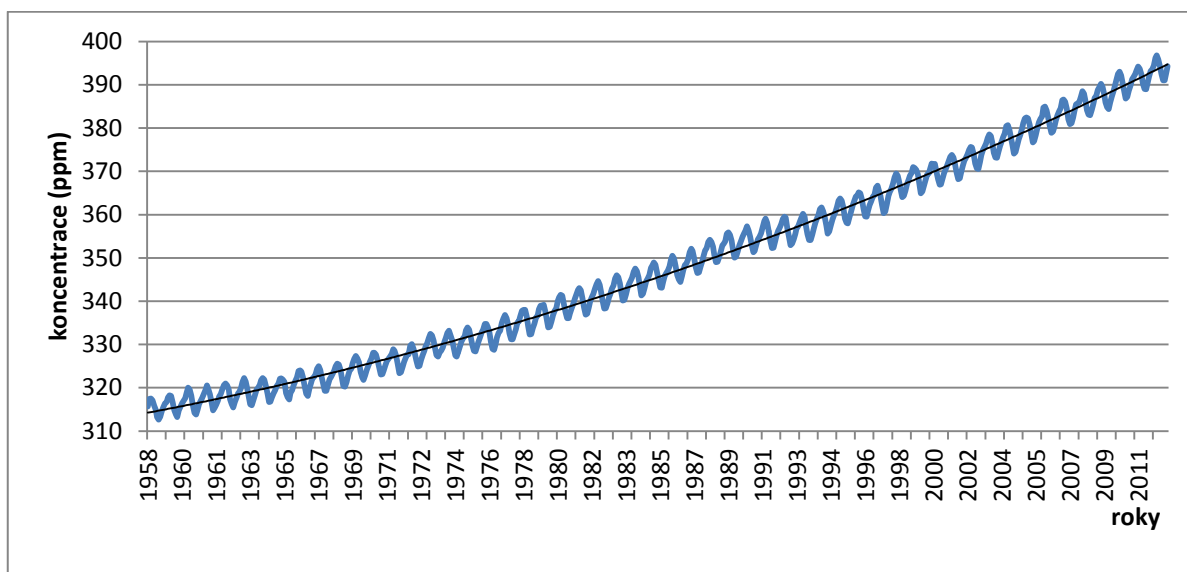
Samotný uhlík je základním prvkem organické chemie. Je kostrou všech organických sloučenin, Voet a Voetová (1995) uvádějí, že uhlík tvoří tak velké množství organických sloučenin díky schopnosti uhlíkových atomů tvořit velmi stabilní řetězec. Vaněk a kol. (2007) uvádí, že uhlík tvoří spalitelný podíl sušiny fytohmoty asi ze 45 %. Podle Nátra (1980) zachytávají rostliny potřebný uhlík přímo ze vzduchu přes stomata. Díky tomu mohou rostliny významně omezovat koncentraci oxidu uhličitého v prostředí. Nátr (2000) uvádí, že roční globální primární produkce je 104,9 Pg C. Přičemž podíl suchozemské produkce je 56,4 %.

3.4.2 VÝVOJ KONCENTRACE CO₂ V ATMOSFÉŘE

Koncentrace CO₂ v atmosféře nikdy nebyla konstantní, měnila se na základě změny podmínek prostředí při utváření planety. Nátr (2002a) uvádí, že atmosféra před vznikem živé hmoty na planetě měla mnohem větší množství CO₂. Po vzniku prvních organismů schopných fotosyntézy se tento stav začal měnit. CO₂ byl zabudován do jejich těl a v atmosféře začal převládat kyslík (O₂). Podle Nátra (2002a) měly rostliny vliv i na zvětrávání hornin, které taktéž snížilo zastoupení oxidu uhličitého v atmosféře podle vzorce reakce zvětrávání silikátových minerálů: $2 CO_2 + 3 H_2O + CaAl_2Si_2O_8 \rightarrow Ca^{2+} + 2 HCO_3^- + Al_2Si_2O_5(OH)_4$. Nátr (2006) poukazuje na významný vliv střídání dob ledových a meziledových. Podle

výsledků měření ze stanice Vostok v Antarktidě poukazuje na fakt, že koncentrace CO₂ v dobách meziledových stoupala a docházelo ke vzniku skleníkového efektu, ale s příchodem doby ledové vždy došlo k opětovnému klesnutí koncentrace tohoto plynu. Gildor (2004) upozorňuje, že není dost důkazů, abychom mohli důvěryhodně vysvětlit, proč se koncentrace náhle měnila.

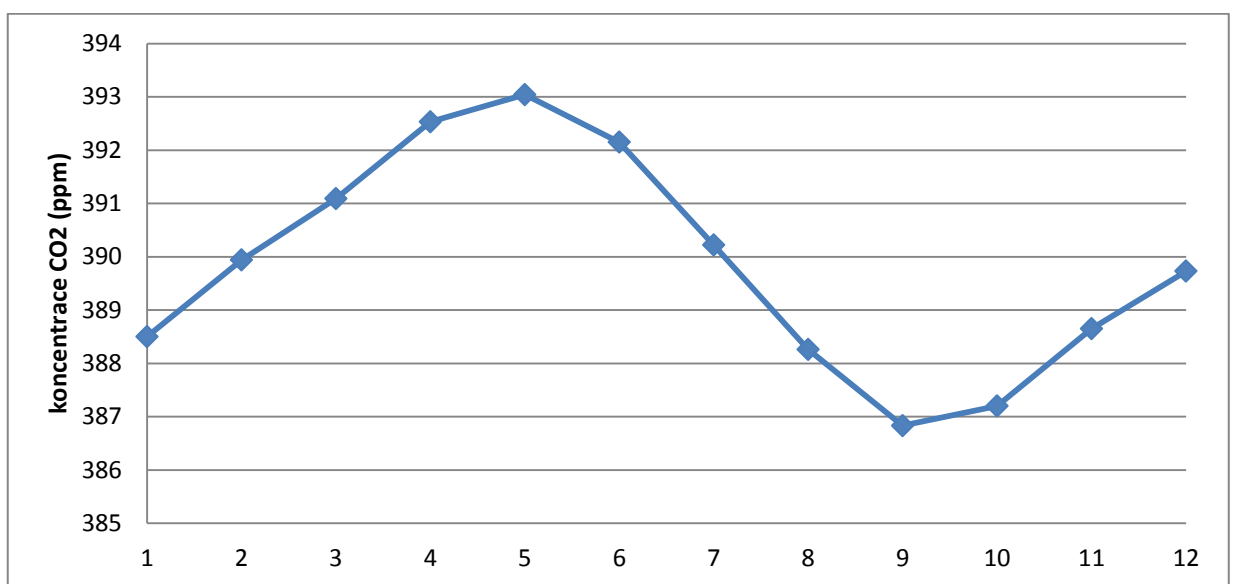
Koncentrace CO₂ v atmosféře je samozřejmě bedlivě sledována a měřena po celém světě. Tans and Keelingans (2013) uvádí jako seriózní globální měření výsledky ze stanice Mauna Loa na Havaji. Tady se měří od roku 1958 a rok 1959 je první kompletní a řada pokračuje až do současnosti. Vývoj dokumentuje Graf 2 sestavený podle údajů Tans and Keelingans (2013). Můžeme zde pozorovat nárůst koncentrace v období od roku 1958 do roku 2012. Hikosaka et al. (2010) uvádí, že v období před průmyslovou revolucí se koncentrace CO₂ pohybovala na úrovni 280 ppm a v roce 2010 již byla na úrovni 390 ppm, což je ve shodě s Tans and Keelingans (2013). Hikosaka et al. (2010) dále připomíná, že tempo růstu je 1,9 ppm za rok a predikuje, že koncem tohoto století se bude úroveň pohybovat mezi 500 a 1000 ppm.



Graf 2: : Vývoj koncentrace CO₂ v atmosféře (v ppm) v letech 1958 až 2010 (upraveno podle Tans and Keelingans, 2013)

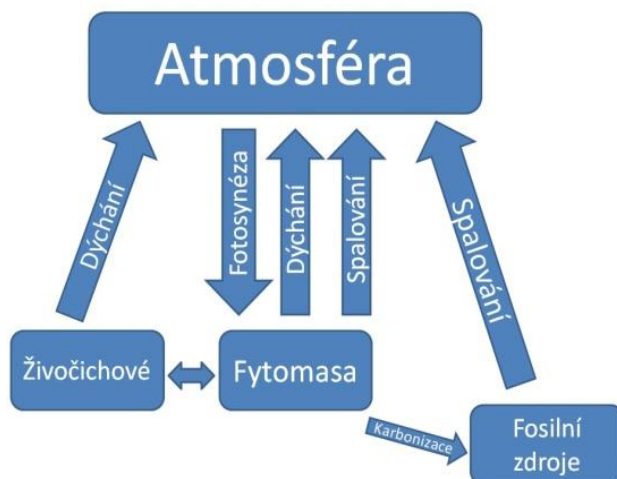
Nátr (2006) uvádí, že podle získaných dat jsou rozdíly v měření na různých místech planety zanedbatelné vzhledem ke vzdušným proudům a době setrvání plynu v atmosféře dochází k rovnoměrnému rozptýlení plynu v atmosféře planety. Proto stanici na Mauna Loa považuje za reprezentativní referenční bod.

Velmi zajímavé je také sledovat roční průběh koncentrace oxidu uhličitého, viz. Graf 3. Podle Nátra (2006) koresponduje s vegetačním klidem či obdobím růstu na severní polokouli, kdy v době vegetačního klidu dochází k nárůstu množství CO_2 v atmosféře z důvodu omezené fotosyntézy na severní polokouli. Růst kulminuje v květnu, kdy tamtéž začíná jaro a rostliny fotosyntézou snižují množství oxidu uhličitého v atmosféře. V září je růst ukončen a nastává snížení fotosyntézy a rostliny především prodýchávají zásobní látky, takže koncentrace CO_2 v atmosféře se opět zvyšuje. Můžeme si také všimnout, že začátek a konec křivky není plynulý. To je způsobeno tím, že celková roční koncentrace CO_2 v současné době stoupá, jak dokazuje Graf 2.



Graf 3: Průběh roční koncentrace CO_2 (v ppm) po měsících v roce 2010 (upraveno podle Tans and Keelingans, 2013)

3.4.3 KOLOBĚHY UHLÍKU A CO_2 V PŘÍRODĚ



Obrázek 7: Schéma koloběhu uhlíku na pevnině (upraveno podle Nátra, 2006)

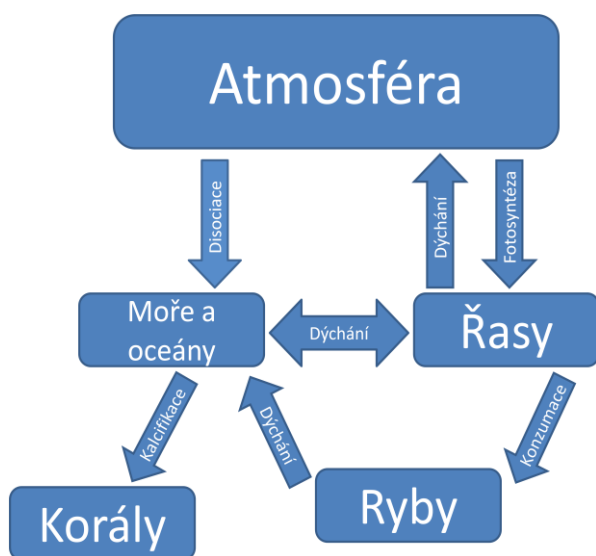
Oxid uhličitý se jako plyn vyskytuje v drtivé většině pouze v atmosféře, odkud je pohlcován vodou, kde se přeměňuje na ionty HCO_3^- a CO_3^{2-} , případně je pohlcen při fotosyntéze rostlin, kde je přeměněn na glukosu a následně na velkou škálu jiných organických sloučenin. Na pevnině probíhá proces zjednodušeně podle Obrázku 7. Z něj je jasně patrné, že jediným zdrojem uhlíku

v plynné formě jako CO₂ pro pevniny je proces fotosyntézy, jejíž produkty pak přecházejí napříč celým koloběhem. Jak zdůrazňuje Nátr (2006), před miliony let došlo k vyvázání velkého množství uhlíku tlením v anaerobních podmínkách kambických bažin, které nám zanechalo velmi cenný zdroj snadno získatelné energie pomocí spalování. Z výsledků měření je však patrné, že tento zdroj má za následek rychlejší vzrůst koncentrační křivky.

Jelikož 2/3 zemského povrchu zaujímají moře a oceány, je vcelku jasné, že i tyto budou mít na vázání oxidu uhličitého vliv.

Nátr (2006) popisuje koloběh CO₂ v oceánech a mořích, jenž je schematicky zaznačen na Obrázku 8. Pohlcovači jsou tady řasy, které slouží jako potrava, další je přímo mořská voda,

v níž se oxid uhličitý rozpouští. Dalším významným pohlcovačem jsou korály.



Obrázek 8: Schéma koloběhu uhlíku v oceánech (upraveno podle Nátr, 2006)

3.4.4 ZMĚNA KLIMATU

Autoři literatury se shodují na existenci probíhajících změn v klimatu. Na toto téma již řadu let diskutují jak vědci a odborná veřejnost, tak i politici, ekologičtí aktivisté a široká veřejnost.

Trendy ve změnách teplot a ve změnách koncentrací tzv. skleníkových plynů jsou patrné (Tans and Keelingans, 2013), ačkoli se diskuze vede hlavně o tom, zda je to vina člověka, nebo je to normální proces. Nátr (2006) je přesvědčen, že tyto změny způsobuje člověk nadměrnými emisemi CO₂, především při spalování fosilních paliv. Samozřejmě v souvislosti s trendem odlesňování planety připomíná, že stromy jsou největší zásobárnou CO₂. Ovšem existují i jiné názory na příčinu oteplování planety. Christensen and Larsen (1991) přisuzují zvyšování teploty především změně aktivity Slunce jakožto zdroje energie naší sluneční soustavy. Uvádějí, že solární cyklus má dvě periody 80-90 let a další 11 let. A právě tyto dvě periody jsou rozdílné svou intenzitou záření.

Essenhigo (2001) uvádí, že oteplování je příčinou zvyšující se koncentrace CO₂, protože se teplota pohybuje s frekvencí 100 000 let a amplituda se neustále zvyšuje. Podle Essenhigho (2001) se právě nacházíme ve vzestupné fázi jedné této oscilace, takže předpokládá, že teplota bude dále stoupat. Svou obrácenou teorii příčiny a následku vysvětluje změnou poměrů mezi koncentrací CO₂ v atmosféře a koncentrací CO₂ v oceánech. Poukazuje též na to, že až 95% podíl na absorpci dlouhovlnného záření má na svědomí vodní pára, nikoli CO₂. A dle jeho názoru je zvyšování koncentrace CO₂ spalováním fosilních zdrojů z globálního hlediska statisticky zanedbatelné.

Singer (2001), poukazuje na výsledky měření teploty družicemi Země, které jsou rozdílné od pozemských měření a nevyplývá z nich tak dramatický nárůst teploty. Dále má výhrady k nedokonalostem užívaných matematických modelů a upozorňuje na fakt, že hladina oceánů stoupá již od poslední doby ledové, takže to nepovažuje za jev spojený s globálním oteplováním. Singer (2001) navíc dlouhodobě upozorňuje na ekonomickou stránku globálního oteplování a koncentrace CO₂. Jeho hlavní tezí je, že jelikož CO₂, podle něj, nezpůsobuje zvyšování teploty, potom je nerentabilní proti němu bojovat. Upozorňuje, že investice nutné k omezení vypouštění CO₂ do ovzduší silně zpomalí ekonomický růst vyspělých ekonomik. Dále upozorňuje ve shodě s Nátrem (1980, 2002a, 2002b, 2006) na potenciální pozitivní dopad na zemědělskou výrobu, mluvíme-li čistě o vlivu CO₂. Autoři se ovšem také shodují, že jev globálního oteplování může mít velmi negativní dopady např. na dostupnost vody, která je základem živých soustav. Což je ve shodě s Žaludem a kol. (2009), který predikuje v důsledku zvýšení teploty úbytek srážek a zároveň vyšší úroveň evapotranspirace. Dále nepředpokládá změny v ročním srážkovém úhrnu, nicméně předpokládá přesunutí více srážek do zimního období, v letním pak predikuje úbytek mírných častých dešťů a předpokládá, že tato voda spadne v silných vertikálních srážkách přívalového charakteru se všemi negativními důsledky na kvalitu úrody i strukturu půdy včetně eroze. Dopady těchto změn a změnami klimatu v České republice se zabývá Český hydrometeorologický ústav. V rámci tohoto výzkumu Kalvová (2002) uvádí, že podle globálních cirkulačních modelů mohou být důsledky na zemědělství vesměs příznivé. Podle ní mohou zemědělci pružně reagovat vhodnou skladbou odrůd a agrotechnikou na měnící se klima. Autorka doporučuje zaměření na technologie šetřící půdní vláhu a doporučuje zavést šlechtění v toleranci k suchu. Za přínos změny klimatu pak považuje uspíšení jara, čili časnější vzházení a zrychlení růstu polních plodin. Dalším přínosem podle ní je i posunutí rajonizace ve prospěch teplomilných kultur například polorané kukuřice na zrno a raných odrůd révy vinné. Ve shodě s Žaludem a kol.

(2009) je největší hrozbou pro zemědělství ohrožení suchem u dnes již citlivých oblastí střední a jižní Moravy, severozápadních Čech a též dolního a středního Polabí a Povltaví.

3.5 VLIV ZMĚN KONCENTRACE CO₂ NA ROSTLINY

3.5.1 FOTOSYNTÉZA

Kodíček (2004) definuje fotosyntézu jako zachycování energie světelného záření, její ukládání ve formě energie chemických vazeb a následné využití pro přeměnu anorganických látek (zejména CO₂) na látky organické. A považuje ji za nejdůležitější biochemický proces na planetě. Nátr (1980) uvádí, že při fotosyntéze dochází k přeměně energie dopadajícího slunečního záření na formy využitelné člověkem, například potraviny, dřevo, uhlí, a pod. Nátr (2002a) považuje produkty fotosyntézy, jejich distribuci a akumulaci za základ produktivity všech kulturních rostlin. A též upozorňuje, že všechna opatření v agrotechnice i šlechtění vedou, přímo či zprostředkovaně, k regulaci tvorby a aktivity fotosyntetického aparátu. Oba se tak shodují, že fotosyntéza je procesem, při kterém vznikají sloučeniny sloužící ke vzniku biomasy. Vodrážka (1993) uvádí, že fototrofové zachytí ročně energii více než 10⁷¹ kJ energie, s jejíž pomocí vyrobí asi 14x10¹¹ t organické hmoty. Současně uvolní do biosféry 15x10¹¹ t O₂.

Např. Voet a Voetová (1995) dělí reakce při fotosyntéze na závislé na světle a nezávislé na světle. Světelnou reakci Vodrážka (1993) definuje jako fotochemický děj, jehož podstatou je přeměna energie dopadajících fotonů slunečního záření na energii chemickou. Energie fotonů je převedena na energii excitovaných elektronů, které slouží k výrobě ATP a NADPH. Tyto dvě molekuly přechází do druhé, temnostní fáze (na světle nezávislé). Voet a Voetová (1990) uvádějí, že samotné zachycení fotonů probíhá ve fotosynteticky aktivním barvivu chlorofyl, což je ve shodě s faktem, že fotosyntéza probíhá v zelených částech rostlin.

Vodrážka (1993) temnostní část vyděluje mimo fotosyntézu. Vychází z toho, že probíhá nezávisle na světle, pokud má dostatek ATP a NADPH. Na druhé straně Voet a Voetová (1990), Nátr (1980), či Kodíček (2004) nic takového neuvádějí a považují temnostní část za součást procesu fotosyntézy. Do temnostní fáze vstupuje ATP a NADPH ze světelné a nově vstupuje CO₂ z okolí. Podle Nátra (1980) získává rostlina CO₂ pro druhou fázi fotosyntézy prostou difúzí z okolního vzduchu přes stomata. Nátr (1980) upozorňuje, že difúze je tím

vyšší, čím je větší koncentrační gradient. Z čehož vyplývá, že při zvýšené koncentraci plynu v okolí bude rostlina tento plyn samovolně více přijímat.

3.5.2 FOTORESPIRACE

Vodrážka (1993) v souvislosti s temnostní fází upozorňuje na proces fotorespirace, při němž dochází ke konzumaci O_2 za vzniku CO_2 při osvětlení rostliny prakticky stejným způsobem, jakým pracuje klasická respirace. Nátr (2002a) upozorňuje na zásadní rozdílnost fotorespirace a respirace. Upozorňuje, že fotorespirace probíhá v peroxizomech na rozdíl od klasické respirace probíhající v mitochondriích. Vodrážka (1993) uvádí, že fotorespirace probíhá z neznámého důvodu, nicméně Kodíček (2004) tuto reakci přisuzuje enzymu RUBISCO (ribulosa-1,6-bisfosfátkarboxylasa), který má schopnost katalyzovat karboxylační reakci (fixace CO_2), a také katalyzovat oxygenační reakci (fixace O_2), což je právě označováno jako fotorespirace. Podle Nátra (2004) o tom, zda bude navázána molekula CO_2 , nebo O_2 rozhoduje jejich koncentrace v okolí enzymu RUBISCO. Nátr (1980) upozorňuje, že rychlost fotorespirace může činit až 30 % rychlosti fotosyntézy, což představuje pokles v čisté produkci asimilátů. Kodíček (2004) uvádí, že u C_3 rostlin, které jsou na fotorespiraci citlivější, to může být ztráta 20-40 % primárně zachyceného CO_2 .

3.5.3 C_3 A C_4 ROSTLINY

Všichni výše zmínění autoři (Voet a Voetová, 1990; Vodrážka, 1993; Nátr, 2002a; Kodíček, 2004) se shodují v dělení rostlin dle mechanismu jejich temnostní fáze. Podle počtu uhlíku prvního stabilního produktu sledu reakcí rozlišují C_3 , C_4 a pro úplnost popisují ještě mechanismus CAM. Nátr (2002a) upozorňuje na rozdíly ve stavbách listů rostlin jednotlivých skupin. Uvádí, že rostliny C_3 (například pšenice a většina rostlin našich podmínek) mají obecně menší a tenčí listy. Rostliny C_4 (například kukuřice, čirok) pak mají listy větší. Speciální jsou rostliny CAM, které mají velmi tlusté dužnaté listy, jedná se o sukulentní rostliny extrémně suchých stanovišť.

Jak uvádí Nátr (2002a), C_3 rostliny zachytávají pomocí enzymu RUBISCO CO_2 , který katalyzuje vznik kyseliny fosfoglycerové (3C). Následuje sled reakcí, které nazýváme Calvinův cyklus, podle objevitele Melvina Calvina, jenž jej objevil mezi lety 1946-1953. Jak vyplývá z práce Voet a Voetová (1995), v průběhu Calvinova cyklu do něj vstupují molekuly CO_2 z atmosféry a ATP s NADPH vzniklé ze světelné části a výstupem je řada meziproductů,

kteřé jsou použitelné i v jiných metabolických drahách, nicméně za hlavní produkt považujeme vznik sacharidů.

Podle Nátra (2002a) je hlavní rozdíl C_4 rostlin daný jiným enzymem, který ve vzduchu zachytává CO_2 . Tento proces popsali v šedesátých letech chemici Hatch a Slack, po nich získal své jméno. Na rozdíl od předchozího systému tady CO_2 nezachytává enzym RUBISCO, ale enzym fosfoenolpyruvátkarboxyláza (PEPc), prvním produktem je oxalacetát (4C). Ten podle Voeta a Voetové (1995) přechází do buněk cévních svazků, kde se opět odštěpuje CO_2 , které přes enzym RUBISCO vstupuje do známého Calvinova cyklu. Zjednodušeně se dá říct, že si pomocí PEPc pro enzym RUBISCO rostlina sama koncentruje CO_2 uvnitř cévních svazků, čímž eliminuje ztrátu fotorespirací.

Voet a Voetová (1995) uvádí, že na první pohled je ztráta C_3 rostlin fotorespirací nevýhodná a zbytečná, ale fotorespirace chrání fotosyntetický aparát před poškozením v situaci, kdy bude probíhat světelná část, ale nebude dostatek CO_2 . Jako druhou alternativu uvedení autoři dále konstatují, že fotorespirace nemá žádný praktický význam a je jen pozůstatkem z doby, kdy se tyto rostliny vyvíjely. Tehdy bylo na planetě zcela jiné složení atmosféry s významným přebytkem CO_2 , takže se fotorespirace nemohla uplatnit. Voet a Voetová (1995) v roce 1995 uvádějí, že budoucí výzkum by mohl jít cestou převedení rostlin s C_3 cyklem na výkonnější C_4 cyklus a v roce 2012 publikovali Hu et al. (2012) výsledky své práce, v níž se jim podařilo pomocí metody mikroprojektilového ostřelování rostlinného materiálu vpravit do rostliny pšenice (*Triticum aestivum*) gen fosfoenolpyruvát karboxylázy (*pepc*). Integraci, transkripci a expresi ověřili pomocí Southerova přenosu a analýzy RT-PCR. Tento pokus prokázal, že pšenice s genem *pepc* dosahovala o 26 % vyšší úroveň fotosyntézy než původní pšenice. Účinnost karboxylace byla o 22,57 % vyšší než u původní, netransgenní pšenice a konečně HTS byla naměřena o 1,21 g vyšší než u původní formy pšenice.

3.5.4 DALŠÍ PROCESY PROBÍHAJÍCÍ V ROSTLINĚ

Nátra (2006) uvádí, že CO_2 vstupuje do rostliny difúzí přes stomata, takže vyšší koncentrace znamená snazší příjem a rostlina na tuto skutečnost reaguje přivřením průduchů, což má příznivý vliv na vodní režim.

Základním zdrojem energie je pro buňky rostlin buněčné dýchání. Jak uvádí Kodíček (2004), jedná se o konečný stupeň katabolismu. V podstatě se jedná o opačnou reakci fotosyntézy, kdy z glukosy za pomoci O_2 vzniká CO_2 a H_2O za současné emise energie ve formě ATP. Nátra (2000) uvádí, že při vyšší koncentraci CO_2 dochází na mitochondriální úrovni ke

zpomalení dýchání. Jak uvádí Nátr (2006), tak dalším významným vlivem jsou důsledky zvyšování CO₂ v atmosféře, které nazýváme globálním oteplováním.

Dalším procesem, který v rostlinách probíhá je příjem a transport živin. Nátr (2000) neuvádí, že by vyšší koncentrace CO₂ měla vliv přímý vliv na příjem a transport živin, nicméně předpokládá, že vyšší rychlost fotosyntézy se projeví nárůstem biomasy, jehož výstavbu bude potřeba pokrýt dalšími živinami.

3.5.5 SKLENÍKOVÝ EFEKT

Kalvová (2002) upozorňuje, že na rostliny budou působit i důsledky změn klimatu, nejen růst koncentrace CO₂. Řadí mezi ně především nárůst průměrné teploty, změnu srážkového režimu s menší četností, ale vyšší intenzitou až přívalového charakteru. Nátr (2006) uvádí, že tento stav bude mít velký dopad na rostliny, vzhledem k jejich schopnosti šetřit vodou. Dále upozorňuje, že nárůst teploty povede ke změně rajonizace plodin. Pazderů a Bláha (2013) uvádějí, že nárůst teploty prodlouží vegetační období a předpokládají i možnost dvou sklizní v roce. Kalvová (2002) navrhuje jako jedno z řešení změnu osevních postupů, dále změny v agrotechnice, hlavně se zaměřením na udržení půdní vláhly. Ve shodě s Nátr (2006) navrhuje šlechtění plodin k toleranci k suchu, například zaměřením na kořenový systém.

3.6 VLIV CO₂ NA VÝNOS

3.6.1 VLIV CO₂ NA BIOLOGICKÝ VÝNOS

Nátr (2002b) uvádí, že u 38 významných zemědělských a zahradnických druhů rostlin a 18 planě rostoucích druhů došlo ke zvýšení biomasy o 36 % pro C₃ rostliny a o 14 % pro C₄ rostliny. Na změnu koncentrace CO₂ citlivěji reagovaly kulturní rostliny. Autor upozorňuje na význam tohoto zjištění pro budoucí pěstování. Nátr (2006) dále uvádí, že vliv CO₂ na rostliny je nezanedbatelný. Zvýšená dostupnost jednoho ze substrátů pro fotosyntézu dle Nátra (2006) zvýší rychlost fixace, což bude mít za následek navýšení biomasy. Což je ve shodě se Sinha et al. (2011), kteří u rostlin hexaploidní pšenice seté (*Triticum aestivum* L.) pěstovaných v prostředí se zvýšenou koncentrací CO₂ (550 ppm) zaznamenali 1,86 krát větší hmotnost sušiny, než u kontroly v normální koncentraci (375 ppm). Nejvyšší citlivost na koncentraci CO₂ byla naměřena u tetraploidní *Triticum dicoccoides*, která dosáhla 3,3 krát většího výnosu sušiny než kontrola pěstovaná při normální koncentraci CO₂. Zároveň upozorňují na zpomalení aktivity fotosystému I (PS I) i fotosystému II (PS II). Uvedení autoři dále uvádí, že nejcitlivější reakci na změny koncentrace CO₂ mají nekulturní druhy pšenice

Triticum monococcum a *Triticum dicoccoides*, naopak nejstabilnější reakci měla pšenice setá (*Triticum aestivum*).

Holá a kol. (2013) uvádí na příkladu smrku ztepilého (*Picea abies* L.) a buku lesního (*Fagus sylvatica* L.) vystaveným vyšší koncentraci CO₂ (700 ppm) ve shodě se Sinha et al. (2011) snížení aktivity PS I a PS II. Tento jev pozorovali především u osluněných listů a u mladých listů. Nátr (2000) upozorňuje na aklimaci rostlin, již rozumí přizpůsobení rychlosti fyziologických procesů na změněné hodnoty některého faktoru vnějšího prostředí, zde na vyšší koncentraci CO₂. Uvedený autor uvádí, že u listů vyvinutých v různých koncentracích CO₂ došlo ke změně fotosyntetické charakteristiky. Liší se postupným poklesem rychlosti čisté fotosyntézy, snížení obsahu N a snížením enzymu RUBISCO. Nátr (2000) dále uvádí, že výkonná plodina v prostředí o zvýšené koncentraci CO₂ musí mít schopnost efektivně využívat zvýšenou produkci sušiny a to do hospodářsky hodnotných částí rostliny. Hikosaka et al (2011) uvádí, že vlivem zvýšené koncentrace CO₂ dochází k vylepšení poměru hmotnosti zrna na rostlinu v rozmezí od 0,75 do 4,45 u rýže (42 pozorování), od 0,93 do 1,87 u semen sóje (28 pokusů) a od 0,88 do 2,07 u pšenice (51 experimentů). Velkou variabilitu výsledků vysvětluje rozdílnými podmínkami během pokusů.

3.6.2 VLIV CO₂ NA HOSPODÁŘSKÝ VÝNOS

Nátr (2000) uvádí, že u zkoumaných hospodářských plodin došlo k průměrnému nárůstu hospodářského výnosu o 26 %. Konkrétně u rostlin typu C₃ byl nárůst o 36 %, u typu C₄ jen 14 %. Dále uvádí, že zdvojnásobení z 330 ppm na 660 ppm může zvýšit výnosy o 33 %.

Amthor (1998) uvádí, že od roku 1955 do roku 1990 došlo ke zvýšení výnosu pšenice v USA z důvodu zvýšení koncentrace CO₂ nanejvýš o 21 %. Dále konstatuje, že výnosy by se měly rovnoměrně zvyšovat všude na celé Zemi, což se neděje. Nátr (2000) oponuje, že Amthorův model je zatížen příliš velkým zjednodušením, totiž, že růst rostlin není řízen jen jedním faktorem, ale míra účinku koncentrace CO₂ na růst biomasy je závislá i na dalších faktorech jako je dostupnost záření, teplota, dostupnost vody, minerálních živin apod.

Nátr (2000) dále uvádí, že pozitivní vliv vyšších koncentrací CO₂ na růst biomasy rostlin může mít kompenzační charakter negativních vlivů, například nedostatek vody, nebo minerálních živin. Homma et al. (1999) uvádí, že uzavřením průduchů dochází ke zvýšení teploty rostliny a následně i ke zvýšení teploty uvnitř porostu, což může znamenat novou možnost pěstovat plodiny i v podmínkách, které dosud nebyly příliš vhodné.

Dijkstry et al. (1999) uvádí, že rostliny pšenice ozimé, které jsou pěstované ve vyšší koncentraci CO₂ (706 ppm) vykazují nárůst jednotlivých výnosotvorných prvků, jak dokumentuje Tabulka 1. Nárůst celkové biomasy odpovídá 17 % a nárůst ve výnosu zrna pak 19 %. Batts et al. (1997) uvádí, že vyšší koncentrace CO₂ má příznivý vliv na odnožovací schopnost, což vede ke zvýšení počtu klasů na m². Wheeler et al. (1996) uvádí, že zvýšená koncentrace CO₂ má příznivý vliv na rychlost akumulace sušiny v obilkách, což vede k vyšším HTS. Hikosaka et al. (2011) uvádí, že vyšší koncentrace CO₂ klade vyšší požadavky na množství přijatelného dusíku. Ten je ukládán do obilek a je významnou složkou určující kvalitu. Hikosaka et al. (2011) upozorňuje na skutečnost, že je třeba rostliny více zásobit dusíkem, nebo počítat se snížením jeho obsahu v obilkách. Batts et al. (1997) uvádí, že zvýšení teploty o 2 °C znamenalo zkrácení reprodukční fáze o 16 dnů, bez vlivu koncentrace CO₂. Nátr (2000) uvádí, že zvýšení teploty o 1 až 2 °C v průběhu vegetace může zcela anulovat pozitivní vliv zdvojnásobené koncentrace CO₂ na navýšení výnosů.

Výnosotvorný prvek	374 ppm	706 ppm	změna v %
Celková biomasa (gm ⁻²)	2302	2709	18%
Výnos zrna (gm ⁻²)	1009	1206	20%
Harvest index	0,437	0,443	1%
Hmotnost sušiny stébla (gm ⁻²)	579	678	17%
Hmotnost sušiny listu (gm ⁻²)	362	409	13%
Počet klasů (m ⁻²)	669	756	13%
Počet obilek v klasu	34,3	35,5	3%
Hmotnost obilky (gm ⁻²)	40,8	42	3%

Tabulka 1: Charakteristika jednotlivých výnosotvorných prvků ozimé pšenice obecně pěstované v koncentracích CO₂ 374 ppm a 706 ppm (podle: Dijkstra et al., 1999)

3.7 SHRNUÍ

Studium literatury ukazuje, že vliv CO₂ na rostliny je významný (Nátr, 2006). Účinky zvýšených koncentrací CO₂ mohou mít pozitivní i negativní důsledky vzhledem k výnosům ať už biologickým, nebo hospodářským. Oxid uhličitý je součástí mnoha základních procesů, například fotosyntézy a respirace, jejichž aktivita ovlivňuje mnoho dalších dějů v rostlinách (Nátr, 2000).

Z fyziologického hlediska koncentrace CO₂ přímo ovlivňuje rychlost fotosyntézy, díky čemuž má vliv na množství vzniklých asimilátů. Z literatury vyplývá, že rychlost fotosyntézy se se zvýšenou koncentrací u rostlin obecně snižuje (Sinha et al., 2011; Holá a kol., 2013), kvůli

snížení aktivity PS I a PS II ve světelné části fotosyntézy. Nicméně byl přesto změřen průkazný nárůst účinnosti fotosyntézy a nárůst fotosyntetických produktů (Nátr, 2000). Obecně lze říci, že více CO₂ má na rostliny pozitivní vliv z hlediska fotosyntézy. Bližší zkoumání ukazuje, že se tato výhoda týká především C₃ tj. rostlin v jejichž temnostní fázi probíhá Calvinův cyklus a enzym RUBISCO, zodpovědný za zachytávání molekul CO₂, při současných koncentracích nepracuje spolehlivě a jeho chyby vedou k tzv. fotorespiraci, která má za následek velké ztráty v účinnosti fotosyntézy (Voet a Voetová, 1995). Oproti rostlinám C₄ s tzv. Hatch-Slackovým cyklem, jehož enzym PEPc je při současných koncentracích CO₂ velmi účinný a další zvyšování nebude mít takový vliv (Nátr, 2002a). Zatímco tedy C₄ rostliny jsou velmi blízko bodu saturace, rostliny C₃ této saturace zdaleka nedosahují, tudíž vyšší koncentrace CO₂ v prostředí je cestou ke zvýšení účinnosti fotosyntézy. A jelikož se nedaří zlepšovat fotosyntézu klasickými šlechtitelskými postupy (Martinek a kol., 2011), tak se toto zjištění zdá být užitečné pro další pěstování C₃ rostlin, jako například pšenice. Pokud zvýšení koncentrace CO₂ v atmosféře nenastane, tak se zdá být perspektivním introdukce genu *pepc* do C₃ rostlin, který v současných podmínkách navyšuje HTS pšenice seté o 1,21 g v porovnání s nezměněnou pšenicí (Hu et al., 2012).

Dále literatura uvádí vliv na stomata, která reagují přivřením. Přivřená stomata mají pozitivní vliv na vláhový režim rostliny, protože omezují transpiraci (Nátr, 2006). Šetření vodou je obecně prospěšný jev, jelikož na většině území České republiky není vody dostatek a prognózy ČHMÚ nejsou optimistické (Kalvová, 2002). Vzhledem k vyšší rychlosti fotosyntézy a tudíž i nárůstu biomasy bude zvýšená potřeba minerálních živin.

Z trendů vývoje koncentrace CO₂ vyplývá, že za padesát let se koncentrace CO₂ v atmosféře téměř zdvojnásobí (Tans and Keelingans, 2013), to povede ke zvýšení sušiny u pšenice seté (*Triticum aestivum* L.) 1,86 krát (Sinha et al., 2011). Z důvodu vyšší účinnosti fotosyntézy. Proto je možné rostlinám předpovědět slibnou budoucnost, především pak rostlinám s C₃-typem fotosyntézy. Dá se říci, že pokud se o vyšší výnosy postará, do značné míry, účinnější fotosyntéza, potom je úkolem šlechtitele zajistit větší fotosyntetický aparát. To znamená podpořit velikost asimilační plochy a to nejen plochu listů, ale i klasu. Z tohoto hlediska mohou být velmi slibnými odrůdy s velkými plevami (LG) a osinami, které umožní déle asimilovat a zároveň ochlazovat respirací vznikající hospodářský výnos (Martinek a kol., 2011). Úkolem agronoma bude potom tento větší asimilační aparát udržet co nejdéle funkční, tj. chorob prostý.

Oxid uhličitý je však velmi známý hlavně jako skleníkový plyn, který spolu s jinými je příčinou skleníkového efektu, který, dle některých autorů, způsobuje globální změny klimatu. Tyto změny budou mít beze sporu velmi významný dopad na zemědělství ve světovém i regionálním měřítku. Hlavními dopady globálního oteplování jsou zvýšení průměrné roční teploty, snížení rovnoměrnosti srážek v roce a zvýšení četnosti extrémních jevů, především silná sucha a přívalové srážky.

Vyšší průměrná teplota v souvislosti s nižšími úhrny srážek povede ke změnám v rajonizaci plodin, bude možné pěstovat dosud teplomilné plodiny ve vyšších polohách a v nižších pěstovat zcela nové plodiny (Kalvová, 2002). Bude možnost pěstovat jarní rané formy v jednom roce i vícekrát (Pazderů a Bláha, 2013). Limitujícími faktory nadále zůstává sucho a ve vyšších polohách nedostatek kvalitních půd. Odolnost k suchu je jedna z budoucích cest ve šlechtění polních plodin včetně pšenice. Odolnost k suchu je možné podpořit zvětšením kořenového systému (Nátr, 2000), připomeňme pozitivní účinek vlivu CO₂ na přívření průduchů. Voda lze v půdě držet také agrotechnickými opatřeními, například omezením hluboké orby, změnou osevních postupů. Vzhledem k vyšší četnosti přívalových srážek je nutné počítat i s bojem proti půdní erozi.

Závěrem je třeba říci, že samotná vyšší koncentrace CO₂ má na rostliny velmi příznivý vliv, nicméně negativní projevy důsledků této koncentrace mohou tyto výhody velmi omezit, nebo dokonce vyrušit. Proto vhodným šlechtěním nových odrůd v kombinaci s účinnými agrotechnickými opatřeními bude možné i nadále zvyšovat výnosy částečně i díky vyšší koncentraci CO₂.

4. ZÁVĚR

Literární rešerše prokázala, že koncentrace CO₂ má na rostliny vliv. A s přihlédnutím k prognózám je nutné se touto problematikou dále zabývat

Vliv vyšší koncentrace CO₂ na fyziologické procesy

Vyšší koncentrace CO₂ ovlivní rychlost fotosyntézy, zvýší rychlost tvorby a množství asimilátů a zpomalí aktivitu PS I a PS II. Větší potenciál pro zvýšení rychlosti fotosyntézy mají C₃ rostliny. Rostliny za vyšší koncentrace CO₂ snižují vodivost průduchů a přivírají je.

Vliv vyšší koncentrace CO₂ na výši výnosu

Větší rychlost fotosyntézy vede k vyššímu biologickému i hospodářskému výnosu. Literatura se však rozchází v odhadech výše výnosu. Vyšší koncentrace CO₂ příznivý účinek, který může kompenzovat jiné stresové faktory. Větší výnos bude znamenat vyšší spotřebu minerálních látek dodávaných hnojením a dusíku, který má významný vliv na kvalitu produkce.

5. SEZNAM LITERATURY

- Amthor, J.S. 1998. Perspective on the relative insignificance of increasing atmospheric CO₂ concentration to crop yield. *Field Crops Research*. 58 (2). 109-127.
- Batts, G.R., Morison, J.I.L., Ellis, R.H., Hadley, P., Wheeler, T.R. 1997. Effect of CO₂ and temperature on growth and yield of crops of winter wheat over four seasons. *European Journal of Agronomy*. 7 (1-3). 43-52.
- Bláha, L. 2000. Hodnocení odrůdových rozdílů u pšenice ve využitelnosti živin. *Agro*. 5 (1). 35-36.
- Bláha, L., Haberle, J. 1999. Možnosti výběru odrůd obilovin s lepším využitím živin. *Úroda*. 47 (9) 38-39.
- Dostál, J. 1989. Nová květena ČSSR 2. díl. Academia. Praha. 1548 s. ISBN: 80-200-0095-X.
- Essenhigh, R. H. 2001. Does CO₂ really drive global warming? *Chem. innovation*. 31. 44-46.
- Evans, L.T., Fischer, R. A. 1999. Yield potential: Its definition, measurement, and significance. *Crop science*. 39 (6). 1544-1551. ISSN: 0011-183X.
- Faměra, O. 1993. Základy pěstování ozimé pšenice. Institut výchovy a vzdělávání ministerstva zemědělství České republiky. Praha. 51 s. ISBN: 80-7105-045-8.
- Gardner, F. P., Pearce, R. B., Mitchell, R. L. 2003. *Physiology of crop plants*. Blackwell. Ames. 327 p. ISBN: 0-8138-1098-1.
- Gildor, H. 2004. Glacial-interglacial CO₂ variations. In Follows, M. et al. *The ocean carbon cycle and climate*. Kluwer acad. publ.. Dordrecht. 351 s. ISBN:--.
- Haberle, J., Svoboda, P., Bláha, L. 1995. Porovnání hmotnosti nadzemních částí a kořenů starých a současných odrůd ozimých obilnin. *Rostlinná výroba*. 41 (11). 511-516.
- Hikosaka, K., Kinugasa, T., Oikawa, S., Onoda, Y., Hirose, T. 2011. Effect of elevated CO₂ concentration on seed production in C₃ annual plants. *Journal of Experimental Botany*. 62 (4). 1523-1530.
- Hnilička, F., Bláha, L., Dotlačil, L. 2007. Změna klimatu vyžaduje přizpůsobení plodin. *Úroda*. 55 (7). 64 - 66.

Holá, D., Kočová, M., Rothová, O., Tůmová, L., Lhotáková, Z., Albrechtová, J. 2013. Primární fotosyntetické procesy u dvou druhů lesních stromů dlouhodobě vystavených zvýšené koncentraci CO₂. Sborník z konference: Vliv abiotických a biotických stresorů na vlastnosti rostlin 2013. Česká zemědělská univerzita. 8-12 s. ISBN: 978-80-213-2357-5

Homma, K., Nakagawa, H., Horie, T., Ohnishi, H., Kim, H.Y., Ohnishi, M. 1999. Energy budget and transpiration characteristics of rice grown under elevated CO₂ and high temperature conditions as determined by remotely sensed canopy temperatures. Japanese Journal of Crop Science. 68 (1). 137-145.

Hu, L., Li, Y., Xu, W., Zhang, O., Zhang, L., Xi, X., Dong, H. 2012. Improvement of the photosynthetic characteristics of transgenic wheat plants by transformation with the maize C4 phosphoenolpyruvate carboxylase gene. Plant Breeding. 131 (3). 385-391.

Christensen, E., Lassen, K. 1991. Length of the solar cycle: an indicator of solar activity closely associated with climate. Science. 254. 698-700.

Kalvová, J. 2002. Scénáře změny klimatu na území České republiky a odhady dopadů klimatické změny na hydrologický režim, sektor zemědělství, sektor lesního hospodářství a na lidské zdraví v ČR. Český hydrometeorologický ústav. Praha. 141 s. ISBN: 80-86690-01-6.

Kodíček, M. 2004. Biochemické pojmy, výkladový slovník. Vydavatelství VŠCHT Praha. Praha. 171 s. ISBN: 80-7080-551-X.

Křen, J., Benada, J., Flašarová, M., Hubík, K., Krofta, S., Kryštof, Z., Křen, J., Macháň, F., Málek, J., Míša, P., Onderka, M., Pokorný, E., Strálková, R., Špunar, J., Váňová, M. 1998. Metodika pěstování ozimých obilnin. Zemědělský výzkumný ústav Kroměříž, s.r.o.. Kroměříž. 143 s. ISBN: 80-902545-2-7.

Kůst, F., Potměšilová, J. 2012. Situační a výhledová zpráva obiloviny. Ministerstvo zemědělství. Praha. 107 s. ISBN: 978-80-7434-055-0.

Liebig, Justus von. 1843 Die Chemie in ihrer Anwendung auf Agricultur und Physiologie. Friedrich Vieweg und Sohn. Braunschweig. 506 s.

Martinek, P., Dobrovolskaya, O., B., Pokorová, P., Váňová, M. 2011. Formování výnosotvorných prvků u linií ozimé pšenice s odlišnou morfologií klasu. Zborník z 18. mezinárodnej vedeckej konferencie: Nové poznatky z genetiky šľachtenia pľnohospodárskych

rastlín. Centrum výskumu rastlinnej výroby Piešťany. Piešťany. 56-62 s. ISBN: 978-80-89417-29-2.

Martinek, P., Kadlíková, M. 2011. Zamyšlení nad minulostí a budoucností pšenice. Úroda-Pšenice. 2011 (8). 4-9.

Nátr, L. 1980. Fotosyntéza. In: Petr, J., Černý, V., Hruška, L. (Eds). Tvorba výnosu hlavních polních plodin. Státní zemědělské nakladatelství. Praha. 43-55 s. ISBN:--.

Nátr, L. 2000. Koncentrace CO₂ a rostliny. ISV nakladatelství. Praha. 257 s. ISBN: 80-85866-62-5.

Nátr, L. 2002a. Fotosyntetická produkce a výživa lidstva. ISV nakladatelství. Praha. 423 s. ISBN: 80-85866-92-7.

Nátr, L. 2002b. Koncentrace CO₂ v atmosféře a výnosy, díl 2. Agro. 7 (2). 70-71.

Nátr, L. 2006. Země jako skleník: Proč se bát oxidu uhličitého?. Academia. Praha. 143 s. ISBN: 80-200-1362-8.

Nátr, L. 2011. Příroda, nebo člověk? Služby ekosystémů. Karolinum. Praha. 349 s. ISBN: 978-80-246-1888-3.

Palík, S., Burešová, I., Edler, S., Sedláčková, I., Tichý, F., Váňová, M. 2009. Metodika pěstování ozimé pekárenské pšenice. Agrotest fyto, s.r.o.. Kroměříž. 68 s. ISBN: 978-80-86888-07-1.

Pazderů, K., Bláha, L. 2013. Trendy ve šlechtění a semenářství na odolnost k extrémnímu počasí. Sborník příspěvků z konference: Osivo a sadba, XI. odborný a vědecký seminář. Česká zemědělská univerzita v Praze. Praha. 29-33. ISBN: 978-80-213-2358-2.

Petr, J. 1980. Tvorba výnosu u obilovin. In: Petr, J., Černý, V., Hruška, L. (Eds). Tvorba výnosu hlavních polních plodin. Státní zemědělské nakladatelství. Praha. 97-199 s. ISBN:--.

Petr, J. 2000. Tvorba výnosu u obilnin. Úroda. 48 (4). 9-11.

Petr, J. 2001. Pěstování pšenice podle užitkových směrů. Ústav zemědělských a potravinářských informací. Praha. 40 s. ISBN: 80-7271-090-7.

- Petr, J., Hnilička, F. 2002. Changes in requirements on vernalization of winter wheat varieties in the Czech Republic in 1950-2000. *Rostlinná výroba*. 48 (2). 148-153.
- Petr, J., Krekule, J., Pavlová, L., Seidlová, F., Teltscherová, L. 1983. *Biologie vývoje a tvorba výnosu u obilnin*. Vysoká škola zemědělská. Praha. 134 s.
- Rasmusson, D. C. 1987. An evaluation of ideotype breeding. *Crop Science*. 27. 1140-1146.
- Růžek, P., Kusá, H., Vavera, M. 2009. Jarní hnojení dusíkatými hnojivými. *Zemědělec*. 2009 (11). 24-25.
- Rychtárik, J. 2000. Možnosti a predpoklady šľachtenia pšenice ozimnej na vyššiu úložnú kapacitu klasu. *Naše pole*. 4 (3). 22-23.
- Singer, S. F. 2001. Global warming: An insignificant trend? *Science*. 292. 1063.
- Sinha, P. G., Saradhi, P.P., Uprety, D.Ch., Bhatnagar, A.K. 2011. Effect of elevated CO₂ concentration on photosynthesis and flowering in three wheat species belonging to different ploidies. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 2011 (142). 432-436.
- Slavíková, J. 1986. *Ekologie rostlin*. Státní pedagogické nakladatelství. Praha. 366 s. ISBN:---
- Tichý, F., Hubík, K., Mareček, J., Zimolka, J. 2001. *Pěstební technologie a úprava zrna pšenice ozimé a tritikale pro výrobu etanolu*. Ústav zemědělských a potravinářských informací. Praha. 41 s. ISBN: 80-7271-078-8.
- Vaněk, V., Balík, J., Pavlíková, D., Tlustoš, P. 2007. *Výživa polních a zahradních plodin*. Profi Press, s. r. o.. Praha. 167 s. ISBN: 976-80-86726-25-0.
- Vodrážka, Z. 1992. *Biochemie 1*. Academia. Praha. 180 s. ISBN: 80-200-0438-6.
- Vodrážka, Z. 1993. *Biochemie 3*. Academia. Praha. 191 s. ISBN: 80-200-0471-8.
- Voet, D., Voetová, J. 1995. *Biochemie*. Victoria Publishing, a.s.. Praha. 1325 s. ISBN: 80-85605-44-9.
- Wheeler, T.R., Hong, T.D., Ellis, R.H., Natts, G.R., Morison, J.I.L., Hadley, P. 1996. The duration and rate of grain growth, and harvest index, of wheat (*Triticum aestivum* L) in response to temperature and CO₂. *Journal of experimental botany*. 47 (298). 623-630.

Zimolka, J., Edler, S., Hřivna, L., Jánský, J., Kraus, P., Mareček, J., Novotný, F., Richter, R., Říha, K., Tichý, F. 2005. Pšenice pěstování, hodnocení a užití zrna. Profi Press. Praha. 180 s. ISBN: 80-86726-09-6.

Žalud, Z., Trnka, M., Brázdil, R., Dubrovský, M., Hlavinka, P., Semerádová, D., Kocmánková, E. 2009. Dopady změny klimatu a strategie adaptačních opatření v agrosektoru České republiky. Sborník příspěvků z konference: XII. Seminář šlechtitelů. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně. Brno. 7-13.

Tans P., Keelingans R.: Trends in Atmospheric Carbon Dioxide [online], NOAA/ESRL: www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/ [cit. 2013-01-10]

faostat3.fao.org/home/index.html [cit. 2012-10-29]

<http://www.agromachinery.cz/domain/agromachinery-s0/files/texty/claas-lexion700.jpg>
[cit. 2013-03-14]

6. SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

LAI..... Leaf Area Index, index listové plochy (listová pokrývnost porostu)

LG..... Long Glumes, dlouhé plevy

RUBISCO.... ribulosa-1,6-bisfosfátkarboxylasa

PEPc..... fosfoenolpyruvátkarboxyláza

ATP.....adenosintrifosfát