

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA CHEMICKÁ

ÚSTAV CHEMIE POTRAVIN A BIOTECHNOLOGIÍ

FACULTY OF CHEMISTRY

INSTITUTE OF FOOD SCIENCE AND BIOTECHNOLOGY

# VLIV ZVÝŠENÉ KONCENTRACE OXIDU UHLIČITÉHO A DUSÍKATÉ VÝŽIVY NA KVALITU PŠENIČNÉHO ZRNA

EFFECTS OF ELEVATED ATMOSPHERIC CARBON DIOXIDE AND NITROGEN SUPPLY ON  
GRAIN QUALITY OF WHEAT

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

KLÁRA CHADIMOVÁ

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

PhDr. MIROSLAV HRSTKA, Ph.D.

BRNO 2014



Vysoké učení technické v Brně  
**Fakulta chemická**  
Purkyňova 464/118, 61200 Brno 12

## Zadání bakalářské práce

Číslo bakalářské práce:	<b>FCH-BAK0824/2013</b>	Akademický rok: <b>2013/2014</b>
Ústav:	Ústav chemie potravin a biotechnologií	
Student(ka):	<b>Klára Chadimová</b>	
Studijní program:	Chemie a technologie potravin (B2901)	
Studijní obor:	Potravinářská chemie (2901R021)	
Vedoucí práce	<b>PhDr. Miroslav Hrstka, Ph.D.</b>	
Konzultanti:		

### Název bakalářské práce:

Vliv zvýšené koncentrace oxidu uhličitého a dusíkaté výživy na kvalitu pšeničného zrna

### Zadání bakalářské práce:

Na základě studia literatury napsat pojednání o vlivu zvýšené koncentrace oxidu uhličitého v atmosféře a dusíkaté výživy na kvalitu pšeničného zrna. Zvláště se zaměřit na celkový obsah dusíkatých látek v pšeničné mouce a na obsah a kvalitu lepku.

V experimentální části stanovit výnos, celkový obsah dusíkatých látek, obsah a kvalitu lepku v pšeničném zrna v podmínkách normální a zvýšené koncentrace oxidu uhličitého, při hnojení a nehnojení dusíkem.

### Termín odevzdání bakalářské práce: 23.5.2014

Bakalářská práce se odevzdává v děkanem stanoveném počtu exemplářů na sekretariát ústavu a v elektronické formě vedoucímu bakalářské práce. Toto zadání je přílohou bakalářské práce.

-----  
Klára Chadimová  
Student(ka)

-----  
PhDr. Miroslav Hrstka, Ph.D.  
Vedoucí práce

-----  
doc. Ing. Jiřina Omelková, CSc.  
Ředitel ústavu

V Brně, dne 31.1.2014

-----  
prof. Ing. Jaromír Havlica, DrSc.  
Děkan fakulty

## **ABSTRAKT**

V této práci byl studován vliv zvýšené koncentrace oxidu uhličitého a dusíkaté výživy na kvalitu pšeničného zrna. Ozimná pšenice odrůdy Bohemia byla pěstována v podmínkách normální (AC) a zvýšené (EC; 700  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$ ) koncentrace  $\text{CO}_2$ , přičemž polovina vzorků byla hnojena dávkou 200 kg N  $\text{ha}^{-1}$  (N+) a druhá polovina vzorků zůstala bez hnojení (N-). Byl stanoven sedimentační index pomocí Zelenyho testu a číslo poklesu podle Hagberga-Pertena. Byla stanovena objemová hmotnost rutinní metodou. Ke zjištění tvrdosti zrna a stanovení obsahu škrobu, sušiny a dusíkatých látek byla použita metoda NIR spektrometrie. Zvýšená koncentrace  $\text{CO}_2$  neměla statisticky významný vliv na žádný z vybraných parametrů kvality pšeničného zrna. Naopak výrazný vliv na kvalitu pšeničného zrna má hnojení dusíkem. U varianty nehnojené dusíkem byl pozorován statisticky významný pokles sedimentačního indexu a obsahu dusíkatých látek vyjádřeného jako hrubá bílkovina a nárůst obsahu škrobu. Ostatní parametry kvality zrna nebyly dusíkatým hnojením ovlivněny.

## **ABSTRACT**

The aim of this study was to examine the effect of elevated atmospheric carbon dioxide concentration and different nitrogen fertilization levels on wheat grain quality. Winter wheat cultivar Bohemia was grown under ambient  $\text{CO}_2$  concentration (AC) and elevated  $\text{CO}_2$  concentration (EC; 700  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$ ) half of the samples was fertilized with 200 kg N  $\text{ha}^{-1}$  (N+) and the other part stayed unfertilized (N-). Zeleny value and Hagberg-Perten value was determined. Bulk density was determined by routine method. Grain hardness, dry matter content, starch concentration and crude protein concentration was determined by NIR spectroscopy. No effect on grain quality was detected due to  $\text{CO}_2$  enrichment. However nitrogen fertilizer influenced grain quality significantly. Zeleny value and crude protein concentration were decreased and starch concentration was increased in samples that stayed unfertilized. Other grain quality parameters stayed unaffected.

## **KLÍČKOVÁ SLOVA**

pšenice, zvýšená koncentrace  $\text{CO}_2$ , lepek

## **KEYWORDS**

wheat, elevated  $\text{CO}_2$  concentration, gluten

CHADIMOVÁ, K. *Vliv zvýšené koncentrace oxidu uhličitého a dusíkaté výživy na kvalitu pšeničného zrna*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, 2014. 49 s. Vedoucí bakalářské práce PhDr. Miroslav Hrstka, Ph.D.

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracovala samostatně a že všechny použité literární zdroje jsem správně a úplně citovala. Bakalářská práce je z hlediska obsahu majetkem fakulty chemické VUT v Brně a může být využita ke komerčním účelům jen se souhlasem vedoucího diplomové práce a děkana FCH VUT.

.....  
podpis studenta

*Poděkování: Tímto bych chtěla poděkovat mému vedoucímu bakalářské práce panu PhDr. Miroslavu Hrskovi, Ph.D. za podporu, vstřícnost a poskytnuté rady při vypracování této práce. Dále bych ráda poděkovala paní Ing. Markétě Pospíchalové a paní RNDr. Radvaně Šulové, Ph.D, za to, že mi bylo umožněno v Národní referenční laboratoři Ústředního kontrolního a zkušebního ústavu zemědělského v Brně provést potřebná stanovení a za cenné rady a pomoc při získávání a zpracování výsledků.*

## OBSAH

1	ÚVOD .....	7
2	TEORETICKÁ ČÁST.....	8
2.1	Globální klimatická změna.....	8
2.2	Vliv zvýšené koncentrace CO <sub>2</sub> na rostliny .....	10
2.3	Vliv zvýšené koncentrace CO <sub>2</sub> na fotosyntézu .....	10
2.4	Vliv zvýšené koncentrace CO <sub>2</sub> na fotorespiraci.....	12
2.5	Vliv zvýšené koncentrace CO <sub>2</sub> na respiraci .....	12
2.6	Vliv zvýšené koncentrace CO <sub>2</sub> na vodivost průduchů .....	13
2.7	Vliv zvýšené koncentrace CO <sub>2</sub> na pšenici.....	13
3	EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST.....	15
3.1	Metodika.....	15
3.2	Stanovení sedimentačního indexu- Zelenyho test [36] .....	15
3.2.1	Princip.....	15
3.2.2	Chemikálie.....	16
3.2.3	Přístroje a pomůcky .....	18
3.2.4	Postup .....	18
3.2.4.1	Příprava zkušební mouky [37].....	18
3.2.4.2	Stanovení hodnoty sedimentačního indexu .....	19
3.2.5	Výpočet a vyjádření výsledků .....	19
3.2.6	Opakovatelnost .....	19
3.3	Stanovení čísla poklesu [36] .....	19
3.3.1	Princip.....	19
3.3.2	Chemikálie.....	20
3.3.3	Přístroje a pomůcky .....	20
3.3.4	Postup .....	20
3.3.4.1	Příprava zkušebního vzorku [37].....	20
3.3.4.2	Stanovení vlhkosti.....	21
3.3.4.3	Zkušební podíl .....	21
3.3.4.4	Stanovení čísla poklesu.....	22
3.3.5	Výpočet a vyjádření výsledků .....	23
3.3.6	Opakovatelnost .....	24

3.4	Stanovení tvrdosti, škrobu, sušiny, dusíkatých látek a vlhkosti metodou blízké infračervené spektrometrie (NIRs) [36] .....	24
3.4.1	Princip.....	24
3.4.2	Přístroje a pomůcky .....	25
3.4.3	Postup .....	25
3.4.3.1	Příprava vzorků [37] .....	25
3.4.3.2	Homogenizace vzorků .....	25
3.4.3.3	Měření vzorků na NIR spektrometru .....	25
3.4.4	Vyhodnocení výsledků .....	26
3.4.5	Opakovatelnost .....	26
3.5	Stanovení objemové hmotnosti zvané „hektolitrová váha“[38].....	27
3.5.1	Princip.....	27
3.5.2	Přístroje.....	27
3.5.3	Postup .....	27
3.5.4	Vypočet a vyjádření výsledků .....	27
4	VÝSLEDKY .....	28
5	DISKUSE .....	42
6	ZÁVĚR.....	44
7	LITERATURA.....	45
8	SEZNAM ZKRATEK.....	49

# 1 ÚVOD

Jedna z nejdůležitějších globálních změn způsobených lidskou činností je rychlý nárůst koncentrace oxidu uhličitého v atmosféře. Koncentrace oxidu uhličitého vzrostla od počátku průmyslové revoluce nejméně o 35 % a stále stoupá.

Protože oxid uhličitý je substrátem fotosyntézy, jakákoli změna v jeho vzdušné koncentraci má vliv na růst rostlin. Jelikož zvýšená koncentrace  $\text{CO}_2$  stimuluje fotosyntézu a růst rostlin, můžeme v budoucnu očekávat vyšší výnosy zemědělských plodin. Předpokládá se, že stimulace fotosyntézy povede ke zvýšené produkci sacharidů oproti bílkovinám, což bude mít negativní dopad na výživovou kvalitu potravin. Vynikajícím příkladem tohoto efektu je pokles obsahu dusíkatých látek jak ve vegetativních částech rostlin, tak i v semenech a zrnech. Je tedy velmi důležité zjistit, jakým způsobem bude ovlivněna kvalita nejvýznamnějších zemědělských plodin, zvláště kvalita pšeničného zrna.

Obsah hrubé bílkoviny v pšeničném zrně je hlavním kritériem výživové hodnoty a pekařských vlastností mouky. Dusíkatá výživa by měla silně interagovat se zvýšenou koncentrací  $\text{CO}_2$  a dohromady tak výrazně ovlivňovat metabolismus rostliny a kvalitu zrna. Podle některých hypotéz zvýšená koncentrace  $\text{CO}_2$  snižuje obsah dusíkatých látek v pšeničném zrně bez ohledu na množství dusíkaté výživy, avšak mechanismus tohoto procesu nebyl doposud zcela objasněn.

Navzdory velkému důrazu kladenému na kvalitu pšenice pěstované pro potravinářské účely máme stále nedostatek informací o vlivu zvýšené koncentrace  $\text{CO}_2$  na důležité parametry kvality pšeničného zrna. Práce zabývající se vlivem zvýšené koncentrace  $\text{CO}_2$  na kvalitu pšeničného zrna často přinášejí protichůdná zjištění. Zatímco někteří autoři přinášejí důkazy o významném vlivu zvýšené koncentrace  $\text{CO}_2$  na kvalitativní znaky pšeničného zrna, jiní autoři prokazují, že tyto znaky nebyly zvýšenou koncentrací  $\text{CO}_2$  výrazně ovlivněny.

Cílem této práce bylo prostudovat dopady zvýšené koncentrace  $\text{CO}_2$  a rozdílného dusíkatého hnojení na kvalitu pšeničného zrna a zjistit případné interakce mezi vlivem zvýšené koncentrace  $\text{CO}_2$  a množstvím dusíkaté výživy.

## 2 TEORETICKÁ ČÁST

### 2.1 Globální klimatická změna

Klima Země se neustále mění, což je důsledek působení kontinentálních pohybů, změn kvality a množství slunečního záření, parametrů oběžné dráhy Země, sopečné činnosti, dopadu meteoritů a komet, rozrůstání a zmenšování ledovců, změn v cirkulaci a složení oceánů a atmosféry a konečně změn ekosystémů.

Přibližně od počátku 20. století lze přitom pozorovat dlouhodobou odchylku klimatických parametrů Země od průměrů a trendů, které panovaly na Zemi předtím. Tato dlouhodobá odchylka se nazývá globální klimatická změna [1] a její nejpravděpodobnější příčinou je uvolňování velkého množství skleníkových plynů. Rychlost tohoto uvolňování je přitom několikanásobně větší než přirozené změny za období nejméně 20 000 let [2].

Mezi skleníkové plyny s přímou vazbou na lidskou činnost patří oxid uhličitý, jenž je do ovzduší uvolňován spalovacími procesy, methan, který produkují hospodářská zvířata, oxidy dusíku, vznikající ve spalovacích motorech a při různých průmyslových výrobcích, freony, které jsou do atmosféry uvolňovány z různých chladicích zařízení, a nakonec vodní pára. Společným znakem skleníkových plynů je jejich výrazný účinek na radiační bilanci Země, protože jsou propustné pro krátkovlnnou složku dopadajícího slunečního záření, ale daleko méně propustné pro dlouhovlnnou složku emitovanou zemským povrchem [3]. V důsledku toho přestala být zářivá bilance Země vyvážaná a přízemní vrstvy ovzduší, pevniny a oceány se postupně ohřívají. Největší vliv na oteplování má oxid uhličitý (asi 47 %), methan (27 %) a freony (10 %) [4].

Důsledky účinků skleníkových plynů na radiační bilanci atmosféry ale nelze jednoduše spojovat s bezprostředními změnami klimatu, protože v důsledku existence rozsáhlých tepelných rezervoárů v podobě oceánů dochází k významnému zpoždění reakce klimatu a zpětnovazebné mechanismy působící mezi atmosférou, oceány a biosférou mohou výrazně měnit rychlost produkce nebo odbourávání skleníkových plynů v ovzduší.

To, že globální klimatická změna je především důsledkem lidské činnosti, dokládá řada literárních údajů. Za posledních 1000 let byla koncentrace  $\text{CO}_2$  v ovzduší poměrně stabilní a pohybovala se v rozmezí hodnot od 270 až 290  $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$  [5]. Etheridge a kol. [6] analyzovali vzorky vzduchu odebrané z ledovců LawDome ve východní Antarktidě dokumentující uplynulých 1000 let. Z jejich výzkumu jasně vyplývá, že k prudkému vzrůstu koncentrace  $\text{CO}_2$  došlo počátkem 19. století v souladu s počátky rozvoje průmyslu. Změny koncentrace  $\text{CO}_2$  v uplynulých 500 letech hodnotili také Wahlen a kol. [7]. Vzorky postihující období od roku 1530 do roku 1940 byly odebrány v oblasti středního Grónska. Podle jejich měření nastává vzestup koncentrace  $\text{CO}_2$  ještě před obdobím, kdy se ve větší míře začala spalovat fosilní paliva, což vysvětluje změnou ve využívání půdy (odlesňování a přeměna zemědělsky využívané plochy).

Zatímco v polovině 18. století činila koncentrace  $\text{CO}_2$  v ovzduší 270–280  $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ , koncentrace v současné době se pohybuje okolo 390  $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$  (údaje za rok 2010). Výrazně se rovněž zvyšuje i meziroční nárůst koncentrace  $\text{CO}_2$  v atmosféře. Zatímco



v období 1970–1979 činil tento nárůst  $1,3 \mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$  v letech 2000–2006 to bylo  $1,9 \mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$  [8; 9]. Tyto údaje potvrzují i analýzy vzorků z arktických ledů, izotopová analýza letokruhů, měření obsahu  $\text{CO}_2$  v atmosféře na různých místech Země a stejně tak i modelové studie založené na výpočtech spotřeby fosilních paliv. Hönisch a kol. [10] uvádějí, že současná koncentrace  $\text{CO}_2$  je nejvyšší za posledních 2,1 milionu let.

Zdá se, že v uplynulých 150 000 letech byly změny klimatu a koncentrace  $\text{CO}_2$  velmi těsně spojeny [11]. Zvláštní je, že konec doby ledové je spojen se zvýšením koncentrace  $\text{CO}_2$ , například přechod z doby ledové do doby meziledové byl doprovázen zvýšením koncentrace  $\text{CO}_2$  přibližně o 30 %. Tento nárůst koncentrace  $\text{CO}_2$  je přičítán uvolnění několika set gigatun uhlíku z moře do atmosféry. Naopak nástup doby ledové předcházely o několik tisíc let pokles koncentrace  $\text{CO}_2$ . Popsané změny souvisí pravděpodobně se změnami biologické produktivity, alkality a cirkulace oceánů, se změnami stupně pokrytí ledovci a s ukládáním  $\text{CaCO}_3$  do korálových útesů. Změny koncentrace  $\text{CO}_2$  v atmosféře tedy nepředstavují jev, který by se v historii Země již neobjevil, ale neobvyklá je rychlost těchto změn v posledních letech. Největším problémem je, že emise  $\text{CO}_2$  do atmosféry stále pokračují v důsledku spotřeby fosilních paliv, rozsáhlého odlesňování v tropických oblastech a změn ve využívání půdy.

Změny koncentrace  $\text{CO}_2$  jsou provázány nejen zvyšováním koncentrace skleníkových plynů, ale i zvýšenou depozicí dusíku na souši i v mořích. Zdrojem tohoto dusíku jsou hnojiva používaná v zemědělství a různé produkty spalování pocházející například z automobilové dopravy. Tato depozice kolísá na jednotlivých místech planety od minima kolem 10 kg N na hektar až po neuvěřitelných 150 kg N na hektar za rok [12]. Díky zvýšené dispozici C i N, jejichž metabolismus spolu v rostlině velmi těsně souvisí, lze očekávat v rozvinutých zemích vzestup produktivity a výnosů o 15 až 20 %. Tyto změny však mohou mít za následek například pokles druhové diverzity v přirozených ekosystémech.

Z přesných a systematických měření koncentrace  $\text{CO}_2$ , která se provádějí od roku 1958 na lokalitě MaunaLoa na Havajských ostrovech, je patrný systematický růst koncentrace  $\text{CO}_2$  v uplynulých 40 letech i pravidelné sezónní kolísání v průběhu roku [11]. K poklesu dochází s rozvojem jarní vegetace na Severní polokouli a naopak vzrůst koncentrace  $\text{CO}_2$  souvisí s nástupem podzimu na Severní polokouli, kdy většina vegetace přestává být fotosynteticky aktivní a dochází k uvolnění velkého množství  $\text{CO}_2$  do ovzduší. Amplituda tohoto ročního cyklu se každým rokem zvyšuje. Vliv na kolísání koncentrace  $\text{CO}_2$  v průběhu roku má například sezónní kolísání spalování fosilních paliv, sezónní kolísání depozice dusíku pocházejícího z fosilních paliv, protože dusík vykazuje pozitivní vliv na rostlinnou produkci a tím i na spotřebu  $\text{CO}_2$ , sezónní kolísání spalování tropických lesů nebo změny v délce vegetace ve větších zeměpisných šířkách. Zvyšující se amplitudu ročního kolísání  $\text{CO}_2$  ovlivňuje i zvyšující se teplota atmosféry. Keeling a kol. [13] prokázali, že roční amplituda se zvyšuje o  $19 \% \pm 4 \%$  s každým zvýšením teploty o  $1^\circ\text{C}$ . Je však nutné si uvědomit, že při hodnocení koncentrace  $\text{CO}_2$  v delších časových intervalech jsou sezónní kolísání v průběhu roku i lokální rozdíly v oblastech různých zeměpisných šířek zanedbatelné.

## 2.2 Vliv zvýšené koncentrace CO<sub>2</sub> na rostliny

Oxid uhličitý má dva přímé fyziologické účinky. V procesu označovaném jako karbamylace aktivují molekuly CO<sub>2</sub> enzymatickou aktivitu primárního enzymu Calvinova cyklu ribulosa-1,5-bisfosfátkarboxylasy/oxygenasy (Rubisco). Nejprve dochází k navázání jedné molekuly CO<sub>2</sub> na molekulu inaktivního enzymu (pomalá reverzibilní reakce) a následně k navázání kationtu Mg<sup>2+</sup> (rychlá nevratná reakce) za vzniku aktivovaného komplexu. Tento proces je katalyzován Rubisco-aktivací. Molekuly CO<sub>2</sub> jsou dále vstupním substrátem karboxylace. V prvním kroku této enzymatické reakce s primárním akceptorem RuBP (ribulosa-1,5-bisfosfátem) dochází k navázání molekuly CO<sub>2</sub> na aktivní místo enzymu Rubisco zpřístupněné karbamyací a vzniká komplex Rubisco<sub>akt</sub><sup>-</sup>CO<sub>2</sub>. Tento komplex ve druhém kroku reaguje s molekulou RuBP. Poté následuje syntéza triosafosfátů, primárních produktů Calvinova cyklu. Z výše popsaných reakcí vyplývá, že CO<sub>2</sub> je aktivátorem i substrátem fotosyntézy a má vliv na procesy fotorespirace, dýchání a na vodivost průduchů [3].

## 2.3 Vliv zvýšené koncentrace CO<sub>2</sub> na fotosyntézu

Při krátkodobém působení zvýšené koncentrace CO<sub>2</sub> dochází k průkaznému zvýšení rychlosti asimilace u C<sub>3</sub>-rostlin [3]. Současná koncentrace CO<sub>2</sub> v atmosféře totiž není schopna plně saturovat karboxylační aktivitu Rubisco. Zvýšením poměru mezi koncentracemi CO<sub>2</sub> a O<sub>2</sub> se zvýší pravděpodobnost navázání molekuly CO<sub>2</sub> na aktivní místo enzymu Rubisco, čímž dojde k upřednostnění karboxylační aktivity enzymu před aktivitou oxygenázovou a v důsledku toho ke zvýšení rychlosti fotosyntézy.

K navýšení rychlosti asimilace CO<sub>2</sub> dochází při intenzitě slunečního záření vyšší než 250 μmol.m<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup> [3]. Při nižších intenzitách světla je limitujícím faktorem fotosyntézy množství dopadajících fotonů a vliv zvýšené koncentrace CO<sub>2</sub> se na úrovni rychlosti asimilace neprojeví [14]. Zvýšená hodnota poměru asimilace/fotorespirace má za následek také navýšení fotochemické efektivity asimilace.

Odezva rostlin dlouhodobě vystavených zvýšené koncentraci CO<sub>2</sub> se může značně lišit. Obecně lze říci, že stimulační efekt zvýšené koncentrace CO<sub>2</sub> klesá s délkou působení zvýšené koncentrace CO<sub>2</sub>, což lze pozorovat zejména při nedostatečné minerální výživě rostlin. Stav, kdy asimilační kapacita rostliny kultivované při zvýšené koncentraci CO<sub>2</sub> je nižší v porovnání s rostlinami kultivovanými v podmínkách přirozené koncentrace CO<sub>2</sub> se nazývá aklimační deprese fotosyntézy. Míra poklesu asimilační kapacity při aklimační depresi se u různých druhů rostlin liší a pohybuje se v rozmezí 30-60 % původních hodnot asimilační kapacity. V literatuře je možné nalézt několik hypotéz vysvětlujících příčiny nástupu aklimační deprese fotosyntézy [15, 16]:

a) *Redistribuce nebo snížení koncentrace anorganického fosfátu.* V důsledku zvýšené rychlosti fotosyntézy dochází ke zvýšené akumulaci fosforylovaných meziproductů Calvinova cyklu a následné redistribuci anorganického fosfátu (P<sub>i</sub>) mezi vnitřním prostorem chloroplastů a cytosolem. Snížené množství P<sub>i</sub> limituje syntézu adenosintrifosfátu (ATP)

nezbytného pro regeneraci primárního akceptoru CO<sub>2</sub> RuBP a dokončení Calvinova cyklu. Kromě této zpětnovazebné limitace spotřebou triózafofátů může snížené množství P<sub>i</sub> a ATP vést ke zpětnovazebné limitaci aktivity enzymu aktivasy Rubisco, jehož omezená funkčnost způsobuje pomalejší aktivaci enzymu Rubisco.

b) *Snížení obsahu či aktivity enzymu Rubisco.* U mnoha rostlinných druhů byl zaznamenán pokles rychlosti asimilace CO<sub>2</sub> jako důsledek poklesu karboxylační aktivity enzymu Rubisco [3]. Pokles množství enzymu Rubisco i jeho aktivity *in vitro* u rostlin dlouhodobě pěstovaných při zvýšené koncentraci CO<sub>2</sub> dokládá řada experimentálních prací. Aktivita enzymu Rubisco může být snížena právě v důsledku lokálního nedostatku P<sub>i</sub> a tím snížené aktivity Rubisco-aktivasy, jak bylo popsáno výše. Další mechanismus deaktivace tohoto enzymu představuje potlačení jeho genové exprese, na čemž se nejvíce podílejí nestrukturní sacharidy, například glukosa a sacharosa. Třetím typem mechanismu je potlačení genové exprese enzymu karbonátdehydratasy, který katalyzuje ustavení rovnováhy mezi CO<sub>2</sub> a HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> ve stromatu chloroplastů, čímž napomáhá difuzi CO<sub>2</sub> z intercelulárního prostoru listů k místům aktivního působení Rubisco v chloroplastech. Pokles aktivity tohoto enzymu tak může nepřímo způsobit i pokles aktivity enzymu Rubisco jeho nedostatečnou karbamylací.

c) *Mechanické poškození tylakoidů v důsledku nadměrné akumulace škrobu.* Transport asimilátů (glyceraldehyd-3-fosfátu a dihydroxyacetonfosfátu) z chloroplastu do cytosolu zajišťuje translokátor fosfátu fosfát-triofosfát-fosfoglycerát-translokátor (TPT). Protože TPT pracuje jako striktní antiport s PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>, může při nedostatku fosforu docházet k nadměrnému hromadění škrobu ve stromatu chloroplastů a následnému poškození tylakoidních membrán. Tento typ aklimační deprese je však řadou autorů považován za extrémní.

d) *Inhibování transkripce genů.* Při kultivaci rostlin ve zvýšené koncentraci CO<sub>2</sub> může zvýšený obsah volných sacharidů způsobovat snížení genové exprese enzymů nezbytných pro jejich syntézu (Rubisco, karbonátdehydratasa). Genová exprese enzymů pro využití sacharidů je v takovém případě naopak stimulována a dochází například k nárůstu počtu genů kódujících ADP-glukosapyrofosforylasu, enzym katalyzující biosyntézu škrobu.

e) *Úroveň minerální výživy, efekt dusíku.* Řada experimentů dokládá, že nedostatek dusíku prohlubuje aklimační depresi fotosyntézy a stres vyvolaný nedostatečnou minerální výživou může zcela potlačit pozitivní účinek zvýšené koncentrace CO<sub>2</sub>. U rostlin pěstovaných při zvýšené koncentraci CO<sub>2</sub> dochází ke snížení obsahu dusíku v pletivech listů. V některých případech můžeme pozorovat tzv. zřed'ovací efekt, kdy je sice zachováno stejné množství dusíku, ale připadá na vyšší množství biomasy. Snížený obsah dusíku negativně ovlivňuje aktivitu všech fotosyntetických enzymů, převážně enzymu Rubisco, který obsahuje 25-50 % listového dusíku. V neposlední řadě může nedostatek dusíku v listech způsobovat i snížení syntézy chlorofylů.

f) *Změny ve struktuře světlosběrných komplexů.* Dlouhodobé působení zvýšené koncentrace CO<sub>2</sub> na rostliny může způsobovat pokles obsahu fotosyntetických aktivních pigmentů, tj. chlorofylů a karotenoidů, a rozpad světlosběrných pigmentoproteinových komplexů. Pozorované změny pravděpodobně souvisí s potlačením fotorespirace, která při

vysoké ozáření a teplotě plní roli „zhášače“ nadměrných excitací, které mohou vést k nevratnému poškození proteinů zapojených v transportu elektronů.

g) *Změny poměru zdroj/úložiště CO<sub>2</sub> v rostlinách.* Při kultivaci rostlin za podmínek zvýšené koncentrace CO<sub>2</sub> se po určité době rychlost fotosyntézy stává závislá na schopnosti rostliny vytvářet nová uhlíková úložiště, což se projevuje například nárůstem listové plochy nebo tvorbou sekundárních letorostů. Nedostatek aktivních úložišť uhlíku vede k prohloubení aklimační deprese fotosyntézy. Podle obecně přijímaného modelu vývoje aklimace fotosyntézy na zvýšenou koncentraci CO<sub>2</sub> je fotosyntetická kapacita řízena poměrem aktuálních změn biochemických a morfologických [17]. Biochemickou změnou je například změna fixace CO<sub>2</sub> enzymem Rubisco nebo regenerace RuBP a triosafosfátů, mezi morfologické změny patří rychlost zabudovávání sacharidů do buněk, nárůst šířky listů, tvorba nových uhlíkových úložišť atd. Pokud převažují biochemické změny, dochází k aklimační depresi fotosyntézy. Převažují-li změny morfologické, dochází k dlouhodobé stimulaci asimilačních procesů zvýšenou koncentrací CO<sub>2</sub>. [3]

## 2.4 Vliv zvýšené koncentrace CO<sub>2</sub> na fotorespiraci

V průběhu fotorespirace dochází k uvolňování molekul CO<sub>2</sub> a NH<sub>3</sub>, spotřebě ATP a redukčních ekvivalentů NADPH. Navzdory tomu, že fotorespirace snižuje kvantový výtěžek asimilačních reakcí, představuje významný ochranný mechanismus. Fotorespirace způsobuje významný energetický propad, čímž rostliny chrání před fotoinhibičním poškozením. Zvýšená koncentrace CO<sub>2</sub> v ovzduší zvyšuje poměr koncentrací CO<sub>2</sub> a O<sub>2</sub> v rostlině a tím i pravděpodobnost navázání molekuly CO<sub>2</sub> na aktivní místo enzymu Rubisco. Potlačení oxygenázové aktivity enzymu Rubisco vede ke snížení fotorespirace a následnému zvýšení dostupnosti ATP a NADPH, které stimulují fotosyntetické procesy a zajišťují transport vlastních produktů fotosyntézy [3].

## 2.5 Vliv zvýšené koncentrace CO<sub>2</sub> na respiraci

Podle některých studií způsobuje kultivace rostlin při dvojnásobné koncentraci oxidu uhličitého (700 μmol.mol<sup>-1</sup>) potlačení mitochondriální respirace v průměru o 15–20 % [18]. U některých druhů obilovin byl naopak zaznamenán až 20% nárůst respirace. [3] Předpokládá se, že inhibici respiračních procesů zvýšenou koncentrací CO<sub>2</sub>, způsobuje snížení aktivity cytochrom c-oxidasy, tj. redukce přenosu elektronů v dýchacím řetězci, nebo snížení aktivity enzymů na úrovni citrátového cyklu.

Rozdílnou reakci dýchání na zvýšenou koncentraci CO<sub>2</sub> mohou způsobovat změny obsahu nestrukturních sacharidů, rychlosti růstu a struktury rostlinné biomasy, změny ve složení biomasy, změny v přímé chemické interakci mezi CO<sub>2</sub> a enzymy dýchacího řetězce a změny v přímé chemické vazbě CO<sub>2</sub> na různé buněčné komponenty, změny v míře temnotní fixace CO<sub>2</sub> a v míře biosyntézy ethylenu.

## 2.6 Vliv zvýšené koncentrace CO<sub>2</sub> na vodivost průduchů

Zvýšená koncentrace CO<sub>2</sub> vyvolává u většiny rostlin přivření průduchů. Tento jev zřejmě souvisí se zvýšením koncentrace CO<sub>2</sub> v intercelulárách. Snížení vodivosti průduchů má za následek pokles rychlosti transpirace. Mechanismus tohoto děje zatím nebyl uspokojivě popsán. Jednou z možností je, že zvýšená koncentrace CO<sub>2</sub> vede ke zvýšené akumulaci sacharosy v buněčných stěnách svěřacích buněk, což se projeví pomalejším otevíráním průduchů. Drake a kol. [19] provedli 41 pokusů s 28 druhy rostlin. Z výsledků vyvodili, že průměrné snížení vodivosti průduchu při dvojnásobné koncentraci CO<sub>2</sub> je 20 %.

Zatím nebylo prokázáno, že by docházelo k aklimaci vodivosti průduchů během dlouhodobé kultivace rostlin při zvýšené koncentraci CO<sub>2</sub> [11]. V důsledku aklimace na zvýšenou koncentraci CO<sub>2</sub> pravděpodobně dochází k poklesu frekvence průduchů na listech rostlin. Analýzou rostlin z herbářů bylo zjištěno, že frekvence průduchů v polovině 18. století byla o 21 % vyšší, než v současné době [20].

## 2.7 Vliv zvýšené koncentrace CO<sub>2</sub> na pšenici

Pšenice patří mezi jednu z nejdůležitějších plodin zajišťujících výživu lidstva. Z jejích zralých zrn se získává mouka, která slouží převážně k výrobě chleba a jiných produktů. V roce 2008 činila celosvětová produkce pšenice 683 milionů tun [21]. V dřívějších letech bylo díky ročním i víceletým experimentům s použitím systému FACE (Free Air CO<sub>2</sub> Enrichment, volně přeloženo obohacení volného vzduchu oxidem uhličitým) prokázáno, že u C3 rostlin, mezi které patří i pšenice, má zvýšená koncentrace CO<sub>2</sub> při dostatku vody a živin za následek zvýšení produkce nadzemní biomasy [22, 23]. Přestože jsou výsledky jednotlivých pokusů někdy protichůdné, zvýšení koncentrace CO<sub>2</sub> na 550-600 μmol.l<sup>-1</sup> způsobuje zvýšení výnosu zrna v průměru o 10-16 % [24, 25].

Doposud bylo publikováno pouze málo prací zabývajících se dopady zvýšené koncentrace CO<sub>2</sub> na chemické parametry kvality zrna a tyto práce přinášejí často protichůdná zjištění. Některé experimenty prováděné v polních podmínkách dokazují, že jisté kvalitativní znaky zrna nejsou ovlivněny zvýšenou koncentrací CO<sub>2</sub>, zatímco další experimenty přinášejí důkazy o výrazném vlivu zvýšené koncentrace CO<sub>2</sub> na tyto znaky. Nejnovější studie uvádějí, že zvýšená koncentrace CO<sub>2</sub> má především za následek snížení obsahu dusíkatých sloučenin v zrně [26, 23, 27]. Přestože negativní spojitost mezi výnosem zrna a koncentrací dusíku je dobře známá [28, 29], zvýšená koncentrace CO<sub>2</sub> navíc zvyšuje účinnost využívání zdrojů vody a dusíku, což má za následek změny v chemickém složení vegetativních částí rostlin [30, 31, 32]. Jelikož obsah zrna je z velké části závislý na remobilizaci a dodávkách asimilátů jako například sacharosy a aminokyselin a jejich metabolické regulaci, předpokládá se, že zásobní metabolismus zrna a tedy i klíčové znaky kvality zrna budou ovlivněny zvýšenou koncentrací CO<sub>2</sub>.

Pšeničné zrno je významným zdrojem sacharidů, proteinů, aminokyselin, lipidů a minerálních látek, což ovlivňuje nutriční hodnotu stravy a vlastnosti konečných výrobků. Zvláště celková koncentrace bílkovin je důležitým ekonomickým faktorem, protože se jedná

o základní ukazatel kvality chleba. Nejvýznamnějším zjištěním předchozích studií je pokles celkové koncentrace bílkovin v zrně o 3,5–14,3 % vyvolaný zvýšenou koncentrací CO<sub>2</sub>, který je navíc doprovázen změnou složení proteinů [26, 33]. Při dalších experimentech byl pozorován pokles proteinů lepku, buď z důvodu poklesu pouze gliadinů [23, 33] nebo z důvodu poklesu jak frakce gliadinů tak i gluteninů [26], což může mít vliv na vlastnosti důležité pro výrobu kvalitního chleba. Při těchto studiích byl také zaznamenán pokles celkové koncentrace proteinogenních aminokyselin [33]. V pokusech s použitím systému FACE buď nebyla koncentrace škrobu, hlavního zásobního polysacharidu pšeničných zrn, zvýšenou koncentrací CO<sub>2</sub> vůbec ovlivněna, nebo byla pouze zvýšena. Přestože neškrobové polysacharidy tvoří méně než 3 % celkové hmotnosti mouky, hrají důležitou roli při výrobě chleba tím, že přispívají k distribuci vody v těstě a slouží jako živná půda pro kvasinky při kynutí těsta [34]. V experimentech s použitím systému FACE bylo zaznamenáno zvýšení koncentrace fruktosy a fruktanů [23].

Lipidy přispívají pouze 1–1,5 % k celkové hmotnosti pšeničného zrna, mají však také vliv na pečení. Jejich koncentrace nebyla při zvýšené koncentraci CO<sub>2</sub> zvýšena, pouze se zvýšilo jejich množství sklizené na jednotku plochy. Při tomto experimentu bylo zaznamenáno zvýšené množství minerálních látek jako draslíku, molybdenu a olova, zatímco množství hořčíku, železa, kadmia a křemíku bylo nižší. Tyto údaje naznačují, že zvýšená koncentrace oxidu uhličitého může mít vliv na nutriční hodnotu pšeničných zrn a kvalitu výrobků z nich [23]. Při dalších pokusech byl zaznamenán pokles koncentrace síry [35], zatímco koncentrace jednotlivých makro a prvků zůstaly v jiné studii nezměněny [33].

## 3 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

### 3.1 Metodika

Experiment byl založen na Experimentální stanici Centra výzkumu globální změny AV ČR v.v.i. v Domanínku u Bystřice nad Pernštejnem v Českomoravské vrchovině (49°52'N, 16°23'E, nadmořská výška 575 m). Půdní typ je modální kambisol s geologickým podložím zvětralá rula v hloubce 60–90 cm. Půdní druh je hlinito-písčítá půda s podílem písčité frakce 45–60 % a obsahem jílnatých částic do 16 %. Půdní kyselost  $\text{pH}_{\text{KCl}}$  se na dané lokalitě pohybuje v rozmezí 4–5. Tato oblast je charakteristická jako srážkově bohatá s průměrným ročním úhrnem srážek 610 mm a průměrnou teplotou 7,2 °C. Experiment probíhal ve 24 komorách umožňujících automatickou fumigaci zvýšenou koncentrací  $\text{CO}_2$ , manipulaci srážek a vyloučení UV radiace u poloviny komor. Komory mají šestiúhelníkový tvar s opsanou kružnicí o průměru 4 m se základní výškou 2 m, na které je postavena sedlová lamelová stříška. Komory jsou vyrobeny ze dvou typů transparentních akrylátů a z toho jeden je propustný pro UV-A a UV-B záření a druhý nepropouští UV-B záření a pouze částečně UV-A. Vzduch se zvýšenou koncentrací  $\text{CO}_2$  je do komor vháněn pomocí ventilačního systému po obvodu celé komory. Manipulace srážek probíhá na základě uzavírání a otevírání otočných lamel, které jsou řízeny na základě signálu ze srážkoměru.

Ozimá pšenice odrůdy Bohemia (s potravinářskou kvalitou A) byla vyseta 10. října 2012 v hustotě 4 MKS na ha (miliony klíčivých semen). Fumigace zvýšenou koncentrací  $\text{CO}_2$  (EC;  $700 \mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ ) byla zahájena v růstové fázi poloviny sloupkování (polovina května). Parcelky uvnitř komor byly rozděleny na dvě menší části, z nichž jedna byla hnojena dávkou dusíku  $200 \text{ kg N ha}^{-1}$  (ledek vápenatý) v růstové fázi konec odnožování. Druhá parcelka zůstala bez hnojení dusíkem. Každá kombinace faktorů byla založena ve třech opakováních představujících samostatné komory. Sklizeň zrna byla provedena ručně s následným výmlatem pomocí přesné maloparcelní sklízecí mlátičky (Wintersteiger).

### 3.2 Stanovení sedimentačního indexu- Zelenyho test [36]

#### 3.2.1 Princip

Sedimentační index je jedním z faktorů, určujících jakost pšenice a výrazně ovlivňuje pekařskou jakost mouky vyrobené z této pšenice. Podstata zkoušky je založena na schopnosti bílkovin mouky bobtnat v kyselém prostředí. Ze zkoušené mouky, připravené z pšenice za přesně stanovených podmínek mletí a prosévání, se připraví suspenze v roztoku kyseliny mléčné a isopropanolu s přidavkem barviva. Po určené době protřepávání a klidu se stanoví objem sedimentu vzniklého sedimentací částic mouky. Takto zjištěný objem sedimentu je ukazatelem kvality lepkové bílkoviny.

### 3.2.2 Chemikálie

Byly použity chemikálie analytické čistoty.

1) Destilovaná nebo deionizovaná voda.

2) Kyselina DL-mléčná,  $c(\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_3) = 85 \%$ . Byl použit komerčně dodávaný roztok.

3) Hydroxid sodný, odměrný roztok,  $c(\text{NaOH}) = 0,5 \text{ mol.dm}^{-3}$ .

*Příprava:* 20 g hydroxidu sodného bylo rozpuštěno ve vodě (1), poté byl roztok kvantitativně převeden do 1000 ml odměrné baňky a po vytemperování na laboratorní teplotu byl doplněn vodou (1) po značku. Roztok byl nechán stát jeden den a poté byl stanoven jeho faktor následujícím postupem:

Do 250 ml titrační baňky bylo pipetováno 20 ml roztoku kyseliny šťavelové (12), tj. množství, které odpovídá spotřebě 20 ml odměrného roztoku hydroxidu sodného (3), byly přidány 2 kapky roztoku methyloranže (11) a bylo titrováno roztokem hydroxidu sodného (3) do spotřeby asi o 2 ml nižší než je teoretická spotřeba (tzn. 18 ml). Potom bylo přidáno 10 ml roztoku chloridu vápenatého (10), předem zneutralizovaného na methyloranž do žluta a bylo dotitrováno do mléčně žlutého zabarvení. První stanovení bylo považováno za orientační. Při druhé titraci bylo titrováno hydroxidem sodným až do jeho spotřeby nižší asi o 0,2 ml, než byla při orientačním stanovení. Pak bylo přidáno 10 ml chloridu vápenatého (10) a bylo dotitrováno stejným způsobem, jako v předešlém případě. Faktor odměrného roztoku hydroxidu sodného byl vypočten podle vztahu:

$$f = \frac{V_{\text{teoret}}}{V}$$

$V_{\text{teoret}}$  je teoretický objem odměrného roztoku hydroxidu sodného (3) potřebný k titraci roztoku kyseliny šťavelové (12) v ml,

$V$  je skutečný objem odměrného roztoku hydroxidu sodného (3) spotřebovaného při titraci v ml.

4) Ethanol,  $c(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = 96 \%$ , denaturovaný.

5) Fenolftalein, roztok,  $c(\text{C}_{20}\text{H}_{14}\text{O}_4) = 10 \text{ g.dm}^{-3}$ .

*Příprava:* 1 g fenolftaleinu byl rozpuštěn v ethanolu (4), převeden do 100 ml odměrné baňky a doplněn ethanollem (4) po značku.

6) Zásobní roztok kyseliny mléčné,  $c(\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_3) = (2,7 - 2,8) \text{ mol.dm}^{-3}$ .

*Příprava:* V 1000 ml odměrné baňce bylo 250 ml kyseliny mléčné (2) naředěno a doplněno vodou (1) po značku. Roztok byl přelit do 2000 ml varné baňky se zábrusem, byly přidány varné kamínky nebo kuličky a roztok byl umístěn na vařič. Baňka byla připojena ke zpětnému chladiči, roztok byl přiveden k varu a vařen 6 h.

Roztok kyseliny mléčné byl vytemperován na laboratorní teplotu a druhý den bylo 5 ml tohoto roztoku titrováno hydroxidem sodným (3) s použitím fenolftaleinu (5) jako indikátoru.



Na 5 ml roztoku kyseliny mléčné je zapotřebí asi 28 ml roztoku hydroxidu sodného (3). Zjištěná koncentrace se musí nacházet mezi (2,7 – 2,8) mol.dm<sup>-3</sup>.

Koncentrace zásobního roztoku kyseliny mléčné ( $x$ ) v mol.dm<sup>-3</sup> byla vypočtena podle vztahu:

$$x = \frac{V_2 \times f \times c}{V_1}$$

$V_1$  je pipetovaný objem zásobního roztoku kyseliny mléčné v ml,

$V_2$  je spotřeba odměrného roztoku hydroxidu sodného v ml,

$f$  je faktor odměrného roztoku hydroxidu sodného,

$c$  je koncentrace odměrného roztoku hydroxidu sodného v mol.dm<sup>-3</sup>.

Zásobní roztok kyseliny mléčné se připravuje jednorázově a uchovává se v tmavých skleněných lahvích.

7) Isopropanol.

8) Zkušební roztok kyseliny mléčné.

*Příprava:* V 1000 ml odměrné baňce bylo důkladně promícháno 180 ml zásobního roztoku kyseliny mléčné (6) s 200 ml isopropanolu (7) a doplněno vodou po značku. Připravený zkušební roztok se uchovává v uzavřené baňce a před použitím se ponechá stát po dobu nejméně 48 h. Používá se nejdéle 15 dní od přípravy.

9) Bromfenolová modř, roztok.

*Příprava:* V 1000 ml odměrné baňce byly rozpuštěny 4 mg bromfenolové modři a baňka byla doplněna vodou (1) po značku.

10) Chlorid vápenatý, roztok,  $c(\text{CaCl}_2) = 20 \%$ .

*Příprava:* 20 g chloridu vápenatého bezvodého bylo rozpuštěno v 80 ml vody (1). K přípravě roztoku lze použít i chlorid vápenatý hexahydrát. V tomto případě se naváží 39,45 g hexahydrátu chloridu vápenatého a rozpustí se v 60,55 ml vody.

11) Methyloranž, indikátor, 0,1 % roztok.

*Příprava:* 0,1 g methyloranže bylo rozpuštěno a doplněno ve 100 ml odměrné baňce po značku vodou (1).

12) Kyselina šťavelová, dihydrát, roztok,  $c(\text{C}_2\text{H}_2\text{O}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}) = 0,25 \text{ mol.dm}^{-3}$ .

*Příprava:* 31,518 g kyseliny šťavelové bylo rozpuštěno a doplněno v 1000 ml odměrné baňce po značku vodou (1).

### **Poznámky**

*Koncentrovaný roztok kyseliny mléčné obsahuje asociované molekuly, které při ředění pomalu disociují až do dosažení rovnovážného stavu. Varem se tento proces, který má pro získání reprodukovatelných hodnot sedimentace zásadní význam, urychluje.*

### 3.2.3 Přístroje a pomůcky

- 1) Laboratorní mlýnek Brabender-Sedimat.
- 2) Odměrné válce s plochým dnem o objemu 100 ml, s dělenou stupnicí v mililitrech, se značkou pro 100 ml vzdálenou ode dna mezi 180 mm a 185 mm, opatřené plastovými nebo skleněnými zátkami.
- 3) Třepačka na válce s frekvencí 40 kmitů/min, vybavená časovým spínačem. Každý kmit musí vychýlit válec o 60° (30° nad a pod vodorovnou polohu).
- 4) Varná baňka se zábrusem, 2000 ml.
- 5) Zpětný chladič.
- 6) Elektrický vaříč.
- 7) Analytické váhy s přesností 0,001 g.
- 8) Byreta, 50 ml, dělená po 0,1 ml.
- 9) Stopky.
- 10) Plastové krabičky s víčkem, 200 ml.
- 11) Laboratorní mlýnek Brabender-Sedimat.
- 12) Pomůcky k čištění- štětec, vysavač.
- 13) Filtrační papír, lžíce.

### 3.2.4 Postup

#### 3.2.4.1 Příprava zkušební mouky [37]

Mouka pro stanovení sedimentačního indexu se připraví mletím na laboratorním mlýnku Brabender-Sedimat. Před vlastním mletím je nutné zrno hydrotermicky upravit. Cílem této úpravy je zlepšení mlynářských vlastností zrna. Dojde k účinnějšímu oddělení obalových vrstev od endospermu a tím pšenice získá optimální pekařské vlastnosti. Důležitými kroky při vlhčení jsou intenzita nakropení (množství použité vody), doba odležení a četnost opakování cyklu nakropení a odležení.

*Hydrotermická úprava:* Bylo naváženo 100 g vzorku s přesností 0,001 g do označené plastové krabičky. Vzorek byl hydrotermicky upraven, tzn., že zrno bylo nakropeno na požadovanou vlhkost 14 %. Plastová krabička se vzorkem byla uzavřena, řádně protřepána a nechána odležet 16 hod. Pokud má vzorek vyšší hodnotu vlhkosti, než je požadovaná, vysuší se na tuto požadovanou vlhkost při laboratorní teplotě.

*Mletí:* Vzorek byl pomlet na mlýnku Brabender-Sedimat. Časový spínač mlýnku byl nastaven na 3 min. Po zapnutí mlýnku byl do násypky mlýnku nasypán předem připravený vzorek. Mletí probíhalo mezi vstupním podávacím válcem a prvním mlecím válcem s mezerou 1 mm a mezi dalšími mlecími válci s mezerou přibližně 0,5 mm při 900 ot.min<sup>-1</sup>. Proces mletí a prosívání probíhal automaticky a po uplynutí nastavené doby se mlýnek sám vypnul. Následovala další 1 minuta mletí, při které docházelo k dodatečnému prosívání mouky

z otrub. Takovýmto postupem bylo získáno dostatečné množství mouky (cca 13 g) potřebné na stanovení sedimentační hodnoty Zeleného testu. Při dodatečném prosívání po dobu 1 minuty nebyla charakteristika mouky pro Zeleného test změněna.

Pomletý materiál byl vložen do označené uzavíratelné plastové krabičky. Mezi mletím jednotlivých vzorků byl vyčištěn mlecí prostor, válcové síto i sběrná nádoba pomocí štětce a vysavače. Po ukončení mletí byl mlýnek včetně cyklonu vyčištěn. Po dvouhodinovém odležení byl vzorek použit ke stanovení hodnoty sedimentačního testu.

#### **3.2.4.2 Stanovení hodnoty sedimentačního indexu**

Zkoušky se prováděly za normálních světelných podmínek, mimo přímé sluneční světlo.

Bylo naváženo ( $3,2 \pm 0,05$ ) g vzorku. Do 100 ml odměrného válce bylo odměřeno 50 ml roztoku bromfenolové modři (9) a pomocí násypky byl přidán vzorek. Válec byl uzavřen zátkou a ve vodorovné poloze byl třepán horizontálně do vzdálenosti přibližně 18 až 20 cm, dvanáctkrát v každém směru po dobu přibližně 5 s. Poté byl válec vložen do třepačky, byly spuštěny stopky a třepačka. Po 5 min byl válec z třepačky vyjmut a k jeho obsahu bylo přidáno pomocí odměrného válce 25 ml zkušební roztoku kyseliny mléčné (8). Válec byl opět vložen do třepačky a byl třepán dalších 5 min. Po uplynutí uvedené doby byl válec vyjmut a postaven do vzpřímené polohy. Obsah válce byl ponechán stát po dobu 5 min, potom byl odečten objem sedimentu s přesností na 1 ml.

#### **3.2.5 Výpočet a vyjádření výsledků**

Číslo, udávající objem sedimentu, vyjádřené v mililitrech a zaznamenané v souladu se stanovením, se označuje jako sedimentační index.

Výsledná hodnota se získá jako aritmetický průměr dvou stanovení, pokud je splněn požadavek na mez opakovatelnosti. Jestliže rozdíl přesahuje mez opakovatelnosti, stanovení se opakuje.

Výsledek se uvádí v celých číslech.

#### **3.2.6 Opakovatelnost**

*Tabulka 1 Požadavek na mez opakovatelnosti pro pšeničné zrna*

<b>parametr</b>	<b>koncentrační hladina</b>	<b>opakovatelnost</b>
sedimentační index	pro celý rozsah měření	2 ml

### **3.3 Stanovení čísla poklesu [36]**

#### **3.3.1 Princip**

Stanovení čísla poklesu se užívá pro stanovení aktivity  $\alpha$ -amylázy u obilovin. Stanovení je založeno na schopnosti vodní suspenze mouky nebo celozrnného cereálního produktu rychle zmazovatět ve vroucí vodní lázni a na měření ztekucení škrobu, ke kterému dochází působením  $\alpha$ -amylázy přítomné ve vzorku. Ztekucení ovlivňuje odpor škrobového gelu vůči viskozimetrickému míchadlu a čas potřebný k poklesu míchadla o určenou vzdálenost.

### 3.3.2 Chemikálie

1) Destilovaná nebo deionizovaná voda.

### 3.3.3 Přístroje a pomůcky

1) Přístroj ke stanovení čísla poklesu Falling Number 1700 dvoupozicový. Součástí přístroje je:

- vodní lázeň se zabudovaným vyhříváním, chlazením a ukazatelem vodní hladiny,
- elektronické stopky,
- viskozimetrické míchadlo, kovové, volně pohyblivé v ebonitové zátce, jehož ramena musejí být rovná a kroužek bez zakřivenin vlivem deformací a opotřebení,
- přesné viskozimetrické zkumavky, vyrobené ze speciálního skla (rozměry: vnitřní průměr 21,00 mm ± 0,02 mm, vnější průměr 23,80 mm ± 0,25 mm, vnitřní výška 220,00 mm ± 0,30 mm),
- plastové, případně gumové zátky, k uzavření viskozimetrických kyvet.

2) Pipeta o objemu 25,0 ml ± 0,2 ml.

3) Analytické váhy s přesností 0,001 g.

4) Laboratorní třepačka SHAKE-MATIC.

5) Laboratorní mlýnek Mill 3100.

6) Pomůcky k čištění- štětec a vysavač.

7) Síto s velikostí ok 0,80 mm.

8) Filtrační papír, lžíce.

9) Papírové sáčky.

### 3.3.4 Postup

#### 3.3.4.1 Příprava zkušební vzorku [37]

Vzorky pšenice obecné se melou na kladívkovém šrotovníku.

*Příprava šrotu:* Vzorek zbavený veškerých nečistot byl promíchán a pomocí odměrné nádoby bylo odebráno množství přibližně 100 g, které bylo použito k mletí. Po zapnutí mlýnku byl vzorek nasypán do násypky mlýnku. Klapkou vedle násypky byl řízen postupný přívod zrna do mlecího prostoru. Melivo padalo přes síto s velikostí ok 0,80 mm do sběrné nerezové nádoby. Bylo důležité, aby byl vzorek pomlet do 1 minuty, čímž se zaručilo minimální zahřátí vzorku. Mezi mletím jednotlivých vzorků byly vyčištěny všechny části mlýnku, které přicházely do styku se vzorkem. K čištění byl použit štětec a vysavač. Mlýnek včetně cyklonu byl důkladně vyčištěn i po ukončení mletí.

Pomletý materiál byl převeden do označeného papírového sáčku. Po namletí byl vzorek nechán 2 hodiny odležet a poté byl použit k vlastním analýzám. Takto připravené vzorky se mohou skladovat při laboratorní teplotě nejdéle jeden týden.

#### **3.3.4.2 Stanovení vlhkosti**

Číslo poklesu (FN) mouky nebo semletého materiálu se stanovuje při obsahu vlhkosti 15 %. Vlhkost připraveného zkušebního materiálu se stanoví metodou NIR spektrometrie.

#### **3.3.4.3 Zkušební podíl**

Stanovení bylo provedeno se dvěma zkušebními podíly současně. Tabulka 2 uvádí požadovanou navážku zkušebního vzorku pro jmenovitou hmotnost navážky 7 g, kterou je potřeba odebrat při různé vlhkosti, aby se pro stanovení čísla poklesu zajistil konstantní podíl sušiny.

Tabulka 2 Navážka zkušebního vzorku jako funkce vlhkosti vzorku

vlhkost (%)	navážka vzorku (g)	vlhkost (%)	navážka vzorku (g)
	pro hmotnost 7 g při vlhkosti 15 %		pro hmotnost 7 g při vlhkosti 15 %
9,0	6,40	13,6	6,85
9,2	6,45	13,8	6,90
9,4	6,45	14,0	6,90
9,6	6,45	14,2	6,90
9,8	6,50	14,4	6,95
10,0	6,50	14,6	6,95
10,2	6,55	14,8	7,00
10,4	6,55	15,0	7,00
10,6	6,55	15,2	7,00
10,8	6,60	15,4	7,05
11,0	6,60	15,6	7,05
11,2	6,60	15,8	7,10
11,4	6,65	16,0	7,10
11,6	6,65	16,2	7,15
11,8	6,70	16,4	7,15
12,0	6,70	16,6	7,15
12,2	6,70	16,8	7,20
12,4	6,75	17,0	7,20
12,6	6,75	17,2	7,25
12,8	6,80	17,4	7,25
13,0	6,80	17,6	7,30
13,2	6,80	17,8	7,30
13,4	6,85	18,0	7,30

#### 3.3.4.4 Stanovení čísla poklesu

Vodní lázeň byla naplněna vodou (1) na úroveň určenou přepadem. Byl zapnut chladicí systém a bylo zajištěno, aby studená voda protékala chladicím víkem. Přístroj na stanovení čísla poklesu byl uveden do provozu a voda byla přivedena k varu. Před každým stanovením a během celé zkoušky byla voda udržována v intenzivním varu.

Do čisté, suché viskozimetrické zkumavky bylo pomocí pipety odměřeno 25 ml  $\pm$  0,2 ml vody (1) o teplotě 22 °C  $\pm$  2 °C a poté byla do zkumavky převedena navážka zkušebního podílu a zkumavka byla ihned zazátkována.

Byla použita laboratorní třepačka SHAKE-MATIC a třepání bylo prováděno automaticky. Po zapnutí přístroje byly viskozimetrické zkumavky s plastovými zátkami vloženy do úchytů v přístroji, dvířka byla zavřena a bylo spuštěno tlačítko „start“. Po ukončení třepání se přístroj automaticky otevřel a zkumavky se zátkami byly vyjmuty z úchytů. Zátka byla vyjmuta, všechen materiál zachycený na spodní části zátky byl setřen zpět do zkumavky a viskozimetrickým míchadlem byl seškrábnut i všechen materiál ulpěný na jejích stěnách. Míchadlo bylo ponecháno ve zkumavce. Protože byl použit přístroj se dvěma zkumavkami, předchozí kroky musely být provedeny během 30 s po přidání vody.

Viskozimetrická zkumavka společně s míchadlem byla okamžitě vložena otvorem víka do vroucí vodní lázně. Podle pokynů výrobce byl spuštěn kryt a byla aktivována hlava míchadla. Přístroj potom vykonal všechny úkony automaticky. Zkouška byla považována za ukončenou, když viskozimetrické míchadlo dosáhlo dna zmazovatělé suspenze. Čas zobrazený na displeji stopek byl zaznamenán. Tento čas udává číslo poklesu (FN) a vyjadřuje se v sekundách.

Konec zkoušky byl oznámen zvukovým signálem, poté byl zvednut kryt míchadel, zkumavka a míchadlo byly opatrně vyjmuty, neboť byly horké. Míchadlo bylo důkladně vyčištěno, aby bylo zajištěno, že ve vyhloubené horní části ebonitové zátky nezůstal žádný materiál, který by mohl bránit poklesu míchadla při dalším stanovení. Zkumavky byly namočený a byly umyty bez použití detergentu a opláchnuty vodou (1). Vždy bylo zajištěno, aby viskozimetrické míchadlo bylo před dalším použitím suché.

### **Poznámky**

*V případě, že není k dispozici laboratorní třepačka, viskozimetrická zkumavka se ihned uzavře gumovou zátkou a intenzivně protřepe nahoru a dolů dvacetkrát až třicetkrát tak, aby se získala homogenní suspenze. Je třeba zajistit, aby se suchá mouka nebo šrot nezachytily v horní části zkumavky a na zátce. Je-li třeba, mohou být odstraněny opatrným nadzvednutím zátky a je-li to nutné, opětovným protřepáním.*

### **3.3.5 Výpočet a vyjádření výsledků**

Pokud byly splněny podmínky opakovatelnosti uvedené v tabulce č. 2, vezme se jako výsledek aritmetický průměr obou stanovení.

### **Poznámky**

*Hodnota čísla poklesu (FN) je ovlivněna bodem varu vody, který je závislý na atmosférickém tlaku a nadmořské výšce laboratoře. Nemá se provádět žádná úprava bodu varu vody vodní lázně, neboť to může vést k chybám ve výsledcích. V laboratořích s nadmořskou výškou nižší než 600 m se použijí nekorigované hodnoty čísel poklesu (FNs) u vzorků namletého zrna a při nadmořské výšce nižší než 750 m u mouky a semoliny.*

### 3.3.6 Opakovatelnost

Absolutní rozdíl mezi dvěma jednotlivými stanoveními provedenými za podmínek opakovatelnosti nesmí přesáhnout hodnoty uvedené v tabulce 3. Jestliže výsledky dvou zkoušek leží mimo tyto hraniční hodnoty, je třeba stanovení opakovat na dvou nových zkušebních podílech.

Tabulka 3 Hodnoty opakovatelnosti čísla poklesu pro namleté zrno

Hodnota čísla poklesu (s)	hodnota opakovatelnosti (s)
60 až 79	10
80 až 109	13
110 až 139	15
140 až 169	17
170 až 199	19
200 až 229	21
230 až 259	23
260 až 289	25
290 až 319	27
320 až 349	30
350 až 379	32
nad 380	40

## 3.4 Stanovení tvrdosti, škrobu, sušiny, dusíkatých látek a vlhkosti metodou blízké infračervené spektrometrie (NIRs) [36]

### 3.4.1 Princip

Metoda NIR spektrometrie je vhodná pro stanovení vybraných parametrů ve vzorcích pšenice obecné. Vzorky se měří metodou NIR spektroskopie v blízké infračervené spektrální oblasti 4000 až 10000  $\text{cm}^{-1}$ , 1 000 až 2500 nm s reflektanční detekcí. Vyhodnocení se provádí matematickými statistickými postupy z kalibračního modelu. Kalibrační model pro určitý parametr vyjadřuje míru korelace mezi výsledky získanými metodou NIR spektrometrie a laboratorní referenční metodou (LRM) a pro jeho spolehlivé vytvoření je potřeba získat dostatečně obsáhlý soubor analyzovaných vzorků.

Měření probíhá v pevném vzorku, který se před měřením předupraví mletím a důkladnou homogenizací.



### 3.4.2 Přístroje a pomůcky

- 1) Spektrometr měřící v blízké infračervené spektrální oblasti (FT-NIR).
- 2) Křemenná měřicí kyveta o vhodném průměru (byly použity kyvety o průměru 3 cm).
- 3) Laboratorní mlýnek Mill 3100.
- 4) Pomůcky k čištění- štětec a vysavač.
- 5) Síto s velikostí ok 0,80 mm.
- 6) Filtrační papír, lžice.
- 7) Papírové sáčky.

### 3.4.3 Postup

#### 3.4.3.1 Příprava vzorků [37]

Metoda NIR spektroskopie nevyžaduje speciální přípravu vzorků, ale musejí být dodrženy přesné postupy pro sušení, mletí a homogenizaci vzorků.

*Příprava šrotu:* Vzorek zbavený veškerých nečistot byl promíchán a pomocí odměrné nádoby bylo odebráno množství přibližně 100 g, které bylo použito k mletí. Po zapnutí mlýnku byl vzorek nasypán do násypky mlýnku. Klapkou vedle násypky byl řízen postupný přívod zrna do mlecího prostoru. Melivo padalo přes sítko s velikostí ok 0,80 mm do sběrné nerezové nádoby. Bylo důležité, aby byl vzorek pomlet do 1 minuty, čímž se zaručilo minimální zahřátí vzorku. Mezi mletím jednotlivých vzorků byly vyčištěny všechny části mlýnku, které přicházely do styku se vzorkem. K čištění byl použit štětec a vysavač. Mlýnek včetně cyklonu byl důkladně vyčištěn i po ukončení mletí.

Pomletý materiál byl převeden do označeného papírového sáčku. Po namletí byl vzorek nechán 2 hod. odležet a poté byl použit k vlastním analýzám. Takto připravené vzorky se mohou skladovat při laboratorní teplotě nejdéle jeden týden.

#### 3.4.3.2 Homogenizace vzorků

Upravené vzorky vyžadují před vlastním měřením důkladné promíchání, aby bylo dosaženo maximální homogenity vzorků. Pokud vzorky nejsou homogenní, může být významně ovlivněna přesnost a správnost NIR analýzy.

#### 3.4.3.3 Měření vzorků na NIR spektrometru

Před měřením vzorků byl přístroj nastaven podle doporučení výrobce.

NIR spektra upravených vzorků byla snímána v křemenných kyvetách o průměru 3 cm. Upravený a dokonale promíchaný vzorek byl rovnoměrně nadávkován do měřicí kyvety v takovém množství, aby bylo možné kyvetu uzavřít. Vzorek byl nadávkován tak, aby pokrýval celou plochu kyvety a aby se neobjevovaly vzduchové mezery mezi částmi vzorku, které by mohly negativně ovlivnit správnost měření. Takto nadávkovaný vzorek byl umístěn do měřicí části přístroje a bylo nasnímáno jeho NIR spektrum.

Všechna NIR měření byla provedena v režimu reflektance. Každý vzorek byl měřen dvakrát (ve dvou kyvetách).

#### 3.4.4 Vyhodnocení výsledků

Vývoj metody NIR spektrometrie pro stanovení sledovaného parametru v požadovaných maticích je založen na vytvoření kalibrační rovnice (modelu) z dostatečně rozsáhlého souboru měřených vzorků, která kvantifikuje vztah mezi informací NIR absorpce a hodnotou stanovenou laboratorní referenční metodou. Počet měřených vzorků pro vytvoření vhodného NIR kalibračního modelu je rozhodující z hlediska dostatečné robustnosti celé metody (doporučuje se nejméně 60 vzorků).

Vyhodnocování výsledků neznámých vzorků pro danou matici a parametr se provádí softwarově s použitím matematických a statistických postupů aplikovaných na vytvořené příslušné kalibrační modely.

K vyhodnocování získaných spektrálních dat se používá vhodný vyhodnocovací software. Naměřená NIR spektra jsou v tomto programu uložena a následně je možné k jednotlivým vzorkům přiřadit laboratorní referenční hodnoty. Kalibrace jsou zpracovány vhodnou regresní metodou, např. PLS (partial least squares, parciální nejmenší čtverce). Ke kontrole kalibračního modelu a ověření predikční schopnosti daného modelu se používá metoda příčné validace (cross validation), která poskytuje optimální počet latentních proměnných (hlavních komponent). Dále jsou používány různé matematické úpravy snímaných spekter, jako např. derivace, korekce rozptylu záření SNV (standard normal variate) a výběr vhodných vlnových délek tak, aby byly získány co nejkvalitnější regresní charakteristiky kalibračního modelu. Predikční schopnosti vytvořených kalibračních modelů se ověří porovnáním laboratorní referenční metody a NIR metody na testovaných vzorcích, které nejsou zahrnuty do vývoje kalibračního modelu.

Predikci neznámých vzorků, které nejsou součástí kalibračního modelu, je nutné provádět v souladu s validačními parametry stanovenými pro danou metodu. Výsledky stanovení neznámého vzorku se uvádějí v % přepočtených na obsah sušiny vzorku.

#### Poznámky

*Neznámé vzorky se měří nejméně ve 2 paralelních stanoveních. Pokud hodnota paralelního stanovení překročí opakovatelnost metody NIR spektroskopie uvedenou v tabulce, je nutné měření opakovat.*

#### 3.4.5 Opakovatelnost

Tabulka 4 Požadavky na mez opakovatelnosti pro pšenici obecnou

parametr	opakovatelnost
sušina	0,30 (%)
N-látky	0,40 (%/s)
škrob	2,00 (%/s)
tvrdost	2,00 (PSI)

### **3.5 Stanovení objemové hmotnosti zvané „hektolitrová váha“[38]**

#### **3.5.1 Princip**

Hektolitrová váha obilnin se získává z hmotnosti přesně definovaného objemu obilniny. Hektolitrová váha může být ovlivněna prostory mezi zrny, které závisí na velikosti a tvaru zrn, a hustotou zrn.

#### **3.5.2 Přístroje**

1) Ruční obilní zkoušeč o objemu 1/4 l, skládající se z násypky, plniče, odměrné nádoby, nože a běhounu.

2) Analytické váhy s přesností 0,1 g.

#### **3.5.3 Postup**

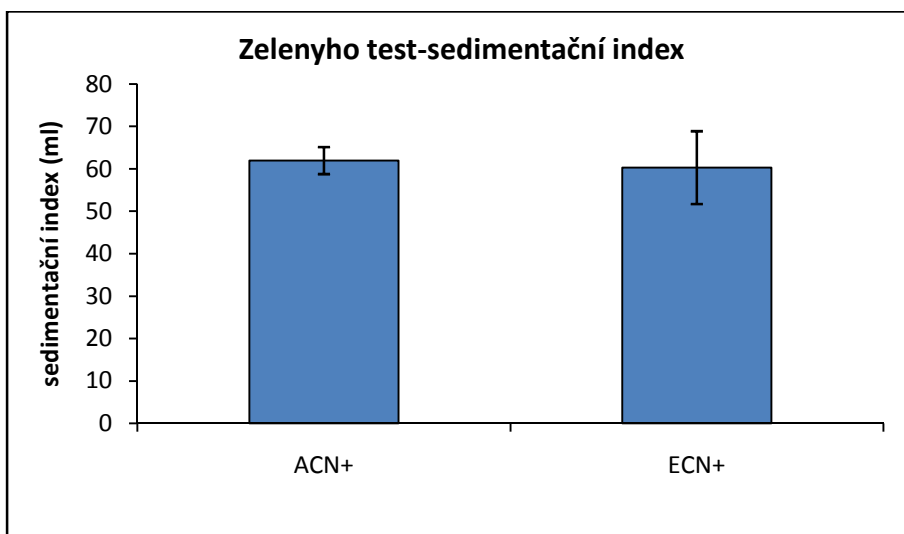
Násypka byla naplněna vzorkem po značku a poté byl pomocí násypky plnič naplněn vzorkem 30 mm až 40 mm pod horní okraj tak, aby zrno proudilo z násypky rovnoměrně do středu plniče po dobu 11 s až 13 s. Po naplnění plniče byl nůž rychle vytáhnout, aniž by bylo otřeseno aparaturou.

Jakmile běhoun a zrno spadli do odměrné nádoby, nůž byl jedním tahem protlačen skrz zrno a umístěn zpět do štěrbin. Pokud některá částce uvízla mezi okrajem štěrbin a nožem, plnění bylo zopakováno. Bylo odstraněno nadbytečné zrno nacházející se na ostří a poté byl odstraněn i plnič a ostří. Během procesu plnění bylo dbáno na to, aby nedošlo k otřesům aparatury. Pokud by byla aparatura otřesena, byla by získána falešně vysoká hodnota objemové hmotnosti. Jakmile byla odměrná nádoba naplněna a byl izolován měřený objem, toto opatření již nebylo nutné. Pomocí vah byl zvážen obsah odměrné nádoby s přesností na 0,1 g.

#### **3.5.4 Vypočet a vyjádření výsledků**

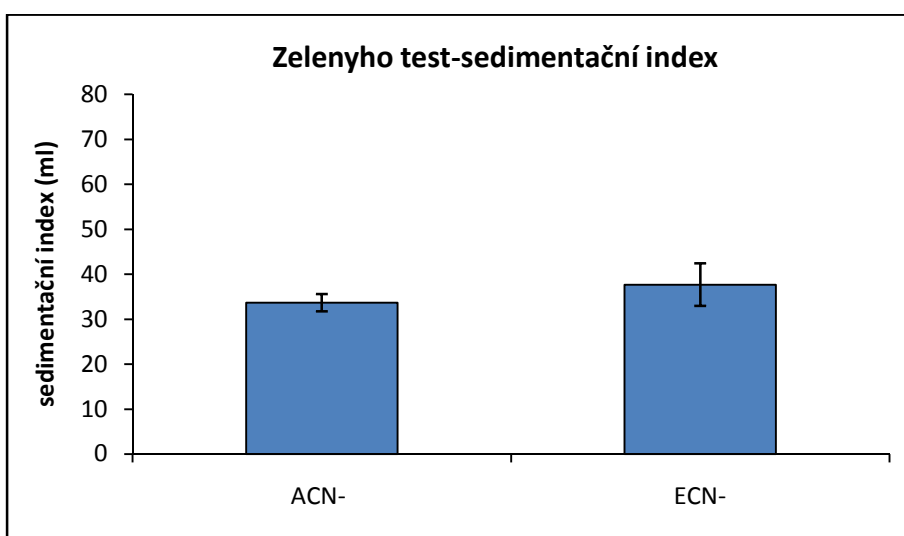
Objemovou hmotnost vyjádříme v kilogramech na hektolitr.

## 4 VÝSLEDKY



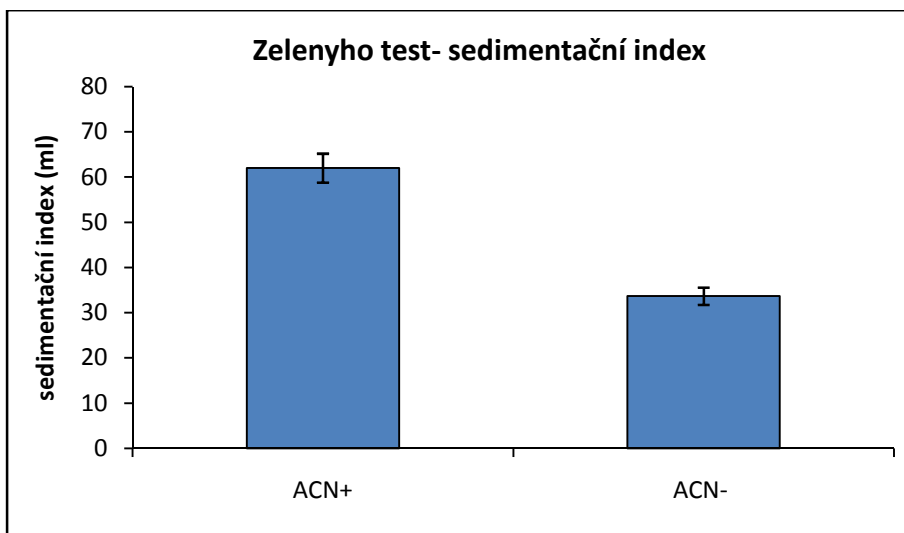
Obr. 1 Vliv zvýšené koncentrace  $CO_2$  na sedimentační index lepku u variant hnojených dusíkem. AC normální koncentrace  $CO_2$ , EC zvýšená koncentrace  $CO_2$ .

Zvýšená koncentrace oxidu uhličitého neměla významný vliv na kvalitu lepku. Hodnota sedimentačního indexu u varianty ECN+ byla jenom o 3 % nižší u varianty ACN+.



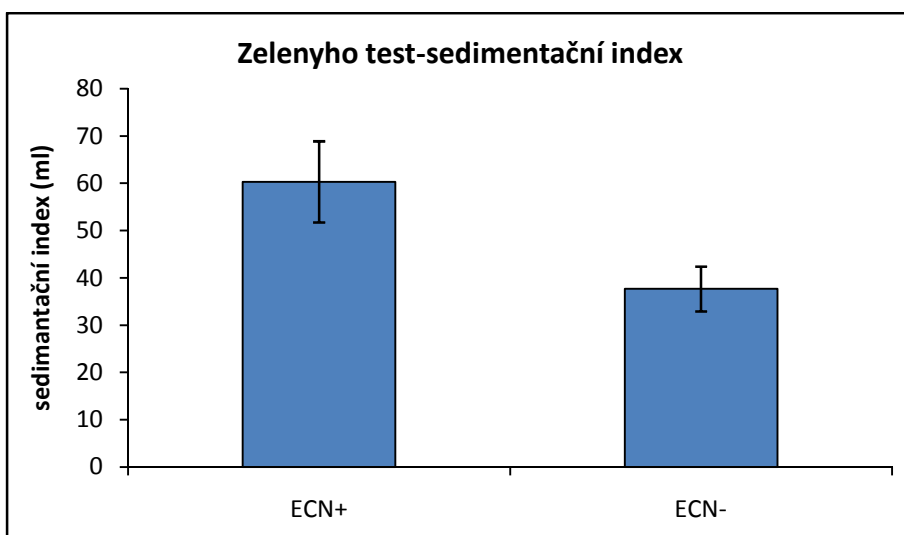
Obr. 2 Vliv zvýšené koncentrace  $CO_2$  na sedimentační index lepku u variant nehnojených dusíkem. AC normální koncentrace  $CO_2$ , EC zvýšená koncentrace  $CO_2$ .

Stejně tak jako u varianty ECN+ neměla ani u varianty ECN- zvýšená koncentrace oxidu uhličitého statisticky významný vliv na hodnotu sedimentačního indexu. Sedimentační index pro variantu ACN- byl o 11 % nižší než pro variantu ECN-.



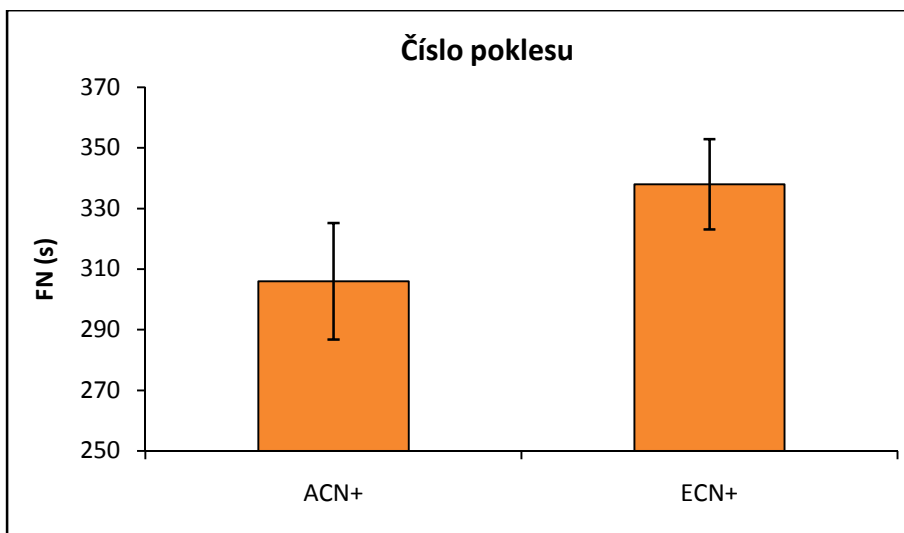
Obr. 3 Vliv dusíkatého hnojení na sedimentační index lepku u variant pěstovaných při normální (AC) koncentraci  $CO_2$ . N+ varianta hnojená dusíkem, N- varianta nehnojená dusíkem.

Při normální koncentraci oxidu uhličitého byl mezi variantou hnojenou a nehnojenou dusíkem zaznamenán statisticky významný rozdíl v hodnotě sedimentačního indexu. Sedimentační index varianty ACN- byl o 46 % nižší než sedimentační index varianty ACN+.



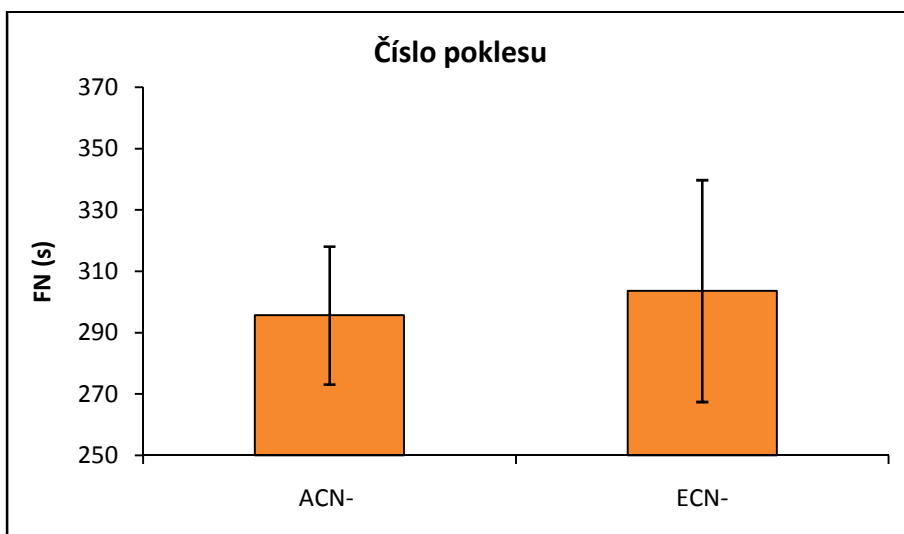
Obr. 4 Vliv dusíkatého hnojení na sedimentační index lepku u variant pěstovaných při zvýšené (EC) koncentraci  $CO_2$ . N+ varianta hnojená dusíkem, N- varianta nehnojená dusíkem.

U varianty nehnojené dusíkem byl při zvýšené koncentraci oxidu uhličitého zaznamenán statisticky významný pokles hodnoty sedimentačního indexu (o 38 %).



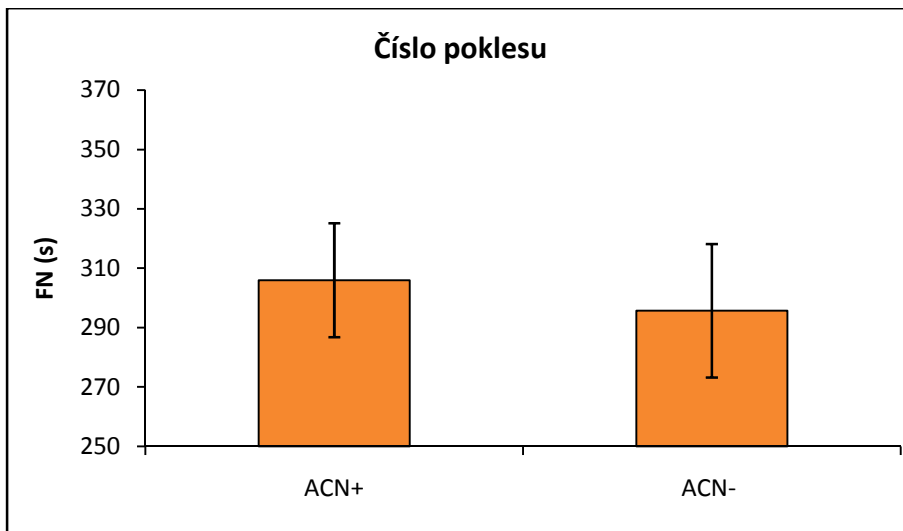
Obr. 5 Vliv zvýšené koncentrace  $CO_2$  na číslo poklesu u variant hnojených dusíkem. AC normální koncentrace  $CO_2$ , EC zvýšená koncentrace  $CO_2$ .

Hodnota čísla poklesu byla u varianty ACN+ o 9 % nižší než u varianty ECN+. Tento rozdíl nebyl statisticky významný.



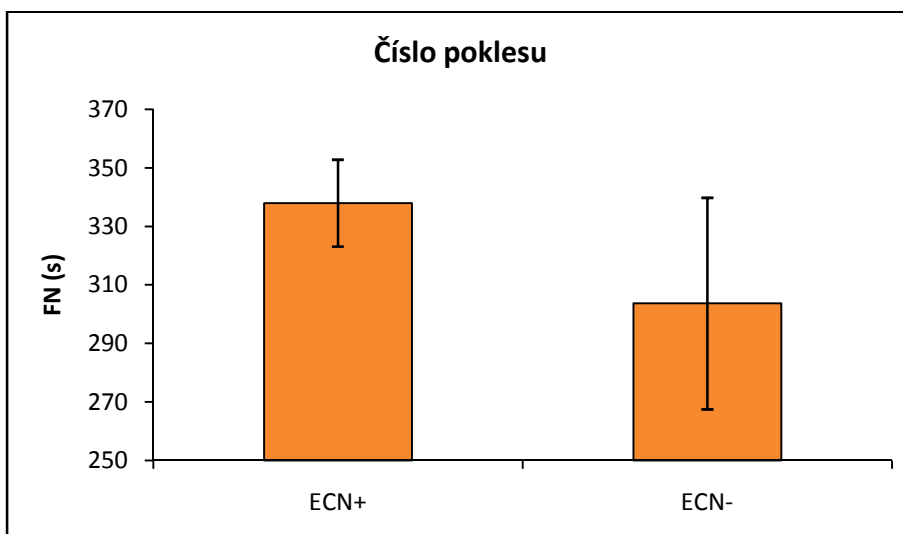
Obr. 6 Vliv zvýšené koncentrace  $CO_2$  na číslo poklesu u variant nehnojených dusíkem. AC normální koncentrace  $CO_2$ , EC zvýšená koncentrace  $CO_2$ .

Pro variantu nehnojenou dusíkem neměla zvýšená koncentrace oxidu uhličitého vliv na číslo poklesu. Číslo poklesu varianty ACN- bylo o pouhé 3 % nižší než ECN-.



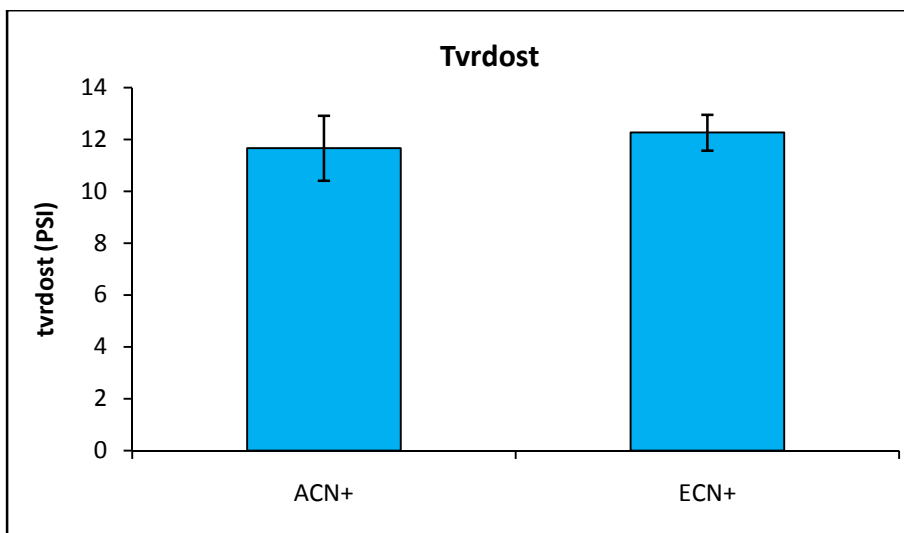
Obr. 7 Vliv dusíkatého hnojení na číslo poklesu u variant pěstovaných při normální (AC) koncentraci  $CO_2$ . N+ varianta hnojená dusíkem, N- varianta nehnojená dusíkem.

Číslo poklesu pro variantu ACN- bylo ve srovnání s variantou ACN+ nižší jen o 3 %, což není statisticky významný rozdíl.



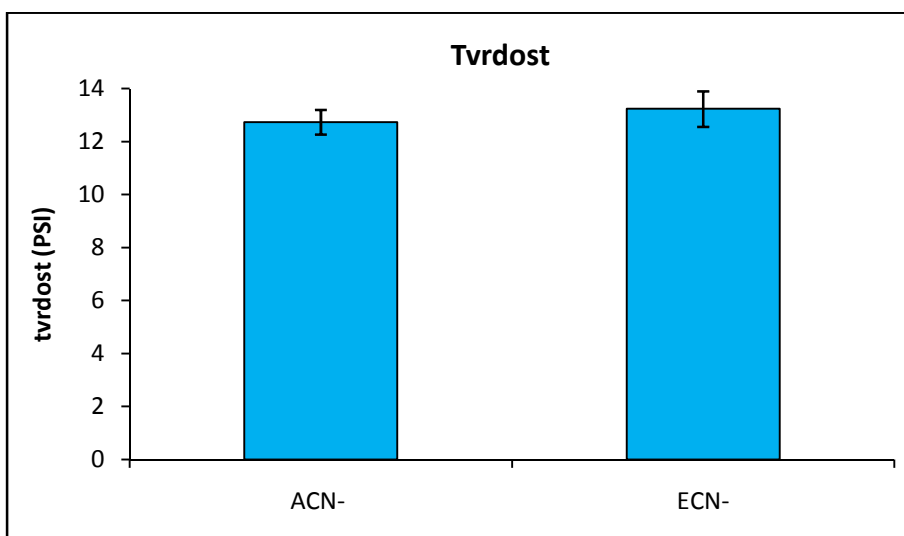
Obr. 8 Vliv dusíkatého hnojení na číslo poklesu u variant pěstovaných při zvýšené (EC) koncentraci  $CO_2$ . N+ varianta hnojená dusíkem, N- varianta nehnojená dusíkem

Dusíkaté hnojení výrazně neovlivnilo ani číslo poklesu vzorků pěstovaných za zvýšené koncentrace  $CO_2$ . Číslo poklesu u varianty ECN- bylo o 10 % nižší než u varianty ECN+, tento rozdíl však nebyl statisticky významný.



Obr. 9 Vliv zvýšené koncentrace  $CO_2$  na tvrđost zrna u variant hnojených dusíkem. AC normální koncentrace  $CO_2$ , EC zvýšená koncentrace  $CO_2$ .

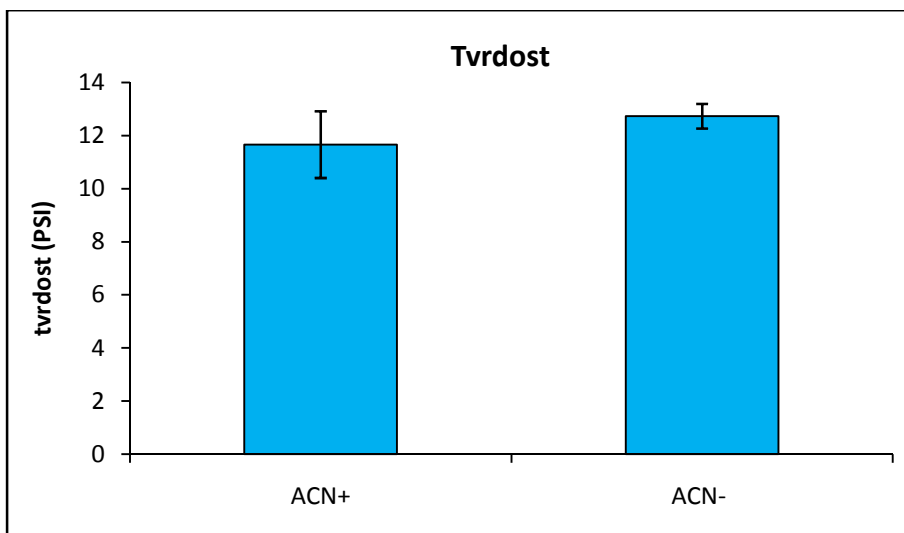
Tvrđost pšeničného zrna nebyla zvýšenou koncentrací  $CO_2$  významně ovlivněna. Varianta ACN+ a ECN+ se liší o pouhých 7 %.



Obr. 10 Vliv zvýšené koncentrace  $CO_2$  na tvrđost zrna u variant nehnojených dusíkem. AC normální koncentrace  $CO_2$ , EC zvýšená koncentrace  $CO_2$ .

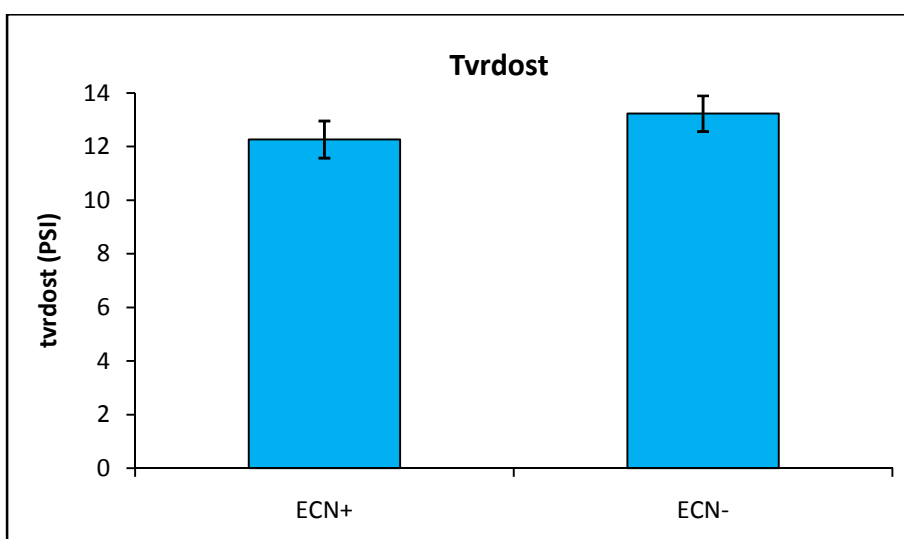
Taktěž u varianty nehnojené dusíkem nebyl zaznamenán statisticky významný rozdíl mezi vzorky pěstovanými za normální a za zvýšené koncentrace  $CO_2$ . Tvrđost u varianty ACN- byla jen o 4 % nižší než varianty ECN-.





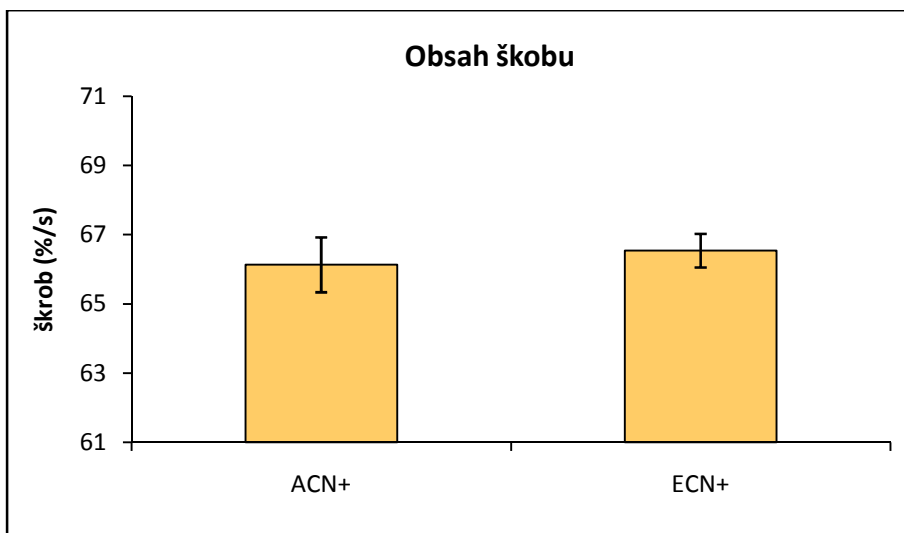
Obr. 11 Vliv dusíkatého hnojení na tvrđost zrna u variant pěstovaných při normální (AC) koncentraci CO<sub>2</sub>. N+ varianta hnojená dusíkem, N- varianta nehnojená dusíkem.

U vzorků pěstovaných za normální koncentrace CO<sub>2</sub> nebyl zaznamenán statisticky významný rozdíl mezi tvrđostí u varianty hnojené a nehnojené dusíkem. Tvrđost zrna byla u varianty hnojené dusíkem o 8 % nižší než u varianty dusíkem nehnojené.



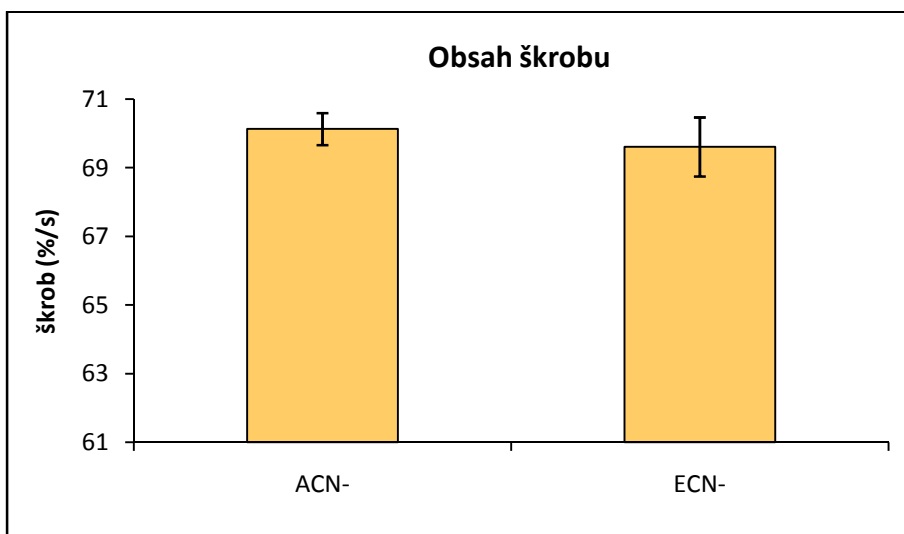
Obr. 12 Vliv dusíkatého hnojení na tvrđost zrna u variant pěstovaných při zvýšené (EC) koncentraci CO<sub>2</sub>. N+ varianta hnojená dusíkem, N- varianta nehnojená dusíkem

Ani u vzorků pěstovaných při zvýšené koncentraci CO<sub>2</sub> neovlivnilo dusíkaté hnojení významně tvrđost pšeničného zrna. Varianta ECN+ byla nižší než varianta ECN- o 7 %.



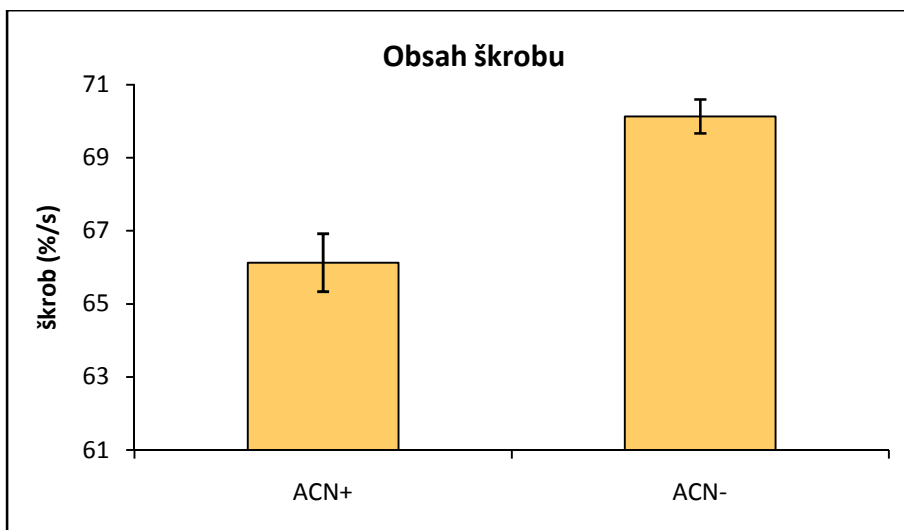
Obr. 13 Vliv zvýšené koncentrace  $CO_2$  na obsah škrobu u variant hnojených dusíkem. AC normální koncentrace  $CO_2$ , EC zvýšená koncentrace  $CO_2$ .

Obsah škrobu u varianty ACN+ byl o pouhé 1 % nižší než u varianty ECN+. Tento rozdíl nebyl statisticky významný.



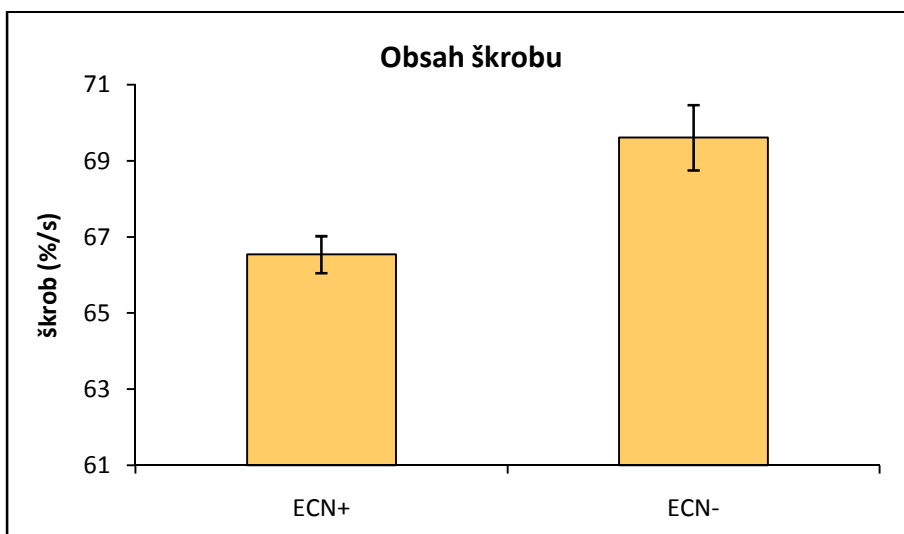
Obr. 14 Vliv zvýšené koncentrace  $CO_2$  na tvrdost zrna u variant nehnojených dusíkem. AC normální koncentrace  $CO_2$ , EC zvýšená koncentrace  $CO_2$ .

Ani u vzorků nehnojených dusíkem neměla zvýšená koncentrace oxidu uhličitého na obsah škrobu vliv. Varianta ECN- byla jenom o 1 % menší než varianta ACN-.



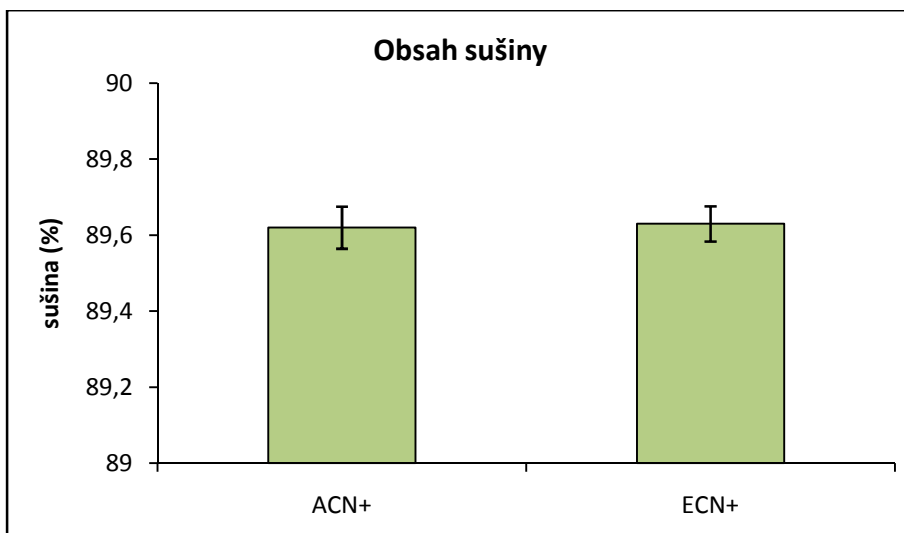
Obr. 15 Vliv dusíkatého hnojení na obsah škrobu u variant pěstovaných při normální (AC) koncentraci CO<sub>2</sub>. N+ varianta hnojená dusíkem, N- varianta nehnojená dusíkem.

Mezi variantou hnojenou a nehnojenou dusíkem byl zaznamenán statisticky významný rozdíl v obsahu škrobu. Varianta ACN+ obsahovala o 6 % méně škrobu než varianta ACN-.



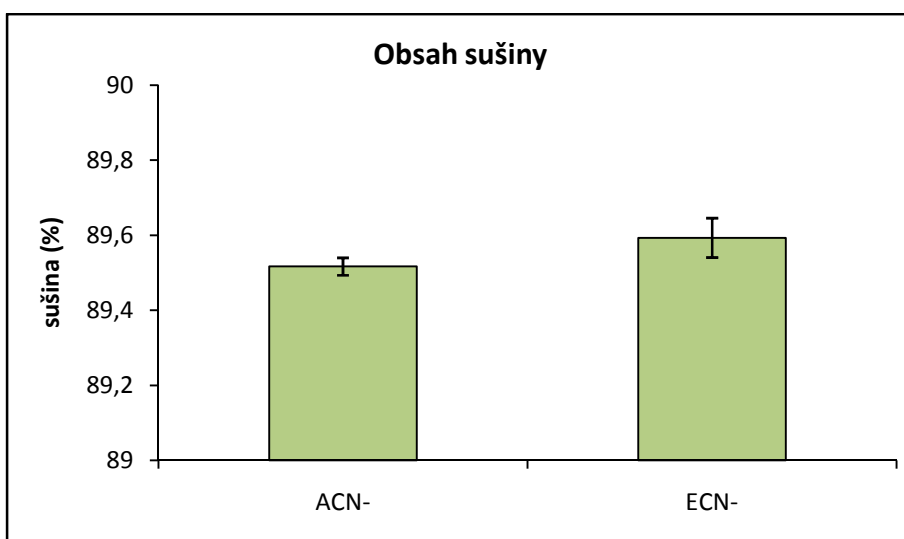
Obr. 16 Vliv dusíkatého hnojení na obsah škrobu u variant pěstovaných při zvýšené (EC) koncentraci CO<sub>2</sub>. N+ varianta hnojená dusíkem, N- varianta nehnojená dusíkem.

Také u vzorků pěstovaných za zvýšené koncentrace CO<sub>2</sub> mělo hnojení dusíkem vliv na obsah škrobu v pšeničném znu. Varianta ECN+ obsahovala méně škrobu než varianta ECN- (o 4 %).



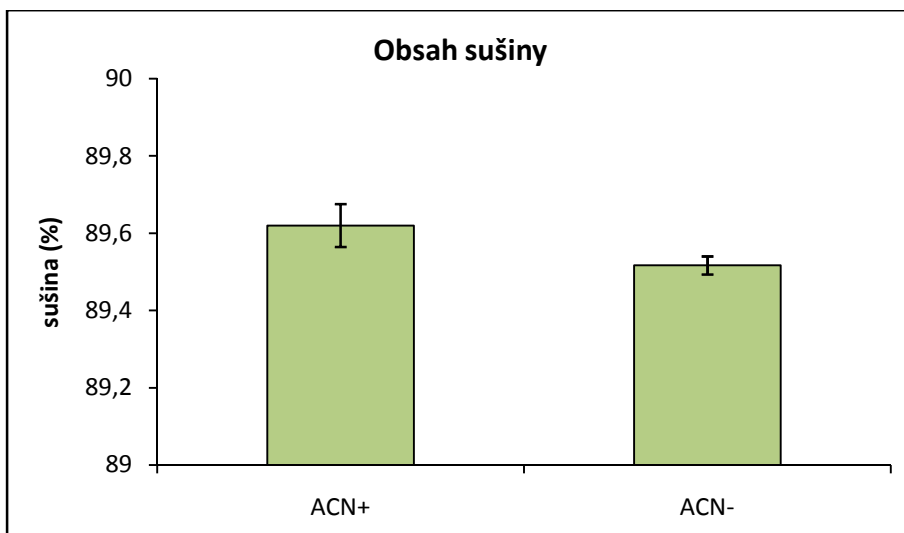
Obr. 17 Vliv zvýšené koncentrace  $CO_2$  na obsah sušiny u variant hnojených dusíkem. AC normální koncentrace  $CO_2$ , EC zvýšená koncentrace  $CO_2$ .

Zvýšená koncentrace oxidu uhličitého neovlivnila obsah sušiny v pšeničném zrně.



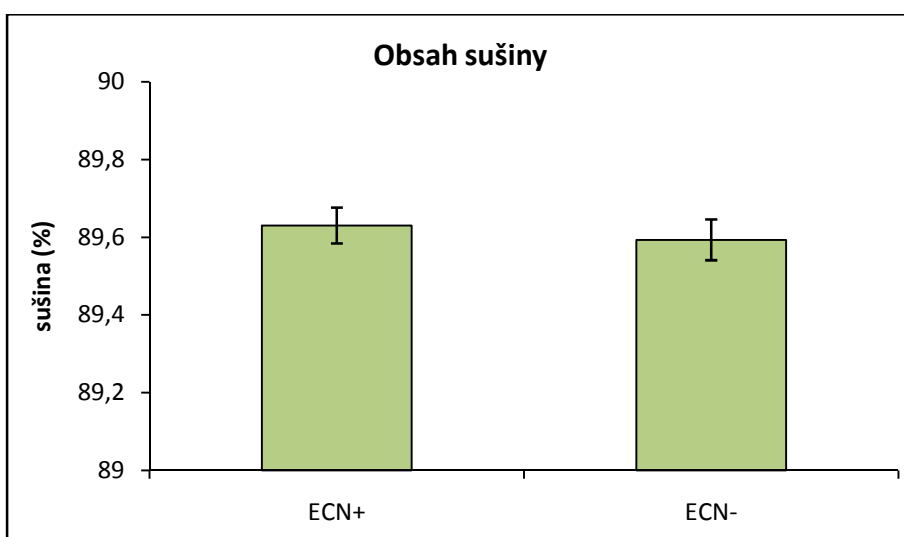
Obr. 18 Vliv zvýšené koncentrace  $CO_2$  na obsah sušiny u variant nehnojených dusíkem. AC normální koncentrace  $CO_2$ , EC zvýšená koncentrace  $CO_2$ .

Rozdíl mezi variantou ACN- a ECN- nebyl statisticky významný. Varianta ACN- byla nižší než ECN-, avšak rozdíl byl pouze 0,08 %.



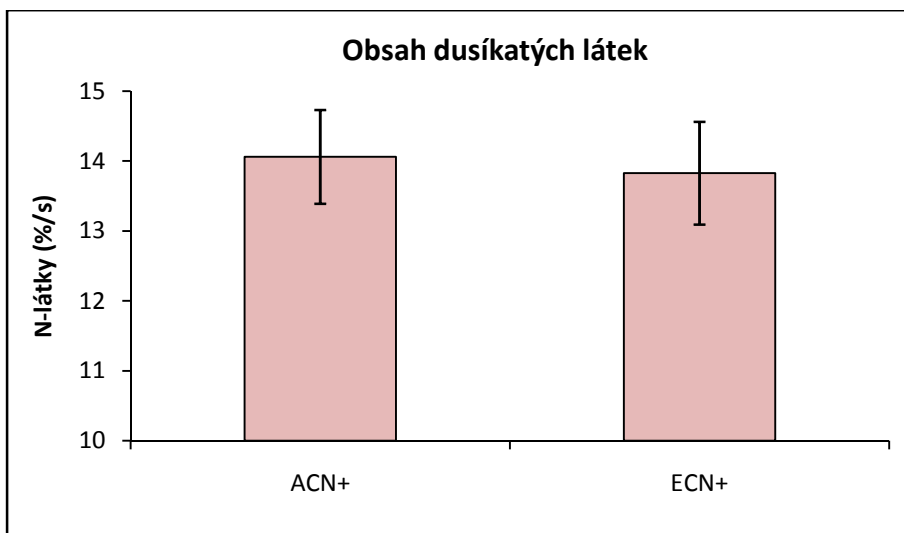
Obr. 19 Vliv dusíkatého hnojení na obsah sušiny u variant pěstovaných při normální (AC) koncentraci  $CO_2$ . N+ varianta hnojená dusíkem, N- varianta nehnojená dusíkem.

Dusíkaté hnojení ovlivnilo obsah sušiny vzorků pěstovaných při normální koncentraci  $CO_2$ . Varianta ACN+ obsahovala o 0,1 % méně sušiny než varianta ACN- a tento rozdíl byl statisticky významný.



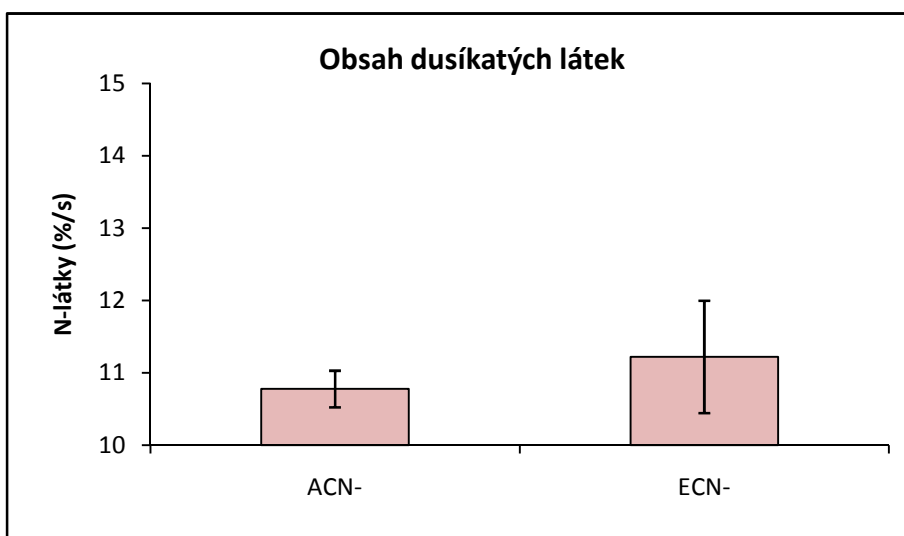
Obr. 20 Vliv dusíkatého hnojení na obsah sušiny u variant pěstovaných při zvýšené (EC) koncentraci  $CO_2$ . N+ varianta hnojená dusíkem, N- varianta nehnojená dusíkem.

U vzorků pěstovaných za zvýšené koncentrace  $CO_2$  nemělo dusíkaté hnojení na obsah sušiny vliv. Varianta ECN- obsahovala o 0,04 % sušiny méně než varianta ECN+.



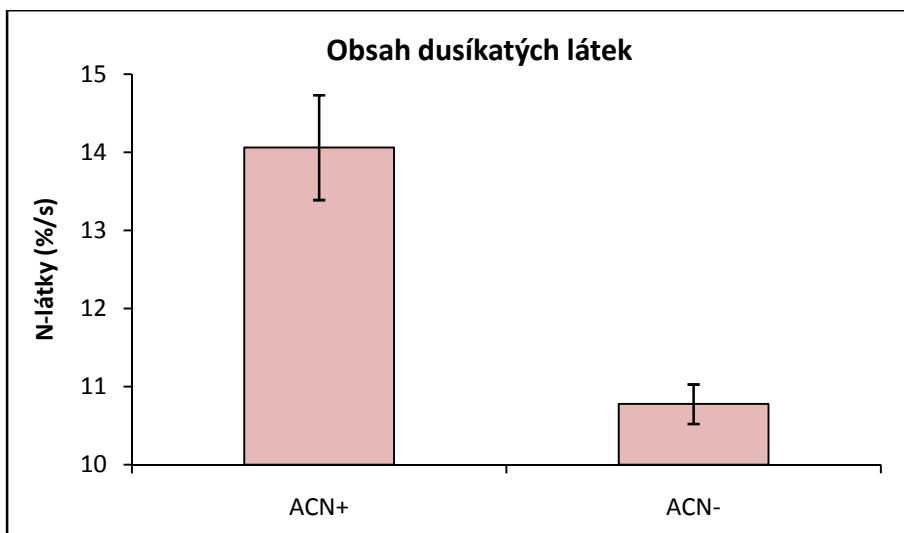
Obr. 21 Vliv zvýšené koncentrace  $CO_2$  na obsah dusíkatých látek u variant hnojených dusíkem. AC normální koncentrace  $CO_2$ , EC zvýšená koncentrace  $CO_2$ .

Vzorek pěstovaný za zvýšené koncentrace  $CO_2$  obsahoval o 2 % méně dusíkatých látek než vzorek pěstovaný za normální koncentrace  $CO_2$ . Tento rozdíl nebyl statisticky významný.



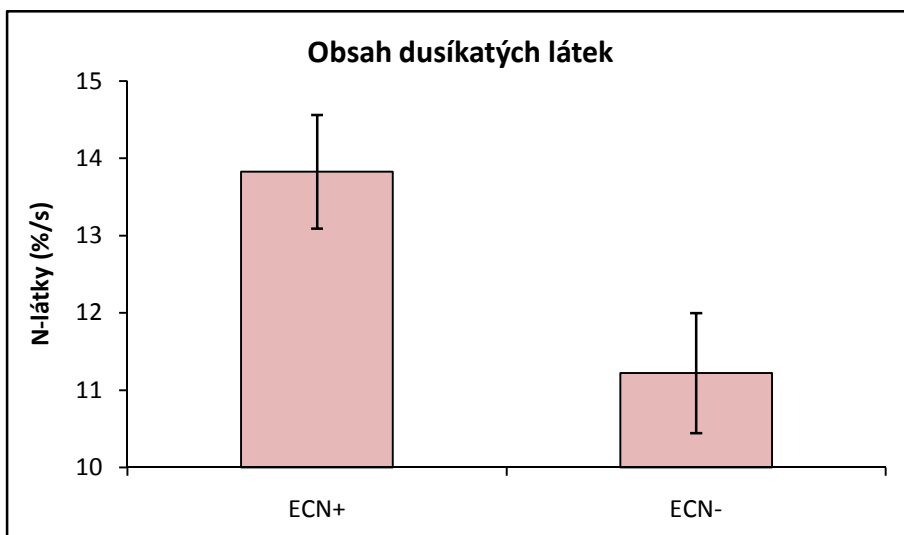
Obr. 22 Vliv zvýšené koncentrace  $CO_2$  na obsah dusíkatých látek u variant nehnojených dusíkem. AC normální koncentrace  $CO_2$ , EC zvýšená koncentrace  $CO_2$ .

Mezi variantou ACN- a ECN- nebyl zaznamenán statisticky významný rozdíl v obsahu dusíkatých látek. Vzorek pěstovaný za normální koncentrace  $CO_2$  obsahoval o 4 % méně dusíkatých látek než vzorek pěstovaný za zvýšené koncentrace  $CO_2$ .



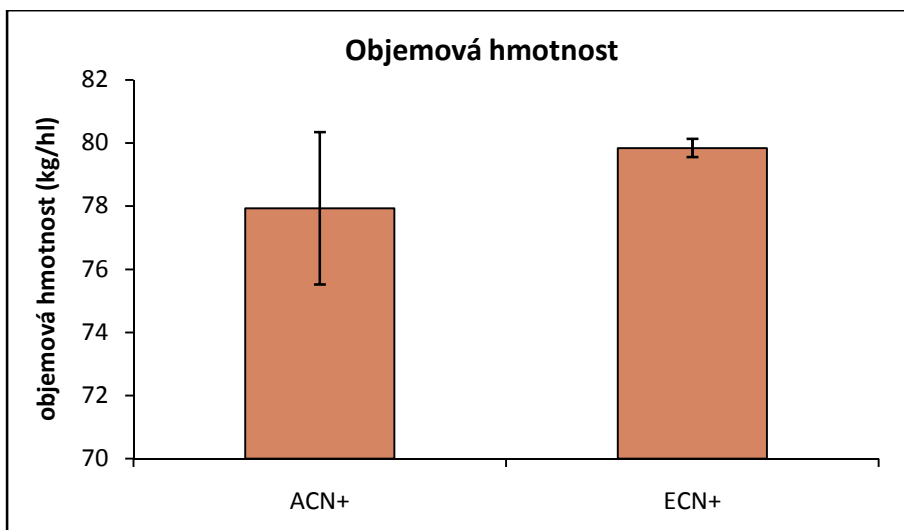
Obr. 23 Vliv dusíkatého hnojení na obsah dusíkatých látek u variant pěstovaných při normální (AC) koncentraci  $CO_2$ . N+ varianta hnojená dusíkem, N- varianta nehnojená dusíkem.

U varianty nehnojené dusíkem byl zjištěn statisticky významný pokles obsahu dusíkatých látek (o 23 %) oproti variantě hnojené dusíkem.



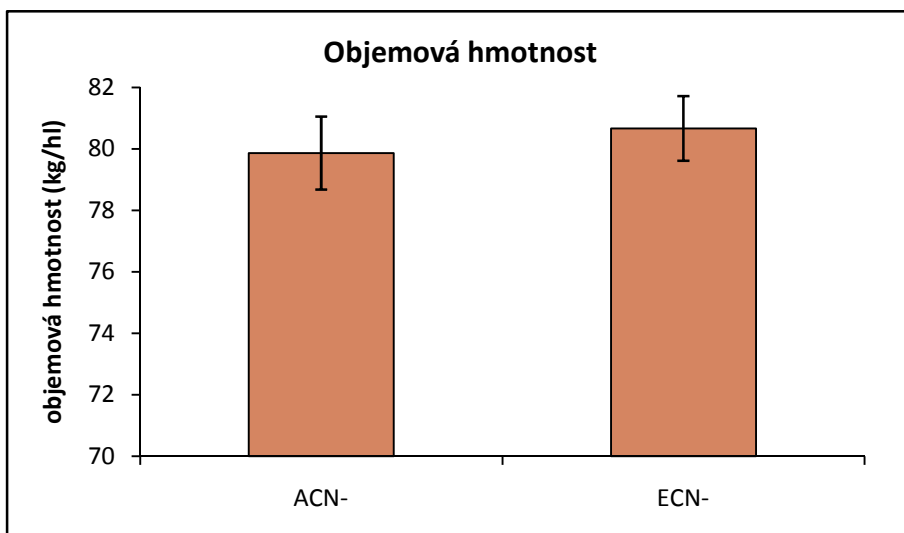
Obr. 24 Vliv dusíkatého hnojení na obsah dusíkatých látek u variant pěstovaných při zvýšené (EC) koncentraci  $CO_2$ . N+ varianta hnojená dusíkem, N- varianta nehnojená dusíkem.

Také u vzorků pěstovaných při zvýšené koncentraci  $CO_2$  byl zaznamenán statisticky významný rozdíl v obsahu dusíkatých látek mezi variantou hnojenou a nehnojenou dusíkem. Varianta ECN- byla o 19 % nižší než varianta ECN+.



Obr. 25 Vliv zvýšené koncentrace  $CO_2$  na objemovou hmotnost u variant hnojených dusíkem. AC normální koncentrace  $CO_2$ , EC zvýšená koncentrace  $CO_2$ .

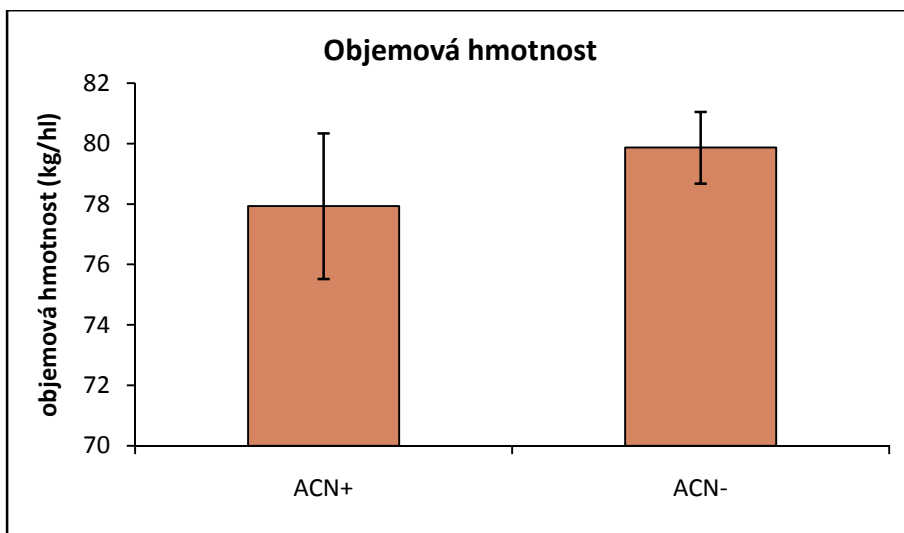
Objemová hmotnost vzorku pěstovaného za normální koncentrace  $CO_2$  byla o pouhých 2 % nižší než objemová hmotnost vzorku pěstovaného při zvýšené koncentraci  $CO_2$ . Tento rozdíl nebyl statisticky významný.



Obr. 26 Vliv zvýšené koncentrace  $CO_2$  na objemovou hmotnost u variant nehnojených dusíkem. AC normální koncentrace  $CO_2$ , EC zvýšená koncentrace  $CO_2$ .

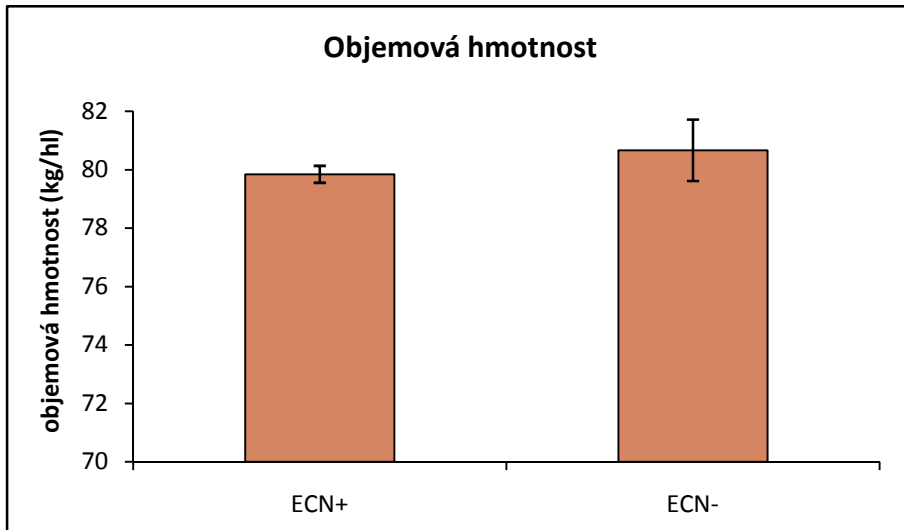
Objemová hmotnost varianty ACN- byla jen o 1 % nižší než objemová hmotnost varianty ECN-. Tento rozdíl nebyl statisticky významný, vzorky byly téměř totožné.





Obr. 27 Vliv dusíkatého hnojení na objemovou hmotnost u variant pěstovaných při normální (AC) koncentraci  $CO_2$ . N+ varianta hnojená dusíkem, N- varianta nehnojená dusíkem.

Dusíkaté hnojení nemělo vliv na objemovou hmotnost vzorků. Vzorek hnojený dusíkem byl nižší pouze o 2 % než vzorek nehnojený dusíkem.



Obr. 28 Vliv dusíkatého hnojení na objemovou hmotnost u variant pěstovaných při zvýšené (EC) koncentraci  $CO_2$ . N+ varianta hnojená dusíkem, N- varianta nehnojená dusíkem.

Ani při zvýšené koncentraci  $CO_2$  neovlivnilo dusíkaté hnojení objemovou hmotnost vzorků. Objemová hmotnost varianty ECN+ byla nižší o 1 % než objemová hmotnost varianty ECN-. Tento rozdíl nebyl statisticky významný.

## 5 DISKUSE

Sedimentační index je významným ukazatelem kvality lepku. Vysoká hodnota Zelenyho testu značí vysoký obsah nebo vysokou kvalitu lepku [39]. V naší práci jsme neprokázali významný vliv zvýšené koncentrace CO<sub>2</sub> na hodnotu sedimentačního indexu, avšak významný vliv na tento parametr mělo hnojení dusíkem. Zaznamenali jsme statisticky významný pokles sedimentačního indexu u variant nehnojených dusíkem (o 46 % u ACN– a o 38 % u ECN–). Pokles sedimentačního indexu u jarní pšenice kultivaru Minaret v souvislosti s nízkými dávkami dusíkaté výživy zaznamenali také Fangmeier a kol. [40]. V rozporu s našimi výsledky jsou například Pikki a kol. [41], kteří zaznamenali pokles Zelenyho sedimentačního indexu v souvislosti se zvýšenou koncentrací CO<sub>2</sub>.

Neprokázali jsme statisticky významný vliv zvýšené koncentrace CO<sub>2</sub> na obsah škrobu v pšeničném zrně, avšak zaznamenali jsme nárůst obsahu škrobu u variant nehnojených dusíkem. Varianta ACN+ obsahovala o 6 % méně škrobu než varianta ACN– a varianta ECN+ obsahovala o 4 % méně škrobu než varianta ECN–. Ke stejným výsledkům jako my dospěli i Erbs a kol. [35], kteří u zimní pšenice kultivaru Batis nezaznamenali statisticky významný nárůst obsahu škrobu v pšeničném zrně v důsledku zvýšené koncentrace CO<sub>2</sub> a stejně jako my udávají zvýšení obsahu škrobu v zrně při snížených dávkách dusíkaté výživy (o 3 až 4 %). Högy a kol. [23] také uvádějí, že zvýšená koncentrace CO<sub>2</sub> neovlivnila obsah škrobu.

Zvýšená koncentrace CO<sub>2</sub> neměla významný vliv ani na obsah dusíkatých látek vyjádřený jako hrubá bílkovina. Naopak významný vliv mělo dusíkaté hnojení. U nehnojené varianty jsme zaznamenali statisticky významný pokles hrubé bílkoviny v zrně jak při normální, tak i při zvýšené koncentraci CO<sub>2</sub> (o 23 % pro ACN– a o 19 % pro ECN–). Erbs a kol. [35] prokázali, že zvýšená koncentrace CO<sub>2</sub> i omezená dusíkatá výživa způsobují značný pokles v obsahu bílkovin v pšeničném zrně u zimní pšenice kultivaru Batis. Pokles obsahu hrubé bílkoviny v pšeničném zrně při zvýšené koncentraci CO<sub>2</sub> byl zaznamenán ještě několika dalšími autory [33, 40, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48] jak při pokusech ve sklenících a komorách tak i s použitím systému FACE.

Číslo poklesu je měřítkem aktivity  $\alpha$ -amylázy. Čím nižší je číslo poklesu (vyšší aktivita  $\alpha$ -amylázy), tím více škrobu bylo přeměněno na fermentovatelné sacharidy, které mohou kvasinky využít na oxid uhličitý, díky němuž těsto nabývá při kynutí na objemu [40]. V naší práci jsme nezjistili žádný významný vliv zvýšené koncentrace CO<sub>2</sub> ani dusíkatého hnojení na číslo poklesu.

Předpokládá se, že zvýšená koncentrace CO<sub>2</sub> bude zvyšovat výnosy pšenice. Například Högy a kol. [23] pozorovali u jarní pšenice kultivaru Triso nárůst nadzemní biomasy za zvýšené koncentrace CO<sub>2</sub> a vyšší výnos zrn, způsobený větším počtem zrn na jednotku plochy. Naproti tomu Fangmeier a kol. [40] dospěli k závěru, že hmotnost tisíce zrn nebyla statisticky významně ovlivněna zvýšenou koncentrací CO<sub>2</sub> a zvýšený výnos přisoudili spíše většímu počtu klasů na jednotku plochy než vyšší hmotnosti zrn. Kimball a kol. [48] zjistili při pokusech s pšenicí jarní kultivaru Yecora Rojo pokles výnosů u rostlin nehnojených

dusíkem. V našem experimentu nebyla objemová hmotnost zvýšenou koncentrací CO<sub>2</sub> ani rozdílnou dusíkatou výživou významně ovlivněna.

U hnojené varianty jsme pozorovali statisticky nevýznamný pokles v tvrdosti zrna oproti variantě nehnojené (ACN+ o 8 %, ECN+ o 7 %) a rovněž zvýšená koncentrace CO<sub>2</sub> významně neovlivnila tvrdost pšeničného zrna. S našimi výsledky se shodují i Kimball a kol. [48], kteří zjistili vyšší tvrdost zrna u nehnojené varianty, ale rozdíl mezi hnojenou a nehnojenou variantou nebyl statisticky významný.

## 6 ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo zjistit, jaký vliv má zvýšená koncentrace oxidu uhličitého v kombinaci s různou dusíkatou výživou na kvalitu pšeničného zrna.

Ozimá pšenice odrůdy Bohemia byla kultivována na Experimentální stanici Centra výzkumu globální změny AV ČR v.v.i. v Domanínku u Bystřice nad Pernštejnem v Českomoravské vrchovině (49°521'N, 16°235'E, nadmořská výška 575 m). Experiment probíhal ve 24 komorách umožňujících automatickou fumigaci zvýšenou koncentrací CO<sub>2</sub>, manipulaci srážek a vyloučení UV radiace u poloviny komor. Vzorky byly vysety 10. října 2012 v hustotě 4 MKS na ha. V polovině května byla zahájena fumigace zvýšenou koncentrací CO<sub>2</sub> v koncentraci 700 μmol.mol<sup>-1</sup>. Parcelky uvnitř komor byly rozděleny na dvě části, jedna byla hnojena dávkou dusíku 200 kg N ha<sup>-1</sup> a druhá hnojena nebyla. Sklizeň probíhala ručně.

Pro všechny vzorky byl stanoven sedimentační index Zelenyho testem, číslo poklesu podle Hagberga-Pertena a objemová hmotnost rutinní metodou. Metodou NIR spektrometrie byla stanovena tvrdost zrna a dále také obsah škrobu, sušiny a dusíkatých látek. Obsah dusíkatých látek byl vyjádřen jako hrubá bílkovina.

Zvýšená koncentrace CO<sub>2</sub> neovlivnila významně žádný z parametrů určujících kvalitu pšeničného zrna. Významný vliv na kvalitu pšeničného zrna však mělo dusíkaté hnojení. U nehnojených vzorků došlo k významnému poklesu sedimentačního indexu a koncentrace hrubé bílkoviny a k nárůstu obsahu škrobu v pšeničném zrně. Ostatní parametry kvality pšeničného zrna zůstaly neovlivněny.

Na základě našich měření můžeme tedy usoudit, že ozimá pšenice odrůdy Bohemia měla stejnou potravinářskou kvalitu i při zvýšené koncentraci CO<sub>2</sub> a vliv na kvalitu zrna měla pouze dusíkatá výživa. Při nedostatku dusíku v půdě došlo k významnému poklesu kvality pšeničného zrna, což se projevilo poklesem hodnoty Zelenyho testu, tedy poklesem kvality lepku, a vzrůstem obsahu škrobu. Protože tyto dvě kritéria patří mezi hlavní ukazatele kvality kynutých výrobků lze předpokládat, že mouka vyrobená z nehnojené pšenice nebude dosahovat požadované pekařské kvality, nezávisle na tom, zda byla pšenice pěstována za normální či zvýšené koncentrace CO<sub>2</sub>.

## 7 LITERATURA

[1] KRAUCHI, N. Potential Impacts of a Climate Change on Forest Ecosystems. *European Journal of Forest Pathology*. 1993, roč. 23, s. 28-50.

[2] JOOS, F. a SPAHNI, R.. Rates of change in natural and anthropogenic radiative forcing over the past 20 000 years. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 2008, roč. 105, s. 1425-1430.

[3] MAREK, Michal V. et al. *Uhlík v ekosystémech České republiky v měnícím se klimatu*. 1. vyd. Praha: Academia, 2011. ISBN 978-80-904351-1-7.

[4] FORSTER, P. V. et al Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K. B., Tignor, M., Miller, H. L. (Eds)]. Cambridge university Press, Cambridge, United Kingdom a New York, NY, USA, p 207.

[5] SMITH, T. M., CRAMER, W. P., DIXON, R. K., LEEMANS, R., NEILSON, R. P a SOLOMON, A. M. The global terrestrial carbon-cycle. *Water Air and Soil Pollution*. 1993, roč. 70, s. 19-37.

[6] ETHERIDGE, D. M., STEELE, L. P, LANGENFELDS, R. L., FRANCEY, R. J., BARNOLA, J.-M. a MORGAN, V. I. Natural and anthropogenic changes in atmospheric CO<sub>2</sub> over the last 1000 years from air in Antarctic ice and firn. *Journal of Geophysical Research*. 1996, roč. 101, s. 4115-4128.

[7] WAHLEN, M., ALLEN, D. a DECK, B. Initial measurements of CO<sub>2</sub> concentrations (1530 to 1940 AD) in air occluded in the GISP 2 ice core from central Greenland. *Geophysical Research Letters*. 1991, roč. 18, s. 1457-1460.

[8] CANADELL, J. G., LEQUERE, C., et al. Contributions to accelerating atmospheric CO<sub>2</sub> growth from economic activity, carbon intensity, and efficiency of natural sinks. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 2007, roč. 104, s. 18866-18870.

[9] Trends in Atmospheric Carbon Dioxide. *National Oceanic and Atmospheric Administration* [online]. 2007 [cit. 2014-04-08]. Dostupné z: <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/>

[10] HÖNISCH, B., HEMMING, N. G., ARCHER, D., SIDDALL, M. a MCMANUS, J. F. Atmospheric carbon dioxide concentration across the Mid-pleistocene transition. *Science*. 2009, roč. 324, s. 1551-1554.

[11] NÁTR, Lubomír. *Koncentrace CO<sub>2</sub> a rostliny*. 1. vyd. Praha: ISV, 2000. ISBN 80-85866-62-5.

[12] BAZZAZ, F. A.: Elevated CO<sub>2</sub> and plant productivity in the 21 st century: Can we feed billions and preserve biological diversity? V: G. Garab (ed.): *Photosynthesis: Mechanism and Effects*. Kluwer Academic Publ., The Netherlands. Vol. V: 39233940, 1998.

[13] KEELING, C. D., CHIN, J. F. S. a WHORF, T. P. Increased activity of northern vegetation inferred from atmospheric CO<sub>2</sub> measurements. *Nature*. 1996, roč. 382, s. 146-149

[14] ŠPUNDA, V., KALINA, J., URBAN, O., LUIS, V., SIBISSE, I., PUÉRTOLAS, J., ŠPRTOVÁ, M. a MAREK, M. V. Diurnal dynamics of photosynthetic parameters of Norway spruce trees cultivated under ambient and elevated CO<sub>2</sub>: the reasons of midday depression in CO<sub>2</sub> assimilation. *Plant Science*. 2005, roč. 168, s. 1371-1381.

[15] URBAN, O. Psysiological impacts of elevated CO<sub>2</sub> concentration ranging from molecular to whole plant responses. *Photosynthetica*. 2003, roč. 41, s. 9-20.

[16] AINSWORTH, E. A. a ROGERS, A. The response of photosynthesis and stomatal conductance to rising [CO<sub>2</sub>]: mechanisms and enviromental interactions. *Plant, Cell and Enviroment*. 2007, roč. 30, s. 258-270.

[17] LUO, Y., REYNOLDS, J., WANG, Y. a WOLFE, D. A search for predictive understanding of plant responses to elevated [CO<sub>2</sub>]. *Global Change Biology*. roč. 5, s. 143-156.

[18] GONZALEZ-MELER, M. A. a SIEDOW, J. N. Direct inhibition of mitochondrial respiratory enzymes by elevated CO<sub>2</sub>: does it matter at the tissue of whole plant level? *Tree Physiology*. 1999, roč. 19, s. 253-259.

[19] DRAKE, B. G., GONZALES-MELER, M. A. a LONG, S. P. More efficient plants: A consequence of rising atmospheric CO<sub>2</sub>?. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*. 1997, roč. 48, s. 609-639.

[20] PEÑUELAS, J. a MATAMALA, R. Changes in N and S leaf content, stomatal density and specific leaf area of 14 plant species during the last three centuries of CO<sub>2</sub> increase. *Journal of Experimental Botany*. 1990, roč. 41, s. 1119-1124.

[21] FAOSTAT [online]. 2011 [cit. 2014-04-11].

[22] KIMBALL, B. A., PINTER, P., GARCIA, R. L., LAMORTE, R. L., WALL, G. W., HUNSAKER, D. J., WECHSUNG, G., WECHSUNG, F. a KARTSCHALL, T. Productivity and water use of wheat under free-air CO<sub>2</sub> enrichment. *Global Change Biology*. 1995, roč. 1, s. 429-442.

[23] HÖGY, P., WIESER, H., KÖHLER, P., SCHWADORF, K., BREUER, J. FRANZARING, J., MUNTIFERING, R. a FANGMEIER, A. Effects of elevated CO<sub>2</sub> on grain yield and quality of wheat: results from a three-year FACE experiment. *Plant Biology*. 2009, roč. 11, s. 60-69.

[24] KIMBALL, B. A., KOBAYASHI, K. a BINDI, M. Responses of agricultural crops to free-air CO<sub>2</sub> enrichment. *Advances in Agronomy*. 2002, roč. 77, s. 293-368.

[25] AINSWORTH, E. A. a LONG, S. P. What have we learned from 15 years of free-air CO<sub>2</sub> enrichment (FACE)? A meta-analytic review of the responses of photosynthesis canopy properties and plant production to rising CO<sub>2</sub>. *New Phytologist*. 2004, roč. 165, s. 351-372.

[26] WIESER, H., MANDERSCHIED, R., ERBS, M. a WEIGEL, H. J. Effects of elevated atmospheric CO<sub>2</sub> concentrations on the quantitative protein composition of wheat grains. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2008, roč. 56, s. 6531-6535.

[27] HÖGY, P., KECK, M., NIEHAUS, K., FRANZARING, J. a FANGMEIER, A. Effects of atmospheric CO<sub>2</sub> enrichment on biomass, yield and low molecular weight metabolites in wheat grain. *Journal of Cereal Science*. 2010, roč. 52, s. 215-220.

[28] SINCLAIR, T. R. Historical changes in harvest index and crop nitrogen accumulation. *Crop Science*. 1998, roč. 38, s. 638-643.

[29] BARNEIX, A. J. Physiology and biochemistry of source-regulated protein accumulation in the wheat grain. *Journal of Plant Physiology*. 2007, roč. 164, s. 581-590.

[30] CONTRUFO, M. F., INESON, P. a SCOTT, A. Elevated CO<sub>2</sub> reduces the nitrogen concentration of plant tissues. *Global Change Biology*. 1998, roč. 4, s. 43-54.

[31] JABLONSKI, L. M., WANG, X. a CURTIS, P. S. Plant reproduction under elevated CO<sub>2</sub> conditions: a meta-analysis of reports on 79 crop and wild species. *New Phytologist*. 2002, roč. 156, s. 9-26.

[32] LOLADZE, I. Rising atmospheric CO<sub>2</sub> and human nutrition: toward globally imbalanced plant stoichiometry?. *Trends in Ecology & Evolution*. 2002, roč. 17, s. 457-461.

[33] HÖGY, P., WIESER, H., KÖHLER, P., SCHWADORF, K., BREUER, J., ERBS, M., WEBER, S. a FANGMEIER, A. Does elevated atmospheric CO<sub>2</sub> allow for sufficient wheat grain quality in the future?. *Journal of Applied Botany and Food Quality*. 2009, roč. 82, s. 114-121.

[34] STONE, P. J. a SAVIN, R.. Grain quality and its physiological determinants. In: Satorre, E. H., Slafer, G. A. (Eds.). *Wheat: Ecology and Physiology of yield determination*. Food Products Press, New York, pp. 85-210, 1999.

[35] ERBS, M., MANDERSCHIED, R., JANSEN, G., SEDDING, S., PACHOLSKI, A. a WEIGEL, H.-J. Effects of free-air CO<sub>2</sub> enrichment and nitrogen supply on grain quality parameters and elemental composition of wheat and barley grown in a crop rotation. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 2010, roč. 136, s. 59-68.

[36] KABÁTOVÁ, Naděžda, Radvana ŠULOVÁ a Pavel RYŠAVÝ. *Jednotné pracovní postupy - Testování odrůd*. Brno: Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský, Národní referenční laboratoř, 2012, 1 CD-ROM. ISBN 978-80-7401-063-7.

[37] *Úprava vzorků krmiv a rostlinného materiálu*. 1. souhrnné vyd. Brno: Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský, 2008, 118 s. *Jednotné pracovní postupy*. ISBN 978-80-7401-005-7.

[38] ČSN EN ISO 7971-3. *Obiloviny - Stanovení objemové hmotnosti zvané "hektolitrová váha" - Část 3: Rutinní metoda*. Brno: Ing. Jiří Hrazdil, 2009. 12 s.

[39] CZUCHAJOWSKA, Z. a POMERANZ, Y. Quest for a universal test of commercial gluten quality for breadmaking. *Cereals Food World*. 1990, roč. 35, s. 458-469.

[40] FANGMEIER, A., DE TEMMERMAN, L., MORTENSEN, L., KEMP, K., BURKE, J., MITCHELL, R., VAN OIJEN, M. a WEIGEL, H.-J. Effects on nutrients and on grain quality in spring wheat crops grown under elevated CO<sub>2</sub> concentrations and stress conditions in the European, multiple-site experiment 'ESPACE-wheat'. *European Journal of Agronomy*. 1999, roč. 10, s. 215-229.

[41] PIIKKI, K., DE TEMMERMAN, L., OJANPERÄ, K., DANIELSSON, H. a PLEIJEL, H. The grain quality of spring wheat (*Triticum aestivum* L.) in relation to elevated ozone uptake and carbon dioxide exposure. *European Journal of Agronomy*. 2008, roč. 28, č. 3, s. 245-254.

[42] BLUMENTHAL, C., RAWSON, H. M., MCKENZIE, E., GRAS, P. W., BARLOW, E. W. R. a WRIGLEY, C. W. Changes in wheat grain quality due to doubling the level of atmospheric CO<sub>2</sub>. *Cereal Chemistry*. 1996, roč. 73, s. 762-766.

[43] FANGMEIER, A., GRÜTERS, U., HÖGY, P., VERMEHREN, B. a JÄGER, H.-J. Effects of elevated CO<sub>2</sub>, nitrogen supply and tropospheric ozone on spring wheat-II. Nutrients (N, P, K, S, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn). *Environmental Pollution*. 1997, roč. 96, s. 43-59.

[44] PLEIJEL, H., MORTENSEN, L., FUHRER, J., OJANPERÄ K. a DANIELSON, H. Grain protein accumulation in relation to grain yield of spring wheat (*Triticum aestivum* L.) grown in open-top chambers with different concentrations of ozone, carbon dioxide and water availability. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 1999, roč. 72, s. 265-270.

[45] BENCZE, S., VEISZ, O. a BEDO, Z. Effects of high atmospheric CO<sub>2</sub> and heat stress on phytomass, yield and grain quality of winter wheat. *Cereal Research Communications*. 2004, roč. 32, s. 75-82.

[46] WU, D. X., WANG, G. X., BAI, Y. F. a LIAO, J. X. Effects of elevated CO<sub>2</sub> concentration on growth, water use, yield and grain quality of wheat under two soil water levels. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 2004, roč. 104, s. 493-507.

[47] ZISKA, L. H., MORRIS, C. F. a GOINS, E. W. Quantitative and qualitative evaluation of selected wheat varieties released since 1903 to increasing atmospheric carbon dioxide: can yield sensitivity to carbon dioxide be a factor in wheat performance? *Global Change Biology*. 2004, roč. 10, s. 1810-1819.

[48] KIMBALL, B. A., MORRIS, C. E., PINTER, P. J., WALL, G. W., HUNSACKER, D. J., ADAMSEN, F. J., LAMORTE, R. L., LEAVITT, S. W., THOMPSON, T. L., MATTHIAS, A. D. a BROOKS, T. J. Elevated CO<sub>2</sub>, drought and soil nitrogen effects on wheat grain quality. *New Phytologist*. 2001, roč. 150, s. 295-303.



## 8 SEZNAM ZKRATEK

AC	ambient concentration
ADP	adenosindifosfát
ATP	adenosintrifosfát
EC	elevated concentration
FACE	free air CO <sub>2</sub> enrichment
FN	falling number
LRM	laboratorní referenční metoda
MKS	miliony klíčivých semen
NADPH	nikotinadeninnukleotidfosfát
NIRs	near infrared spektroskopie
P <sub>i</sub>	anorganický fosfát
PLS	partial least squares
Rubisco	ribulosa-1,5-bisfosfátkarboxylasa/oxygenasa
RuBP	ribulosa-1,5-bisfosfát
SNV	standard normal variate
TPT	fosfát-triosafosfát-fosfoglycerát-translokátor