



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA CHEMICKÁ

FACULTY OF CHEMISTRY

## ÚSTAV CHEMIE POTRAVIN A BIOTECHNOLOGIÍ

INSTITUTE OF FOOD SCIENCE AND BIOTECHNOLOGY

# VLIV ZVÝŠENÉ KONCENTRACE OXIDU UHLIČITÉHO NA OBSAH A SLOŽENÍ PROTEINŮ PŠENIČNÉHO ZRNA U RANÉ A POZDNÍ ODRŮDY PŠENICE

INFLUENCE OF INCREASED CARBON DIOXIDE CONCENTRATION ON GRAIN PROTEIN COMPOSITION IN  
EARLY AND LATE WHEAT VARIETY

## BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Kamila Smrčková

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

PhDr. Miroslav Hrstka, Ph.D.

BRNO 2020

## Zadání bakalářské práce

Číslo práce: FCH-BAK1585/2019 Akademický rok: 2019/20  
Ústav: Ústav chemie potravin a biotechnologií  
Studentka: **Kamila Smrčková**  
Studijní program: Chemie a technologie potravin  
Studijní obor: Potravinářská chemie  
Vedoucí práce: **PhDr. Miroslav Hrstka, Ph.D.**

### Název bakalářské práce:

Vliv zvýšené koncentrace oxidu uhličitého na obsah a složení proteinů pšeničného zrna u rané a pozdní odrůdy pšenice

### Zadání bakalářské práce:

1. V teoretické části práce pojednat o složení pšeničného zrna. Zvláště se zaměřit na celkový obsah dusíkatých látek, složení a obsah lepkových bílkovin a metody jejich stanovení.
2. V experimentální části práce sledovat vliv zvýšené koncentrace oxidu uhličitého na celkový obsah dusíkatých látek, složení a obsah lepkových bílkovin u rané a pozdní odrůdy pšenice.

### Termín odevzdání bakalářské práce: 22.5.2020:

Bakalářská práce se odevzdává v děkanem stanoveném počtu exemplářů na sekretariát ústavu. Toto zadání je součástí bakalářské práce.

-----  
Kamila Smrčková  
student(ka)

PhDr. Miroslav Hrstka, Ph.D.  
vedoucí práce

prof. RNDr. Ivana Márová, CSc.  
vedoucí ústavu

V Brně dne 31.1.2020

-----  
prof. Ing. Martin Weiter, Ph.D.  
děkan

## **Abstrakt**

Tato bakalářská práce se zabývá vlivem zvýšené koncentrace CO<sub>2</sub> (700 ppm) na obsah a složení proteinů pšeničného zrna u rané (Avenue) a pozdní (Tobak) odrůdy pšenice. Pro stanovení proteinů v pšeničném zrna byly použity tři metody: stanovení obsahu hrubé bílkoviny dle Kjeldahla, stanovení mokrého lepku, a gravimetrické stanovení obsahu gliadinů a gluteninů po extrakci. Byla zjištěna odlišná reakce odrůd na zvýšenou koncentraci CO<sub>2</sub>. Raná odrůda Avenue byla mnohem více citlivá na vliv zvýšené koncentrace CO<sub>2</sub>. Obsah gliadinů se snížil, kdežto obsah gluteninů se při zvýšené koncentraci CO<sub>2</sub> zvýšil. Obsah hrubé bílkoviny se zvýšil při zvýšené koncentraci CO<sub>2</sub>, ale ne vlivem dusíkatého hnojení. Obsah hrubé bílkoviny koreloval v naší práci s obsahem mokrého lepku.

## **Abstract**

This bachelor thesis deals with the effect of increased CO<sub>2</sub> concentration (700 ppm) on the content and composition of wheat grain proteins in early (Avenue) and late (Tobak) wheat varieties. Three methods were used to determine the proteins in wheat grain: the Kjeldahl determination of crude protein content, the determination of wet gluten, and finally the gravimetric determination of gliadins and glutenins after extraction. A different response of the varieties to the increased CO<sub>2</sub> concentration was found. The early Avenue variety was much more sensitive to the effects of increased CO<sub>2</sub> concentrations. The gliadin content decreased, while the glutenin content increased with increasing CO<sub>2</sub> concentration. The total gluten protein content increased in elevated CO<sub>2</sub> concentration, independently of nitrogen fertilization. Its content correlates in our work with the content of wet gluten.

## **Klíčová slova**

Pšenice ozimá, gluten, gliadiny, gluteniny, zvýšená koncentrace CO<sub>2</sub>, kvalita zrna, pekařská kvalita.

## **Keywords**

Winter wheat, gluten, gliadins, glutenins, elevated CO<sub>2</sub> concentration, corn quality, baking quality.

SMRČKOVÁ, Kamila. *Vliv zvýšené koncentrace oxidu uhličitého na obsah a složení proteinů pšeničného zrna u rané a pozdní odrůdy pšenice*. Brno, 2020. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/122871>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, Ústav chemie potravin a biotechnologií. Vedoucí práce Miroslav Hrstka.

## **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 Vysokého učení technického v Brně a může být využita ke komerčním účelům jen se souhlasem vedoucího bakalářské práce a děkana FCH VUT v Brně.

.....  
podpis autora

*Poděkování: Velmi ráda bych poděkovala mému vedoucímu bakalářské práce panu PhDr. Miroslavu Hrstkovi, Ph.D., za veškerou pomoc, cenné rady a připomínky, za věnovaný čas a odborné vedení této bakalářské práce. Dále bych chtěla poděkovat panu Ing. Karlu Klemovi, Ph.D. za poskytnutou pomoc při zpracování výsledků a za poskytnuté konzultace.*

## **OBSAH**

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 1     | ÚVOD .....  | 4  |
| 2     | TEORETICKÁ ČÁST.....                                      | 5  |
| 2.1   | Pšenice.....  | 5  |
| 2.2   | Charakteristika lepku a jeho chemická struktura .....     | 8  |
| 2.2.1 | Gliadiny .....  | 9  |
| 2.2.2 | Gluteniny .....   | 9  |
| 2.2.3 | Disulfidická vazba.....                                   | 10 |
| 2.3   | Kvalita lepku v potravinářské praxi .....                 | 10 |
| 2.3.1 | Obsah hrubé bílkoviny .....                               | 11 |
| 2.3.2 | Obsah mokrého lepku .....                                 | 11 |
| 2.3.3 | Sedimentační test .....                                   | 11 |
| 2.3.4 | Číslo poklesu.....  | 12 |
| 2.3.5 | Objemová výtěžnost (rapid mix test, pekařský pokus).....  | 12 |
| 2.4   | Globální klimatická změna.....                            | 13 |
| 2.4.1 | Vliv zvýšené koncentrace CO <sub>2</sub> na rostliny..... | 15 |
| 2.4.2 | Vliv zvýšené koncentrace CO <sub>2</sub> na pšenici.....  | 18 |
| 3     | EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST .....                                 | 21 |
| 3.1   | Materiál .....  | 21 |
| 3.2   | Metody.....   | 22 |
| 3.2.1 | Stanovení celkového dusíku podle Kjeldahla .....          | 22 |
| 3.2.2 | Stanovení obsahu mokrého lepku .....                      | 23 |
| 3.2.3 | Extrakce gliadinů a gluteninů.....                        | 23 |
| 3.2.4 | Statistické zpracování výsledků .....                     | 24 |
| 4     | VÝSLEDKY .....  | 25 |
| 5     | DISKUZE.....  | 30 |
| 6     | ZÁVĚR.....  | 32 |
| 7     | POUŽITÁ LITERATURA.....                                   | 33 |
| 8     | SEZNAM ZKRATEK.....                                       | 39 |

# 1 ÚVOD

Rostoucí teplota a zvýšená koncentrace CO<sub>2</sub> v atmosféře jsou dva hlavní environmentální faktory spojené s globální změnou klimatu. Ke globálním změnám docházelo již v minulosti, ovšem jejich rychlost nebyla tak značná. Kvůli lidské činnosti se od počátku 18. století zvýšila koncentrace CO<sub>2</sub> o polovinu až na 400 ppm. Teplotní anomálie jdou ruku v ruce se zvýšenou koncentrací CO<sub>2</sub>, a proto dochází k razantnímu oteplování celé planety. Při skloubení těchto dvou jevů dochází k obrovským změnám jak na povrchu Země, tak v hlubinách oceánů.

Při současném tempu oteplování je pravděpodobné, že globální teploty vzduchu dosáhnou 1,5 ° C nad úrovní před industrializací. Koncentrace CO<sub>2</sub>, která nedávno překročila 410 ppm, se předpokládá, že bude i nadále stoupat přibližně 2 ppm za rok.

Díky rostoucí koncentraci CO<sub>2</sub> se také současně mění koncentrace dalších skleníkových plynů v atmosféře (vodní pára, methan, oxidy dusíku, ozon, freony), které ovlivňují klima. Kvůli posílenému skleníkovému efektu je Země oteplována a zvyšuje se teplota ovzduší i povrchu Země. Dochází také k většímu výskytu meteorologických jevů.

Tyto změny mění růst rostlin, jejich funkce a produktivitu s přímými důsledky na zemědělství, celosvětovou potravinovou bezpečnost a lidské zdraví. Zvýšenou koncentrací CO<sub>2</sub> dochází u rostlin ke stimulaci fotosyntézy a zvýšení rychlosti dýchání a růstu rostlin. Můžeme předpokládat, že bude docházet k vyššímu výnosu, ovšem s jiným rozložením chemických látek, než je obvyklé. Změní se struktura rostlinných pletiv – obsah sacharidů, dusíku i bílkovin.

Cílem této práce je sledovat vliv zvýšené koncentrace oxidu uhličitého na celkový obsah dusíkatých látek, složení a obsah lepkových bílkovin u rané a pozdní odrůdy pšenice.

## 2 TEORETICKÁ ČÁST

### 2.1 Pšenice

Vývoj lidské společnosti je úzce spjatý se zdroji potravy. Dostatek potravy dlouhodobě ovlivňuje počet obyvatel na určitém území a ovlivňuje způsob života společenství i stěhování celých národů na nová území [1].

Ještě před naším letopočtem byly používány jako zdroje potravy různé druhy pšenice – jednozrnka (*Triticum monococcum* L.), dvouzrnka (*T. dicoccum* Schrank), pšenice naduřelá (*T. turgidum* L.) a později špalda (*T. spelta* L.). Tyto druhy pšenice měly ale jednu nevýhodu, a tou byla obilka, která se přirozeně neuvolňovala z klasových obalů. Obilka se tedy musela namáhavě z těchto obalů loupat [2].

Složitým vývojem pšenice rodu *Triticum* a příbuzného rodu *Aegilops* vznikl nejrozsáhlejší druh – pšenice setá neboli *Triticum aestivum*. Zde je již obilka v době zralosti jen lehce sevřena mezi pluchou a pluškou. Při přezrání mají obilky tendenci samy vypadávat [2].

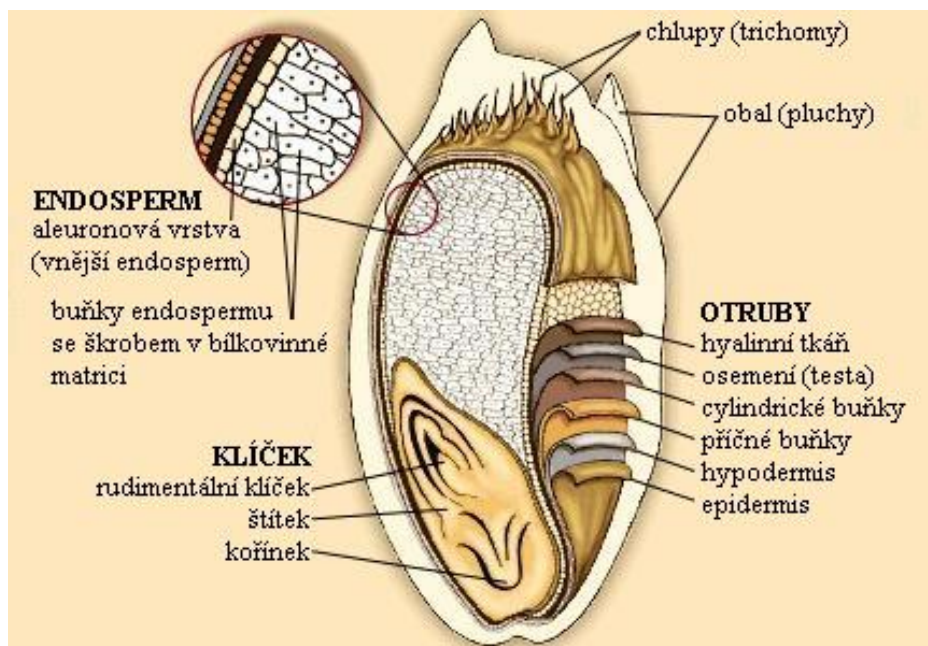
Pšenice setá se u nás začala objevovat díky Keltům. Rozmach jejího pěstování nastal až v první polovině 1. tisíciletí příchodem Slovanů. Podle četnosti archeologických nálezů můžeme usoudit, že pšenice setá byla u Slovanů hlavní obilovinou [2]. Ve středověku se daleko více pěstovalo žito, které dosahovalo větší výtěžnosti. Zlom nastal až v první polovině 20. století, kdy se zlepšila agrotechnika a nastal pokrok ve šlechtění nových odrůd. Vysledovat z archeologických nálezů kvalitu a výnos dřívější pšenice je však velice obtížné [1].

Různý podíl meliva z jednotlivých částí obilek získaný při odlišných technologiích dezintegrace zrna ovlivňuje jak pekařské, tak i výživové vlastnosti pečiva. V dřívějších dobách se melivo nerozdělovalo na komerční mouky jako dnes (např. polohrubá, hladká mouka). Rozdělení bylo dáno spíše podle upečeného chleba např. jemný nebo hrubší chléb. Postupem času byla mouka jednotně kvalifikována a rozdělena až do dnešní podoby [1].

Pšenice se u nás dnes pěstuje ve formě ozimé a jarní. Taxonomicky řadíme pšenici do čeledi lipnicovitých. Na první pohled nás na pšenici zaujme duté kolénkaté stéblo, květenství je kláskový lichoklas s obilkami s výraznou podélnou rýhou [3].

Pšenice má obvykle 2–4 primární kořínky, druhotné (sekundární) kořínky jsou svazčité a zakládají se většinou v ornici. Stéblo je rozděleno kolénky na mezičlánky, kterých u pšenice obvykle bývá 4–6, a díky těmto kolénkům má pšenice dostatečnou sílu nést velký klas. Listy obilovin sestávají z listové pochvy a listové čepele [3].

Pšeničné zrna se liší od ostatních obilovin hlavně tvarem a podílem jednotlivých vrstev. Pšenice patří mezi obiloviny s nahými zrny stejně tak žito a kukuřice. Pluchatá zrna najdeme u ječmene, ovsa nebo rýže [4]. Skladba pšeničného zrna je znázorněna na obrázek 1.



Obrázek 1: Morfologie pšeničného zrna – vnější obalové vrstvy a vnitřní struktura zrna. Upraveno podle [5].

Ochrannou vrstvou pro zrna je tzv. oplodí, které je tvořeno nerozpustnou a obtížně bobtnající celulosou. Pod oplodím se nachází vrstva osemení, díky které má zrna svůj vnější barevný vzhled. V dalších vrstvách najdeme polysacharidy, které jsou schopné bobtnat a vázat vodu a udržovat tak rovnováhu vlhkosti zrna. Všechny tyto vrstvy jsou při mletí vedlejším produktem, který se nazývá otruby [4].

Pod obalovými vrstvami se nachází aleuronová vrstva označovaná také jako vnější endosperm. Jedná se o jednoduchou vrstvu velkých buněk, jež obsahují vysoký podíl bílkovin (až trojnásobek obsahu bílkovin v endospermu) a také největší obsah minerálních látek ze všech buněk zrna. Tyto látky hrají důležitou roli při procesu klíčení. Poté záleží na procesu mletí, jestli aleuronová vrstva je odstraněna s otrubami nebo bude přecházet do mouky a bude zvyšovat obsah bílkovin a minerálních látek v mouce [4, 6].

Vnitřní vrstva zrna se skládá z klíčku a hlavní zásobní tkáně – endospermu. Klíček obsahuje vysoké množství proteinů, lipidů, minerálních látek a vitaminů. Kvůli rychlému podléhání oxidačním a enzymatickým změnám se klíček před mletím odstraňuje tzv. broušením a špicováním, aby nedošlo ke zhoršení sensorické kvality mouky a pekařského výrobku [4, 7].

Největší část zrna tvoří endosperm, který je zdrojem zásobních látek pro klíčící rostlinu. Obsahuje kromě škrobu (75 %) také proteiny (10–13 %) a nízké množství lipidů, minerálních látek a vlákniny [6, 8].

Jako proteiny se v zrna vyskytují albuminy a globuliny, dále pak lepkové proteiny, které jsou tvořeny gliadiny a gluteniny. Lepek se rozhodující měrou podílí na kvalitě pekárenských produktů.

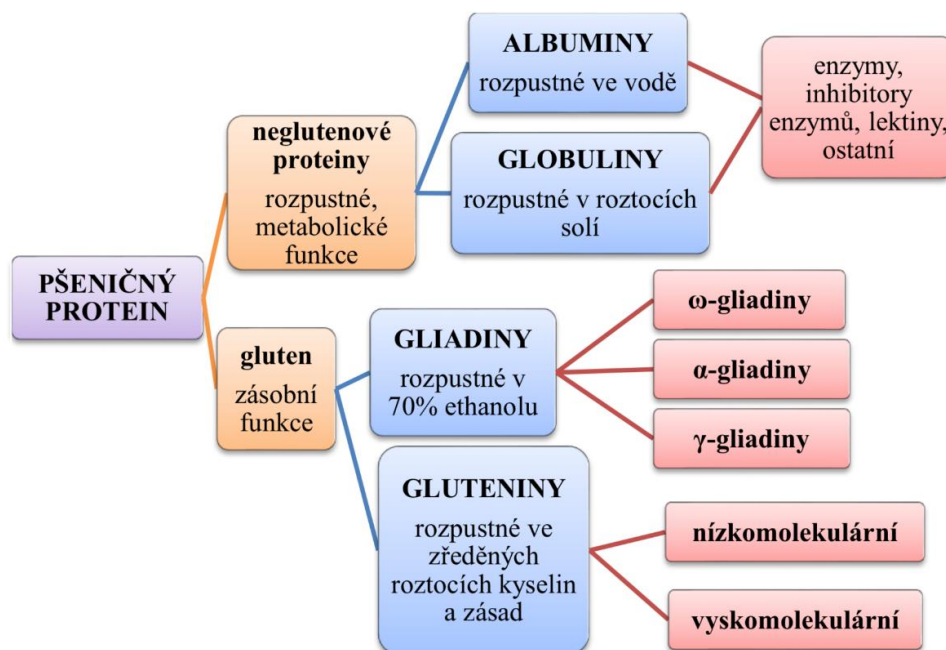
Obsah tuku je nízký (1,5 – 3 %), nachází se v něm velké množství nenasycených mastných kyselin, kyseliny olejové a linolové. Z vitaminů jsou v pšeničném zrna obsaženy hlavně vitaminy skupiny B, vitamin E a v menším množství také  $\beta$ -karoten [9].



Tato práce se zabývá odrůdou Avenue a Tobak. Odrůda Avenue je extrémně raná odrůda pšenice s jakostí B. Je vhodná do všech oblastí pěstování, zaručuje obrovský výnos (i v sušších a teplejších oblastech). Vyznačuje se odolností vůči klasovým chorobám. Má vysokou zimuvzdornost a odolnost vůči polehávání, a to díky krátkým rostlinám. Tato odrůda pšenice se nejčastěji využívá pro výrobu mouky a následného zpracování v pekařském průmyslu [10].

Tobak, ozimá pšenice, je odrůda s rekordními výnosy díky kombinaci dobrého zdraví, plastičnosti a toleranci k půdně – klimatickým podmínkám. Patří do jakosti B. Výnos zrna je zaručen vysokým počtem zrn v klasu. Díky tomu je Tobak řazen do střední třídy hodnoty HTZ (hmotnost tisíce zrn). Pro dosažení lepší jakosti zrna u Tobaku je doporučeno hnojení sírou, dusíkem a ostatními mikro a makro prvky [11].

Z potravinářského hlediska je nejvíce sledován obsah dusíkatých látek a jejich vlastností. Dusíkaté látky jsou v pšenici obsaženy v množství asi 10–13 % a jsou tvořeny z velké části bílkovinami. Obsah bílkovin v mouce koreluje s objemem chleba [12]. Bílkoviny zrna lze rozdělit do čtyř skupin: albuminy a globuliny (společně asi 20 %), gliadiny a gluteniny (společně asi 80 %). Zatímco albuminy a globuliny jsou hlavně metabolické proteiny, gliadiny a gluteniny mají zásobní funkci. Tyto proteiny se rozhodujícím způsobem podílejí na vlastnostech těsta a souhrně se označují jako lepek (viz obrázek 2) [13].



Obrázek 2: Rozdělení proteinů v pšenici [13].

## 2.2 Charakteristika lepku a jeho chemická struktura

Glutenové proteiny jsou složeny ze stovek různých molekul rozličné velikosti a struktury. Patří mezi nejsložitější proteinové sítě v přírodě, a jsou velmi variabilní v závislosti na genotypu a různých růstových podmínkách. Hrají klíčovou roli při určování jedinečných reologických vlastností těsta a kvality při pečení [14].

Lepek je významný pro pečení díky své schopnosti absorpce vody, kapacitě, viskozitě a pružnosti vytvořeného těsta. Je rozdělen na dvě hlavní složky podle rozpustnosti ve vodných roztocích alkoholů. Jedná se o rozpustné gliadiny a nerozpustné gluteniny [15]. Gliadiny jsou často monomerní struktury s molekulovou hmotností kolem 28 000–55 000 a mohou být rozděleny podle jejich rozdílné primární struktury na  $\alpha/\beta$ -,  $\gamma$ -,  $\omega$ - typy. Disulfidické můstky nejsou častou formou vazby. Gluteniny obsahují sdružené bílkoviny spojené disulfidickou vazbou. Mají variabilní molekulovou hmotnost od 500 000 do více než 10 milionů [14]. Po redukci disulfidických můstků můžeme pozorovat rozpustnost gluteninových podjednotek v alkoholech rozpustných ve vodě, kde se rozpadají na menší podjednotky. Na základě primární struktury, jsou gluteniny rozděleny na vysokomolekulární (HMW), jejichž molekulová hmotnost je v rozmezí mezi 67 000–88 000, a nízkomolekulární (LMW) s molekulovou hmotností v rozmezí 32 000–35 000. Každá molekula glutenu obsahuje dvě až tři různé strukturní domény. Strukturní doména obsahuje unikátní sekvenci bohatou na glutaminy a proliny. Nativní gluteniny se skládají z páteře tvořené polymerními podjednotkami HMW a LMW. Nekovalentní vazby, jako jsou vodíkové vazby, iontové vazby a hydrofobní vazby, jsou důležité pro vazby gliadinů a gluteninů a určují strukturu a fyzikální vlastnosti těsta. Například hydrofobní vazby významně přispívají ke stabilizaci struktury lepku. Liší se od ostatních vazeb, tím že jejich energie se zvyšuje s rostoucí teplotou, což poskytuje další stabilitu těsta během procesu pečení [14, 16].

Hydratované gliadiny mají nízkou elasticitu a jsou méně soudržné než gluteniny a spíše přispívají k viskozitě a roztažitelnosti těsta. Naproti tomu hydratované gluteniny jsou soudržné i elastické a jsou zodpovědné za pevnost a pružnost těsta. Pro zjednodušení je lepek „dvousložkovým lepidlem“, ve kterém lze gliadiny chápat jako „změkčovadlo“ nebo „rozpuštědlo“ pro gluteniny. Správná směs obou frakcí je nezbytná pro správné viskoelastické vlastnosti těsta a kvalitu konečného produktu [14, 16].

Lepek získáváme po vymytí mouky vodou, kdy odstraníme ve vodě rozpustné látky. V závislosti na důkladnosti praní získáváme mokrý lepek, který obsahuje 75–85 % bílkovin a 5–10 % lipidů [14].

Důležitou roli v lepku hraje cystein, který pomáhá struktuře a funkčnosti těsta, i přesto že se vyskytuje v malých koncentracích (cca 2 %) [17, 18]. Většina cysteinů je přítomna v oxidovaném stavu a tvoří disulfidové vazby buď uvnitř molekuly proteinu, nebo mezi dvěma molekulami proteinů. Tyto vazby jsou hlavním cílem většiny redoxních reakcí, ke kterým dochází během zrání jádra, mletí, přípravy těsta a pečení [18].

Tabulka 1: Procentuální zastoupení bílkovin v lepku [20]

| TYP           | M×10 <sup>3</sup> | Obsah (%) | Obsah AMK (%) |     |     |     |     |
|---------------|-------------------|-----------|---------------|-----|-----|-----|-----|
|               |                   |           | Gln           | Pro | Phe | Tyr | Gly |
| ω5-Gliadiny   | 49–55             | 3–6       | 56            | 20  | 9   | 1   | 1   |
| ω1,2-Gliadiny | 39–44             | 4–7       | 44            | 26  | 8   | 1   | 1   |
| α/β-Gliadiny  | 28–35             | 28–33     | 37            | 16  | 4   | 3   | 2   |
| γ-Gliadin     | 31–35             | 23–31     | 35            | 17  | 5   | 1   | 3   |
| x-HMW-GP      | 83–88             | 4–9       | 37            | 13  | 0   | 6   | 19  |
| y-HMW-GP      | 67–74             | 3–4       | 36            | 11  | 0   | 5   | 18  |
| LMW-GP        | 32–39             | 19–25     | 38            | 13  | 4   | 1   | 3   |

### 2.2.1 Gliadiny

Monomerní jednotky gliadinů jsou rozděleny do čtyř skupin podle mobility (pohyblivosti) v gelové elektroforéze při nízkém pH (α-, β-, γ-, ω-gliadiny v pořadí podle klesající mobility). α- a β-gliadiny spadají do jedné skupiny. Dnešní metody jako je RP-HPLC (high performance liquid chromatography) nebo dvourozměrná elektroforéza dokážou rozdělit gliadiny až na sto frakcí (Tabulka 1) [20].

ω-Gliadiny se vyznačují nejvyšším obsahem glutaminu, prolinu a fenylalaninu, které dohromady tvoří přibližně 80 % z celkového složení ω-5-gliadiny mají vyšší molekulovou hmotnost kolem 50 000, než ω-2-gliadiny (40 000) [21]. Většina ω-gliadinů nemá ve své struktuře cystein, takže neexistuje možnost disulfidického zesíťování. α-, β- a γ-gliadiny mají překrývající se molekulové hmotnosti (asi 28 000-35 000) a poměry glutaminu a prolinu mnohem nižší než u ω-gliadinů. Tyto typy gliadinů se výrazně liší obsahem aminokyselin [18].

Jak už bylo řečeno, zastoupení jednotlivých frakcí gliadinů závisí na odrůdě pšenice (genotypu) a podmínkách růstu (půda, klima). Často jsou hlavními složkami právě α-, β- a γ-gliadiny, zatímco ω-gliadiny se vyskytují v mnohem nižších koncentracích [20].

### 2.2.2 Gluteniny

Gluteninová frakce obsahuje sloučené proteiny spojené mezimolekulovými disulfidovými vazbami. Tyto proteiny mají různou velikost v rozmezí od asi 500 000 do více než 10 milionů. Po redukci těchto vazeb se gluteniny rozpadají na menší podjednotky [21]. Mnoho gluteninů tedy patří k největším proteinům v přírodě. Jejich rozdělení podle molekulové hmotnosti je důležité pro vlastnosti těsta i při jeho pečení. Největší polymery nazývané „gluteninové makropolymer“ (GMP) nejvíce přispívají k vlastnostem těsta, a jejich množství v pšeničné mouce se pohybuje okolo 20–40 mg/g a je silně spojeno s pevností těsta a objemem bochníku [14].

Po redukci disulfidových vazeb vykazují gluteniny rozpustnost ve vodných alkoholech. Převažujícím typem gluteninů jsou LMW gluteninové podjednotky, jejichž podíl činí asi 20 % celkových glutenových proteinů [14, 20].

LMW-GP (GP-gluteninové podjednotky) obdobně obsahují dvě různé domény jako  $\alpha$  /  $\beta$ - a  $\gamma$ -gliadiny: N-terminální doména sestává z opakujících se jednotek bohatých na glutamin a prolin [20].

HMW-GP patří k menšinovým složkám glutenových proteinů (10 %). U většiny odrůd pšenice rozeznáváme tři až pět HMW-GP, které dále rozdělujeme do dvou typů. Typ x- s molekulovou hmotností od 83 000–88 000 a typ y- s molekulovou hmotností 67 000–74 000 [20].

### 2.2.3 Disulfidická vazba

Disulfidové vazby hrají důležitou roli při určování struktury a vlastností glutenových proteinů. Monomerní  $\alpha/\beta$ - a  $\gamma$ -gliadiny vykazují tři až čtyři vnitřní disulfidické vazby, zatímco polymerní LMW-GP a HMW-GP zahrnují jak vazby uvnitř, tak mezi řetězci [18].

Disulfidická vazba přírodních gluteninů není ve stabilním stavu, ale prochází kontinuální změnou od zrajícího zrna až po konečný produkt (např. chléb). Molekulová hmotnost gluteninů byla stanovena, jako jeden z hlavních ukazatelů kvality těsta. Je závislá na stavu disulfidové struktury, která zase závisí na genetických faktorech, faktorech prostředí (např. nedostatek síry, tepelný nebo vodní stres) a redoxních stavech (např. přítomnost redukčních nebo oxidačních činidel) [18, 21].

## 2.3 Kvalita lepku v potravinářské praxi

Odrůda pšenice je určitým ukazatelem jakosti, ale není jediným faktorem. Kvalita pšenice je silně ovlivněna i klimatickými podmínkami, půdou, vhodným hnojením a dobou sklizně. Proto je vhodné kontrolovat pšeničné zrno, ať už se jedná o jakoukoliv odrůdu. Podle jakosti pšenici rozdělujeme na čtyři skupiny: E – pekařsky elitní, A– kvalitní, B – chlebová, C – pekařsky nevhodná [1].

Podle obsahu lepku se pšenice dělí do čtyř skupin:

*„Skupina A: Lepek tuhý, pružný, tažný; suchý lepek objemný, pěkně vyklenutý, tudíž ideálních vlastností. Velice dobrá pekařská hodnota mouky.*

*Skupina B: Lepek tuhý, méně pružný, dosti tažný; suchý lepek menšího objemu, méně vyklenutý. Dobrá pekařská hodnota mouky.*

*Skupina C: Lepek měkký, málo pružný, málo tažný; suchý lepek nízký, rozběhlý. Špatná pekařská hodnota mouky.*

*Skupina D: Lepek nepružný, nedosti tažný, ne-soudržný, drobivý. Suchý lepek rozběhlý, velice nepříznivý. Velice špatná pekařská hodnota mouky [1].“*

Kvalitu mouky můžeme posuzovat mnoha experimenty (tabulka 2).

Tabulka 2: Hodnoty jakostních ukazatelů podle ČSN 46 1200-2 [1].

| Jakostní ukazatele                       | Pšenice potravinářská |                    | Pšenice nepotravinářská |
|--|-----------------------|--------------------|-------------------------|
|  | Pšenice pekárenská    | Pšenice pečivářská |                         |
| Vlhkost (%)                              | max 14                | max 14             | max 14                  |
| Objemová hmotnost (kg·hl <sup>-1</sup> ) | min 76                | min 76             | min 73                  |
| Obsah N-látek v sušině (%)               | min 11,5              | max 11,5           | min 10,5                |
| Sedimentační index – Zelenyho test (ml)  | min 30                | max 25             | min 22                  |
| Číslo poklesu (s)                        | min 220               | min 220            | min 220                 |

### 2.3.1 Obsah hrubé bílkoviny

Obsah hrubé bílkoviny udává obsah všech organických dusíkatých látek v zrně. Stanovuje se buď přímo (podle Dumase) nebo po mineralizaci vzorku Kjeldahlovou metodou titračně. Při stanovení podle Dumase se vzorek spálí a dusíkaté sloučeniny se redukují na elementární dusík, jenž se stanoví volumetricky. Při stanovení podle Kjeldahla se vzorek nejdříve mineralizuje koncentrovanou kyselinou sírovou za přítomnosti katalyzátoru. Ze vzniklého síranu amonného se uvolní amoniak, který se stanoví titračně. Jako katalyzátor při mineralizaci se používají nejčastěji směsi např. bezvodého CuSO<sub>4</sub>, CuO, V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> a selenu. Teplota při mineralizaci dosahuje stupně varu kyseliny sírové, což je kolem 340 °C [22].

NIR neboli blízká infračervená spektroskopie je nedestruktivní moderní analytická metoda využívající interakce mezi dopadajícím zářením a vrstvou materiálu vzorku. Výhodami infračervené spektrometrie jsou velmi krátká doba analýzy, přesnost, minimální požadavky na přípravu vzorku a také významná úspora chemikálií, skla a energie [23].

### 2.3.2 Obsah mokrého lepku

Lepek se tvoří v procesu hnětení těsta z mouky a vody. Vyznačuje se viskoelastickými vlastnostmi, které umožňují v procesu kynutí těsta zadržovat oxid uhličitý a tím ovlivňovat objem pečiva [24].

Analyticky se mokrá lepek určuje vypíráním uhněteného těsta vodou nebo vodným roztokem NaCl ručně nebo na různých přístrojích. Takovéto stanovení je, ale zatíženo vysokou analytickou chybou. Lepek se poté uvádí v procentech přepočítaných na sušinu. Tento test často hodnotně koreluje s obsahem hrubé bílkoviny [24].

### 2.3.3 Sedimentační test

Indikuje kvalitu lepku na základě schopnosti bílkovin vázat kyselinu mléčnou, jedná se o tzv. Zelenyho test. Principem je bobtnání bílkovin v kyselém prostředí, díky kterému určujeme charakter viskoelastických vlastností těsta. Udává se v mililitrech objemu sedimentu, který vznikne za specifických podmínek ze zkoušené mouky. Využívá se jako jeden z parametrů jakosti pšenice dle normy ČSN ISO 5529 [22, 25]. Vzorek mouky o přesně dané granulaci se smíchá s vodou a barvivem v odměrném válci. Nechá se protřepávat po určitou dobu a poté se

přidává kyselina mléčná. Obsah válce se nechá sedimentovat a odečte se výsledný objem neboli sedimentační index [22].

#### **2.3.4 Číslo poklesu**

Tzv. viskotest umožňuje zjistit skrytou porostlost pšeničného zrna v klase. Jedná se o nežádoucí jev z pohledu jakosti zrna u pekárenské pšenice, který vede ke snížení objemu upečeného pečiva a k nevhodné pórovitosti. V procesu porůstání dochází ke zvyšování aktivit hydrolytických enzymů, což jsou amylázy, proteinázy a peptidázy, které jsou syntetizovány v zrně pšenice hlavně v období žňové zralosti v nevhodných povětrnostních podmínkách s dešťovými srážkami. Aktivita těchto enzymů způsobuje v procesu pečení pečiva při teplotách kolem 600 °C štěpení škrobu a bílkovin na podjednotky, tím dochází k méně kvalitním výsledkům při pečení pečiva [24].

K měření čísla poklesu se využívá přístroj Falling number. Vzorek se semele a upraví podle předepsaných hodnot dle ČSN ISO 3093 podle Hagberga-Pertena [26]. Vzorek mouky se nechá protřepávat s vodou a zkumavka s míchadlem se vloží do přístroje, kde jsou lázně udržovány na bodu varu. Suspenze ve zkumavce je promíchávána po určitou dobu ve vařící lázni, poté se míchadlo uvolní a klesá zmazovatělou suspenzí na dno zkumavky. Výsledné číslo poklesu je udáváno v sekundách, což je doba, za kterou urazí míchadlo předepsanou vzdálenost [22].

Optimálním výsledkem viskotestu je interval mezi 200–300 sekund, při vyšších hodnotách je nutné použít přísad sladové moučky, aby se zvýšila aktivita amyláz [22, 24].

#### **2.3.5 Objemová výtěžnost (rapid mix test, pekařský pokus)**

Objemová výtěžnost je test mechanického odporu při tažení těsta. Přesný popis je dán ČSN ISO 46 1011-5 [27]. U upečeného pečiva určíme objemovou výtěžnost díky přepočtu na 100 g mouky. Čím je tento objem vyšší, tím je odrůda pšenice vhodnější pro pekařské použití [24]. V současné době se využívá metoda RMT neboli Rapid Mix Test, který je velice specifický intenzivním a krátkodobým hnětením těsta a poté jeho upečením. Vybavení je ale pro tuto metodu velmi nákladné, proto byl vyvinut tzv. MiniRMT, který tyto nedostatky eliminuje [25].

## 2.4 Globální klimatická změna

Globální klimatická změna může být definována jako dlouhodobá odchylka klimatických parametrů Země od průměrů a trendů, kterými se vyznačovalo klima Země v minulosti. Jsou to například změny teploty, úbytek nebo nadbytek srážek, anebo změna pohybu vzdušných mas [28].

Za hlavní příčinu změn klimatu je považován skleníkový efekt. Jedná se o efekt způsobený produkcí plynů zejména oxidu uhličitého, methanu, oxidu dusného, částečně a zcela fluorovaných uhlovodíků, fluoridu sírového a řady dalších plynů. Ke zvyšování koncentrace těchto plynů přispívá celé lidstvo svou činností zvláště díky urbanizaci, industrializaci, kácení lesů, nesprávnému hospodaření s vodou a zásahy do hydrologického režimu [1].

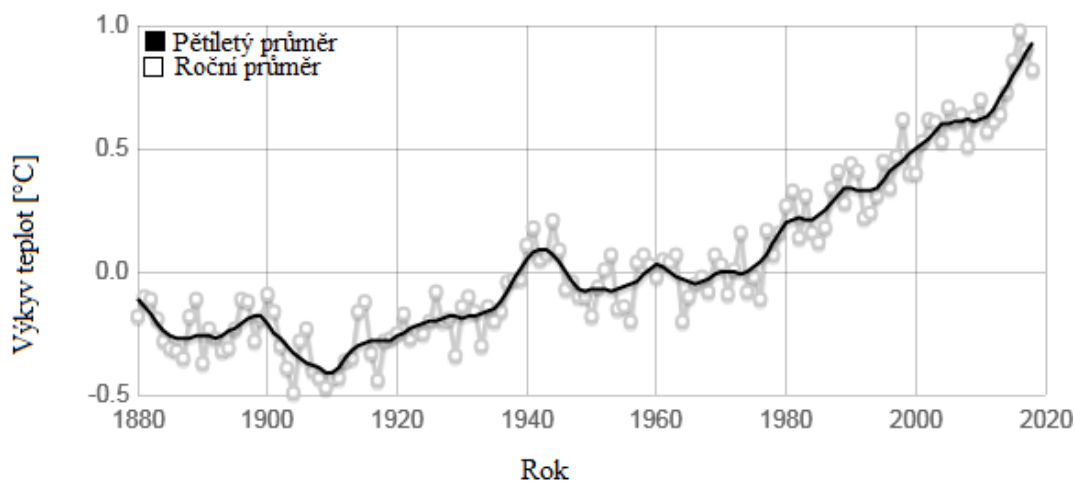
Plyny absorbují a opětovně vyzařují infračervené záření, což ovlivňuje teplotu Země. Účinnost těchto plynů absorbovat záření je však rozdílná. Silnou absorpci vykazuje právě oxid uhličitý, methan, ozon, vodní pára a freony. I nižší koncentrace těchto silně absorbujících plynů dokáže účinně přispívat k absorpci dlouhovlnného záření v atmosféře. Všechny skleníkové plyny zůstávají v atmosféře dlouhou dobu [29, 30].

Podstata skleníkového efektu je již dlouhou dobu velmi známá. Krátkovlnné záření ze Slunce je atmosférou částečně absorbováno a míra absorpce nezávisí na obsahu plynů v atmosféře. Krátkovlnné záření dopadá i na povrch Země a je absorbováno a dochází k emisi dlouhovlnného záření. Dlouhovlnné infračervené záření z povrchu Země je velmi silně pohlcováno atmosférou a tato absorpce závisí na obsahu vodní páry, CO<sub>2</sub> a dalších plynů. Po absorpci záření plyny z atmosféry dochází k emitaci dlouhovlnného záření, z něhož část odchází do vesmírného prostoru a část směřuje zpět k povrchu Země, což indukuje oteplení atmosféry. Díky tomu můžeme říct, že zvyšující se obsah CO<sub>2</sub> zvyšuje absorpci záření emitovaného povrchem Země, a tím dochází ke zvyšování teploty vzduchu. Povrch Země je teplejší než atmosféra, a proto je směrem do atmosféry vyzařováno celkově více energie, než je vyzařováno atmosférou do prostoru vesmíru. Díky skleníkovému jevu se přirozeně teplota na Zemi pohybuje kolem +15 °C, bez něj by teplota na Zemi byla -18 °C a povrch Země by tvořil led [29, 31].

Povrchová teplota Země se za uplynulé století zvýšila o 0,5 °C. Zdvojnásobení koncentrace CO<sub>2</sub> vzniklého industriálně povede ke zvýšení teploty až o 1,5–4,5 °C viz Obrázek 3. Závislost koncentrace CO<sub>2</sub> na teplotě se blíží k logaritmické řadě. Do roku 2100 by měla teplota na Zemi stoupnout o 0,3 až 1,7 °C, při snížení produkce CO<sub>2</sub>. Pokud by tempo zvyšování koncentrace CO<sub>2</sub> zůstalo stejné jednalo by se o 2,6 až 4,8 °C. Oteplování je závislé na mnoha faktorech a bude se lišit region od regionu. Očekává se, že oteplování bude větší nad pevninou než nad oceány [32].

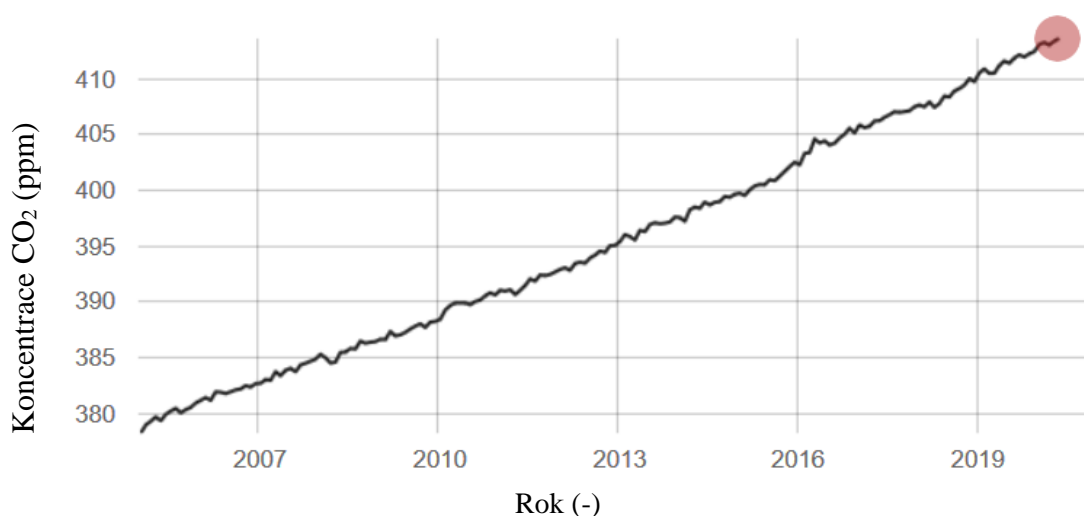
Při vyšší teplotě dochází k zvyšování obsahu výparů, a tím se zvyšuje i obsah vody v atmosféře. Vodní pára zesiluje skleníkový efekt a uvolňuje další teplo při vysrážení v dešťové kapky. Obecně se očekává zvýšený výskyt a větší síla klimatických jevů, které souvisejí se zvýšenou teplotou (acidifikace moří, tání ledovců, vzestup hladin moří atd.) [30].

Změnou prochází také úhrn srážek. Od počátku 20. století došlo ve středních a větších zeměpisných šířkách k zvyšování počtu srážek, kdežto v subtropických a tropických oblastech se počet srážek snížil [33].



Obrázek 3: Graf znázorňující změny teploty na Zemi vzhledem k průměrným teplotám v letech 1880-2020. Převzato a upraveno podle [34].

V současné době koncentrace  $\text{CO}_2$  překročila hranici 410 ppm (parts per milion), což je nejvyšší hodnota za posledních tisíc let. Oxid uhličitý je hlavní skleníkový plyn s dlouhou životností v atmosféře (až 100 let) a ještě delší životností v oceánech. Nárůst  $\text{CO}_2$  od roku 2016 do roku 2017 byl přibližně stejný jako průměrný nárůst za poslední desetiletí. Koncentrace oxidu uhličitého v roce 2017 dosáhly 405,5 ppm, oproti 403,3 ppm v roce 2016 a 400,1 ppm v roce 2015 [35]. Závislost koncentrace  $\text{CO}_2$  v uplynulých letech je podle grafu až lineárně vzrůstající (viz obrázek 4).



Obrázek 4: Graf závislosti hladiny koncentrace  $\text{CO}_2$  v atmosféře na čase. Naměřeno v observatoři Manua Loa na Havaji v posledních letech [36].



Důsledky globálních změn jsou obrovské. Týkají se každého odvětví planety. Od přírodních ekosystémů až po infrastrukturu lidských potřeb. Ke změnám klimatu docházelo již v minulosti v důsledku změn koncentrace CO<sub>2</sub>. Přejít mezi dobou ledovou a meziledovou byl spojen s nárůstem koncentrace CO<sub>2</sub>, a naopak doby ledové byly spojovány s poklesem koncentrace CO<sub>2</sub> v atmosféře. Změny, které nastávaly v minulosti nebyly neobvyklé, nastávaly pomalu a přirozeným tempem. Dnešní rychlost a vysoké uvolňování CO<sub>2</sub> do atmosféry je problémem, se kterým jsme se v minulosti nesetkali, a proto bychom ho neměli brát na lehkou váhu [29].

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

Produkce obilovin úzce souvisí s klimatem dané lokality. Na rostlinu totiž působí stresové faktory, kterými není jen zvýšená koncentrace CO<sub>2</sub>, ale i zvýšení teplotního průměru a snížení počtu srážek. Všechny tyto faktory ovlivňují kvalitu i kvantitu pšenice. Rostoucí světová populace potřebuje více potravin. Je důležité udržet krok s nárůstem populace, a to kvantitou i kvalitou potravin. Rychlý nárůst koncentrace oxidu uhličitého v atmosféře má přímý účinek na fotosyntézu a zvyšující růst a dále také na biomasu plodin [37, 38].

Rostliny pěstované ve vzduchu obohaceném o oxid uhličitý vykazují významné změny chemického složení. Největší změny jsou u dusíku v listech, kde se projevuje úbytkem bílkovin. Dále dochází i k úbytku obsahu dusíku v semenech a zrnech. Tyto změny mohou mít vážné ekologické, ekonomické a nutriční důsledky [38, 39].

I uhlík má svůj ekosystém a přirozeně se vyměňuje prostřednictvím fotosyntézy, dýchání, rozkladu a spalovacích procesů. Neustálé zvyšování koncentrace oxidu uhličitého v atmosféře vede v posledních dvou desetiletích k rozsáhlým výzkumům, které popisují dopady zvýšené koncentrace CO<sub>2</sub> na fotosyntézu. Míra odezvy je však velmi variabilní v závislosti na druhu, podmínkách pěstování, minerální výživě a době obohacení CO<sub>2</sub>. Stimulační efekt zvýšené koncentrace CO<sub>2</sub> klesá s délkou doby působení na rostliny v závislosti na minerální výživě rostlin. Stav, při kterém dosahuje rostlina nižší rychlosti asimilace při zvýšené koncentraci CO<sub>2</sub> než u rostlin kultivovaných v podmínkách přirozené koncentrace CO<sub>2</sub>, se nazývá aklimační deprese fotosyntézy [32].

Oxid uhličitý má dva přímé fyziologické účinky na rostliny, a to inhibici fotorespirace a zvýšení rychlosti karboxylace [29, 40].

Při zvýšené koncentraci CO<sub>2</sub> se zvyšuje rychlost fotosyntézy jak při saturačním, tak i při podsaturačním ozáření. Tento zvyšující se trend je podporován zvyšující se teplotou. Například při zvýšení koncentrace CO<sub>2</sub> z 350 na 700 μmol·mol<sup>-1</sup> se zvyšuje rychlost fotosyntézy o 4 % při 10 °C, ovšem při teplotě 30 °C se zrychluje až o 35 % [41].

Vyšší rychlost fotosyntézy je zajištěna i při menším množství enzymu Rubisco, což se projevuje poklesem obsahu dusíku a zvýšením poměru C/N. Uvedený primární účinek CO<sub>2</sub> působí na řadu dalších procesů, a nakonec ovlivňuje i produktivitu rostlin [29].

Rostliny rozdělujeme podle fotosyntetické fixace na tři skupiny C<sub>3</sub>, C<sub>4</sub> a CAM (crassulacean acid metabolism). Základem rozdělení do těchto skupin je chemická struktura prvního stabilního produktu karboxylace. Rozdílná reakce C<sub>3</sub> a C<sub>4</sub> rostlin na zvýšenou koncentraci CO<sub>2</sub> je značná. C<sub>4</sub> rostliny jsou v podstatě satureovány zvyšováním koncentrace CO<sub>2</sub>. U C<sub>3</sub>

rostlin dochází při zvýšené koncentraci CO<sub>2</sub> ke zvýšení rychlosti fotosyntézy, a tím dochází k poklesu dusíku a zvýšení poměru C/N. Je důležité také připomenout, že enzym Rubisco váže jak CO<sub>2</sub>, tak i molekulu O<sub>2</sub>. Tato reakce je podstatou fotorespirace. Dochází tím ke snižování hmotnosti sušiny až o jednu čtvrtinu za stávajících koncentrací CO<sub>2</sub> (360 ppm) a O<sub>2</sub> (210 ppm) v atmosféře. U rostlin C<sub>4</sub> je primárním enzymem fosfoenolpyruvátcarboxyláza (PEPc), která ale s kyslíkem nereaguje, proto nedochází k fotorespiraci [29].

Odezvy rostlin jsou na zvýšenou koncentraci CO<sub>2</sub> rozdílné, zde uvádím několik hypotéz z literatury [40, 42]:

### *I. Redistribuce nebo snížení koncentrace anorganického fosfátu:*

Zvýšená rychlost fotosyntézy vede ke zvýšené asimilaci fosforylovaných meziproductů Calvinova cyklu, což následně vede k přenášení anorganického fosfátu (P<sub>i</sub>) mezi chloroplastem a cytosolem. Kvůli snížení množství P<sub>i</sub> se snižuje limitně také množství ATP, který je nutný pro dokončení Calvinova cyklu (regenerace primárního akceptoru CO<sub>2</sub> RuBP). Některé z výzkumů dokonce ukazují, že snížení anorganického fosfátu a ATP vede ke zpětné limitaci aktivního místa enzymu RuBP [40, 42].

### *II. Snížení obsahu nebo aktivity enzymu Rubisco:*

Jako důsledek poklesu karboxylační aktivity enzymu Rubisco, byl zaznamenán pokles rychlosti asimilace při zvýšené koncentraci CO<sub>2</sub>. Bylo prokázáno, že při dlouhodobém působení zvýšené koncentrace CO<sub>2</sub> dochází k redukci množství enzymu Rubisco i jeho vlastní aktivity *in vitro* [40, 42].

Dalším typem mechanismu je deaktivace enzymu a potlačení genové exprese přepisu jeho genů. Toto potlačení je vedeno nestrukturními sacharidy, jako je glukosa nebo sacharosa [40, 42].

Třetí typ mechanismu je založen na snížení aktivity enzymu karbonátdehydratázy, a to opět v důsledku potlačení genové exprese. Enzym katalyzuje rovnováhu mezi CO<sub>2</sub> a HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> ve stromatu chloroplastů, díky čemuž pomáhá difúzi CO<sub>2</sub> z intercelulárního prostoru listů k místu aktivního působení Rubisco v chloroplastech. Při zvýšené koncentraci CO<sub>2</sub> v atmosféře může docházet ke zvyšování intercelulární limitace difuze CO<sub>2</sub>, což spěje k nepřímému snížení aktivity Rubisco v důsledku nedostatečné karbamylace [40, 42].

### *III. Mechanické poškození tylakoidů v souvislosti s nadměrnou akumulací škrobu:*

Klíčovým enzymem pro transport asimilátů (glyceraldehyd-3-fosfátu a dihydroxyacetonfosfátu) z chloroplastu do cytosolu je translokátor fosfátu fosfát-triosafosfát-fosfoglycerát-translokátor (TPT). A protože TPT pracuje jako striktní antiport s PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>, při nedostatku fosforu dochází k hromadění asimilátů ve stromatu ve formě škrobu. Působení zvýšené koncentrace CO<sub>2</sub> v atmosféře může mít za následek delší časový horizont u nadměrné akumulace škrobových zrn v chloroplastech, čímž může dojít k mechanickému poškození tylakoidních membrán [40, 42].

#### *IV. Inhibice transkripce genů:*

Nízký poměr obsahu dusíku a uhlíku v listech, tj. hromadění volných sacharidů vede ke snížení genové exprese enzymů, které se podílejí na karboxylaci, nebo proteinů zapojených v transportu elektronů přes tylakoidní membránu. Naopak je zaznamenána vyšší aktivita enzymu katalyzující biosyntézu škrobu. Z toho bylo vyvozeno, že v rostlinách pěstovaných při zvýšené koncentraci CO<sub>2</sub> dochází k potlačení genové exprese enzymů zapojených do syntézy sacharidů, zatímco genová exprese enzymů pro jejich utilizaci je stimulována [40, 42].

#### *V. Úroveň minerální výživy a efekt dusíku:*

Koncentrace dusíku ovlivňuje existenci a sílu aklimační deprese fotosyntézy v důsledku zvýšené koncentrace CO<sub>2</sub>. (Aklimační deprese je jev, při kterém po počáteční stimulaci fotosyntézy dochází k její postupné inhibici). Dále také nižší obsah dusíku negativně ovlivňuje aktivitu fotosyntetických enzymů, hlavně enzymu Rubisco, který obsahuje 25–50 % dusíku. Ze studií vyplývá že při nedostatku dusíku se prohlubuje aklimační deprese fotosyntézy a také dochází ke snižování syntézy chlorofylu [40, 42].

Řadou experimentů bylo taktéž prokázáno, že kultivace rostlin při zvýšené koncentraci CO<sub>2</sub> vede ke snížení obsahu dusíku v pletivech listů. V některých případech můžeme sledovat tzv. zřed'ovací efekt, kdy je zachováno stejné množství dusíku, ale připadá na vyšší množství biomasy [40, 42].

#### *VI. Změny ve struktuře světloběrných komplexů:*

Deprese fotosyntetické asimilace CO<sub>2</sub>, může být také spojena s poklesem koncentrace chlorofylu. Většina prací dokládá pokles obsahu fotosynteticky aktivních pigmentů (chlorofyly, karotenoidy), při dlouhodobém účinku zvýšené koncentrace CO<sub>2</sub> na rostliny. Rovněž byla prokázána vyšší přítomnost neaktivních reakčních center fotosystému II a zmenšení světloběrných komplexů, což hraje roli při vysoké ozáření a vysoké teplotě. Potlačení fotorespirace dochází k nevratnému poškození proteinů zapojených zejména v transportu elektronů [40, 42].

#### *VII. Změny poměru zdroj/úložiště CO<sub>2</sub> v rostlinách:*

Při pěstování rostlin při zvýšené koncentraci CO<sub>2</sub> jsou reakce fotosyntézy a růstu závislé na schopnosti rostliny vytvářet nová uhlíková úložiště jako např. nárůst listové plochy, tvorba sekundárních letorostů nebo mezipřeslenových větví. Pokud aktivní uhlíková úložiště chybějí, dochází k urychlení aklimační deprese fotosyntézy [40, 42].

Model aklimace fotosyntézy při zvýšené koncentraci CO<sub>2</sub> vychází z předpokladu, že fotosyntetická kapacita je řízena poměrem aktuálních biochemických změn a morfologických změn. Za biochemickou změnu je považována změna fixace CO<sub>2</sub> enzymem Rubisco, regenerace RuBP a triosafosfátů, kdežto morfologickými změnami jsou nárůst šířky listů, nárůst počtu mezofylových buněk na jednotku listové plochy, nebo tvorba uhlíkových úložišť. Pokud jsou biochemické změny silnější, dochází k aklimační depresi fotosyntézy. Naopak v případě dominance morfologických změn dochází ke stimulaci asimilačních procesů zvýšenou koncentrací CO<sub>2</sub> [40, 42].

Fotorespirace je označována jako významný ochranný proces před fotoinhibičním poškozením, který snižuje kvantový výtěžek asimilačních reakcí. Jeho podstatou je oxygenázová aktivita enzymu Rubisco. Metabolická dráha fotorespirace uvolňuje molekuly CO<sub>2</sub> za současné spotřeby ATP a redukčních ekvivalentů NADPH. Díky zvýšené koncentraci CO<sub>2</sub> v atmosféře dochází ke zvýšení poměru koncentrací mezi CO<sub>2</sub> a O<sub>2</sub>, tím se také zvyšuje pravděpodobnost navázání molekuly CO<sub>2</sub> na enzym Rubisco, což snižuje aktivitu oxygenázy [40, 42].

Potlačení fotorespirace je považováno za hlavní příčinu zvýšení rychlosti asimilace CO<sub>2</sub> hlavně u vyšších rostlin při krátkodobě zvýšené koncentraci CO<sub>2</sub>. Dosud nejsou známy žádné případy, kdy by docházelo k poklesu hodnoty rychlosti fotorespirace kvůli zvyšování koncentrace CO<sub>2</sub> [29, 42].

Zvyšování koncentrace CO<sub>2</sub> má velký dopad také na vodivost průduchů, kdy u většiny rostlin dochází k jejich přivření [41]. S přivíráním průduchů je spojen pokles rychlosti transpirace. Mechanismus, ale zatím není tak dobře popsán jako u fotosyntézy a fotorespirace. Zvýšená účinnost využití vody a pokles rychlosti transpirace rostlin mění obsah vody v půdě a má za následek i změnu energetické bilance rostlin. Energie se snižuje na úkor latentního tepla a zvyšuje se výdej tepla vedením do okolního vzduchu, což zesiluje účinky oteplování planety [29].

Rychlost dýchání je oproti čisté fotosyntéze relativně malá. Tento proces významně ovlivňuje celkovou bilanci uhlíku v rostlině. Dýchání probíhá ve dne i v noci. Nejvíce se spojuje s růstovým dýcháním, tedy syntézou nových struktur rostliny. Rozdělujeme dva vlivy zvýšené koncentrace CO<sub>2</sub> na rychlost mitochondriálního dýchání. První vliv je přímý a dochází u něho k poklesu rychlosti dýchání. Druhý vliv je nepřímý a projevuje se při aklimaci rostlin dlouhodobě pěstovaných pod zvýšenou koncentrací CO<sub>2</sub> [29].

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

Pokud zvažujeme pouze změnu koncentrace CO<sub>2</sub>, jehož současná koncentrace je pro obiloviny nadprůměrná a mohla by mít vliv na růst biomasy a výnos zrna. Přímý vliv na pšenici zvýšenou koncentrací CO<sub>2</sub> je závislý na dostupnosti dalších nezbytných faktorů, jako je vhodná teplota, světlo, dostatek minerální výživy a vody [1, 43].

Tabulka 3 ukazuje zásadní účinky při zvýšené koncentraci CO<sub>2</sub> na pšenici

Tabulka 3: Charakteristika výnosových prvků a dalších složek v době plné zralosti ozimé pšenice obecné (*Triticum aestivum*) pěstované při normální a zvýšené koncentraci CO<sub>2</sub> [44].

| PARAMETR                                   | 374 μmol (CO <sub>2</sub> ) mol <sup>-1</sup> | 706 μmol (CO <sub>2</sub> ) mol <sup>-1</sup> |
|--|---|---|
| Celková biomasa (gm <sup>-2</sup> )        | 2302  | 2709  |
| Výnos zrna (gm <sup>-2</sup> )             | 1009  | 1206  |
| Sklizňový index                            | 0,437   | 0,443   |
| Hmotnost sušiny stébla (gm <sup>-2</sup> ) | 579   | 678   |
| Hmotnost sušiny listu (gm <sup>-2</sup> )  | 362   | 409   |
| Počet klasů (m <sup>-2</sup> )             | 669   | 756   |
| Počet obilek v klasu                       | 34,3  | 35,5  |
| Hmotnost obilky (mg)                       | 40,8  | 42  |

Již bylo sledováno několik přímých účinků zvýšené koncentrace CO<sub>2</sub> na pšenici. Především se při experimentech využívá systém FACE (Free Air CO<sub>2</sub> Enrichment). První je vliv hustoty porostu, kdy bylo prokázáno že se produkce sušiny u řídkého porostu zvýšila 1,45krát, a v hustém porostu 1,50krát, kdy mechanismus byl odlišný. V řídkém porostu nastalo zvětšení plochy listů a zvýšení čistého výkonu asimilace. U hustého porostu došlo k zvětšení pokryvnosti listoví, ale nedošlo ke změně rychlosti fotosyntézy. To znamená, že díky zvětšení pokryvnosti listoví byl hustý porost hlavním faktorem při zvýšené koncentraci CO<sub>2</sub> a projevil se zvýšením produkce sušiny [29].

Dalším sledovaným vlivem je u pšenice rozdíl mezi kultivary při zvýšené koncentraci CO<sub>2</sub>. Rozdíly mezi dvěma kultivary byly prokázány pouze v počátku vegetace. Nakonec byla reakce na zvýšenou koncentraci CO<sub>2</sub> v podstatě stejná, a to intenzivnější odnožování a větší hustota porostu. Díky vyšší koncentraci CO<sub>2</sub> došlo hlavně k urychlení vývoje rostlin [46].

Rozdíl mezi kultivary byl sledován dvěma studiemi. V roce 1997 sledovali Batts et al.[45] měnící se vývoj a fotosyntetické charakteristiky porostů dvou kultivarů pšenice při zvýšené koncentraci CO<sub>2</sub>. U obou kultivarů docházelo k rozdílným stupňům odnožování při vývoji. Bylo zjištěno, že rozdíly mezi kultivary byly pouze na počátku vegetace. Později byla reakce na zvýšenou koncentraci CO<sub>2</sub> totožná. Zvýšená koncentrace CO<sub>2</sub> u pšenice vyvolávala intenzivnější odnožování, což se projevilo na hustotě porostu a absorpci záření. Manderscheid a Weigel [46] porovnávali účinek zvýšené koncentrace CO<sub>2</sub> v atmosféře na fotosyntézu, fyziologické vlastnosti a růst starších a novějších kultivarů jarní pšenice obecné. Celkem porovnávali 6 kultivarů. V jejich práci nebyl zjištěn vliv na rychlost fotosyntézy, ani na obsah bílkovin nebo obsah chlorofylu v listech. Při pokusu byl ale zjištěn nárůst plochy listů a také to mělo pozitivní vliv na hmotnost sušiny starších kultivarů. U obilek došlo k navýšení hmotnosti o 46 %, naopak u nových kultivarů činilo navýšení hmotnosti pouze o 28 % [29].

Při hnojení dochází ke zvýšení hmotnosti sušiny nadzemních orgánů. Pokud rostlina není hnojena dochází ke snížení hmotnosti sušiny. Celkově by měla zvýšená koncentrace CO<sub>2</sub> snižovat obsah minerálních živin v rostlinách pěstovaných při zvýšené koncentraci CO<sub>2</sub>. Tento pozitivní vliv CO<sub>2</sub> silně klesá při nedostatku minerálních živin, zejména fosforu [29].

U pšenice je mnoho faktorů, které ovlivňují její růst a výživové hodnoty. Jedná se nejvíce o teplotu a dostatek vody. Dále by měla být rostlina dostatečně hnojena dusíkem, fosforem a draslíkem. Tím lze zajistit lepší výnos zrn a vyšší kvalitu [29].

### 3 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

#### 3.1 Materiál

Vzorky byly získány z Experimentální stanice Centra výzkumu globální změny AV ČR. Stanice se nachází ve východní části Českomoravské vrchoviny v nadmořské výšce 590 m v Domanínku u Bystřice nad Pernštejnem. Tato oblast je charakterizována průměrným úhrnem srážek okolo 609 mm a průměrnou teplotou 7,2 °C.

Na stanici je 24 komor (obrázek 6), tvar komory je šestiúhelníkový, jeho opsaná kružnice má průměr 4 m a výška komory je 2 m. Srážky reguluje strop pomocí sklápěcích lamel. Ventilačním systémem je do obvodu komory vháněn vzduch s normální (AC) nebo zvýšenou (EC) koncentrací CO<sub>2</sub> (obrázek 5).

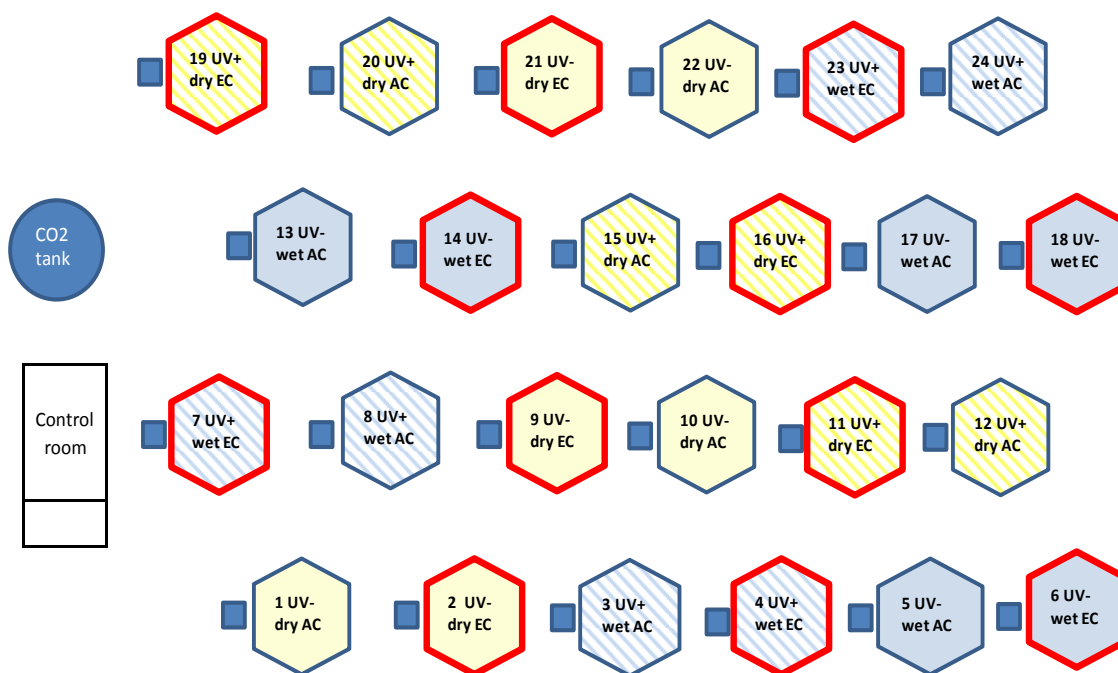
Uvnitř komory byla plocha rozdělena na polovinu, přičemž jedna z nich byla hnojena dávkou dusíku 200 kg·ha<sup>-1</sup> (N<sup>+</sup>). Druhá půlka hnojena nebyla (N<sup>-</sup>).

V komorách EC byla zvýšená koncentrace CO<sub>2</sub> (700 ppm), v komorách AC byla koncentrace CO<sub>2</sub> normální (400 ppm).

Pro experiment byly použity dvě odrůdy pšenice ozimé: Avenue (raná odrůda) a Tobak (pozdní odrůda).



Obrázek 5: Kultivační komora na experimentální stanici v Domanínku u Bystřice nad Pernštejnem. Obrázek poskytl Ústav pro výzkum globální změny AV ČR.



Obrázek 6: Ukázka rozmístění a nastavení komor v jednom z experimentů na experimentální stanici v Domanínku u Bystřice nad Pernštejnem. Obrázek poskytl Ústav pro výzkum globální změny AV ČR. Každá komora má určité nastavení podmínek pro růst rostlin: EC zvýšená koncentrace CO<sub>2</sub> (700 ppm/na mol vzduchu), AC normální koncentrace CO<sub>2</sub> (400 ppm/na mol vzduchu), DRY – sucho v průběhu vegetační sezóny), WET vlhko– zavlažování, UV odstíněné UV záření, UV<sup>+</sup> normální UV záření

## 3.2 Metody

### 3.2.1 Stanovení celkového dusíku podle Kjeldahla

Do mineralizačních trubic bylo odváženo po 1 g vzorku pšeničné mouky s přesností na čtyři desetinná místa. Potom bylo ke každému vzorku přidáno 10 ml koncentrované kyseliny sírové a 2 g Weiningerova katalyzátoru (90 g síranu sodného, 7 g síranu rtuťnatého, 1,5 g síranu měďnatého a 1,5 g selenu). Směs byla mineralizována v přístroji Kjeldahltherm celkem 2 hodiny. Destilace byla provedena na přístroji Vapodest, uvolněný amoniak byl jímán do 25 ml kyseliny sírové ( $c = 0,05$  mol/l). K indikaci konce titrace byl použit indikátor Tashiro.

#### Výpočet:

Hmotnostní zlomek celkového dusíku ve vzorku  $w_N$  se vypočítá podle vzorce:

$$w_N = \frac{2 \cdot (c_{H_2SO_4} \cdot V_{H_2SO_4} - \frac{c_{NaOH} \cdot V_{NaOH}}{2}) \cdot M_N}{m_{vz}}, \quad (1)$$

kde  $c_{H_2SO_4}$  je koncentrace kyseliny sírové použité při titraci,  $V_{H_2SO_4}$  je objem kyseliny sírové použité při titraci.  $c_{NaOH}$  je koncentrace použitého roztoku hydroxidu sodného a jeho použitý



objem  $V_{NaOH}$ .  $M_N$  je označení pro molární hmotnost dusíku a  $m_{vz}$  je hmotnost navážené mouky.

Obsah dusíku se přepočítal na obsah hrubé bílkoviny v mouce vynásobením faktorem 5,70.

### 3.2.2 Stanovení obsahu mokrého lepku

3 g vzorku mouky byly promíchány s 1,5 ml roztoku chloridu sodného o koncentraci  $20 \text{ g} \cdot \text{l}^{-1}$ . Bylo vypracováno těsto do tvaru kuličky, které se nechalo 30 min pod hodinovým sklíčkem odležet. Poté byla kulička vypírána tenkým proudem roztoku NaCl. Vypírání bylo ukončeno po negativní zkoušce na škrob u vymačkané vody z kuličky. Přebytečná voda byla vymačkána na skleněné desce, lepek byl zvážen a vložen do sušárny na  $60 \text{ }^\circ\text{C}$  na půl hodinu a poté na  $105 \text{ }^\circ\text{C}$  do konstantní hmotnosti.

#### Výpočet:

Obsah mokrého lepku ( $X$ ) v hmotnostních procentech v sušině výrobku se vypočte podle vztahu:

$$X = \frac{m_{nav}}{m_{ML}} \cdot 100 \%, \quad (2)$$

kde  $m_{ML}$  je hmotnost mokrého lepku v gramech a  $m_{nav}$  je hmotnost navážky.

### 3.2.3 Extrakce gliadinů a gluteninů

*Příprava roztoku A:* Byl smíchán isopropanol s destilovanou vodou v poměru 1:1 do 100 ml odměrné baňky.

*Příprava roztoku B:* Bylo rozpuštěno 2,423 g TRIS ve 200 ml 50 % vodného roztoku isopropanolu, pH bylo upraveno na 8,0 kyselinou chlorovodíkovou. Tímto roztokem bylo převedeno 0,25 g DTT do odměrné baňky na 25 ml a doplněno po rysku. Roztok je nutné připravit čerstvý a krok s přidáním DTT musí být proveden těsně před použitím extrakčního roztoku.

*Extrakce gliadinů:* Do mikrozkuhavky bylo odváženo 0,02 g mouky. Byl přidán 1 ml roztoku A a gliadiny byly extrahovány 30 min v termobloku při  $65 \text{ }^\circ\text{C}$ . Každých 10 min byl vzorek vortexován, usazená mouka byla rozmíchána špachtlí. Po 30 min byl vzorek zcentrifugován při 10 000 g 1 min, supernatant byl odlit a celý postup se opakoval. Nakonec se usazenina doplnila 0,5 ml roztoku A, roztok se centrifugoval 5 min a supernatant byl znovu odlit. Sraženina po extrakci gliadinů se vysušila a zvážila.

*Extrakce gluteninů:* Ke sraženině získané extrakcí gliadinů byl přidán 1 ml roztoku B s čerstvě přidaným DTT, tak aby koncentrace DTT byla 1 %. Mikrozkuhavka byla 30 min při  $65 \text{ }^\circ\text{C}$  udržována v termobloku. Každých 10 min byl vzorek vortexován. Po 30 min byl vzorek zcentrifugován 5 min při 10 000 g. Supernatant byl odlit a ke sraženině byl opět přidán 1 ml roztoku B a postup se opakoval. Nakonec bylo přidáno 0,5 ml roztoku B vzorek byl zcentrifugován při 10 000 g po dobu 5 min. Sraženina po extrakci gliadinů a gluteninů se zvážila.

**Výpočty:**

Procentuální obsah gliadinů ( $m_{glia\%}$ ) a gluteninů ( $m_{glu\%}$ ):

$$m_{glia\%} = \frac{m_{glia}}{m_{nav}} \cdot 100 \%, \quad (3)$$

kde  $m_{glia}$  je hmotnost vyextrahovaných gliadinů a  $m_{nav}$  je hmotnost navážky suchého lepku:

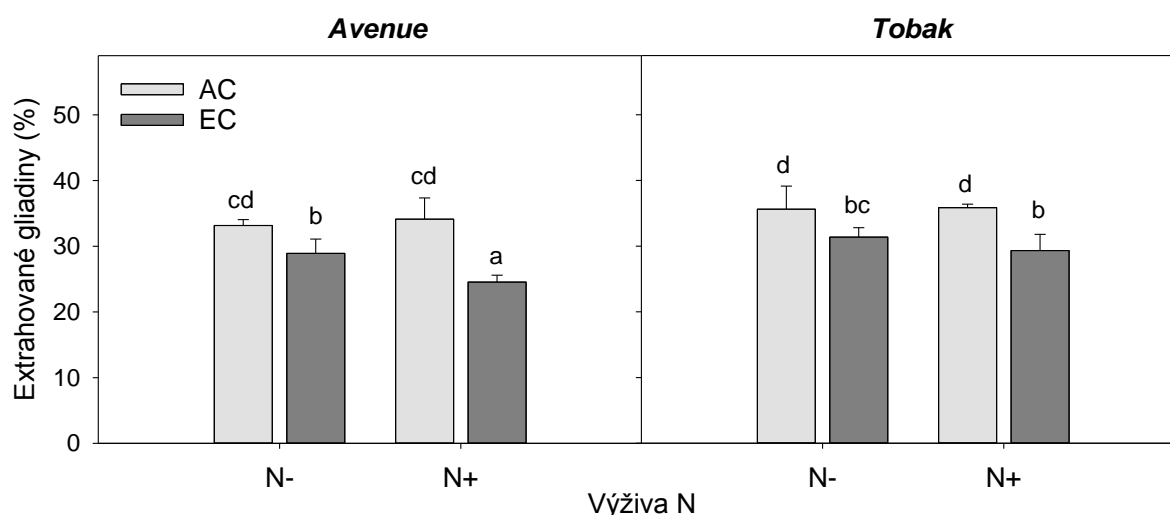
$$m_{glu\%} = \frac{m_{glu}}{m_{nav}} \cdot 100 \%, \quad (4)$$

kde  $m_{glu}$  je hmotnost vyextrahovaných gluteninů a  $m_{nav}$  je hmotnost navážky suchého lepku.

**3.2.4 Statistické zpracování výsledků**

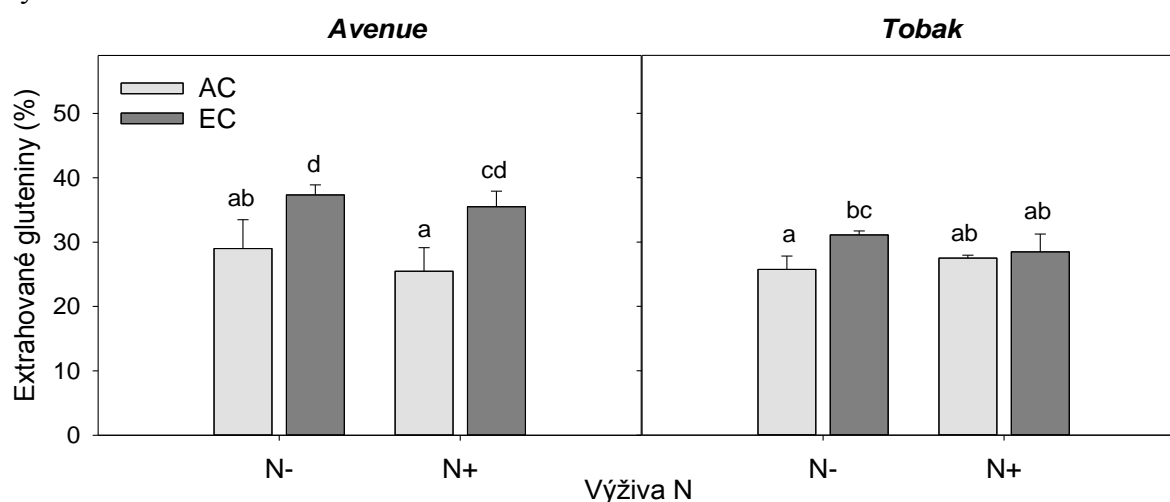
Každé měření bylo provedeno třikrát ( $n = 3$ ), pouze stanovení mokrého lepku bylo provedeno jenom jedenkrát z důvodu malého množství vzorku. Ze tří stanovení byl vypočítán aritmetický průměr a směrodatná odchylka. Průkaznost rozdílů mezi jednotlivými variantami, byla testována analýzou variance (ANOVA) a využitím Tukeyova testu při hladině významnosti  $p=0,05$ .

## 4 VÝSLEDKY



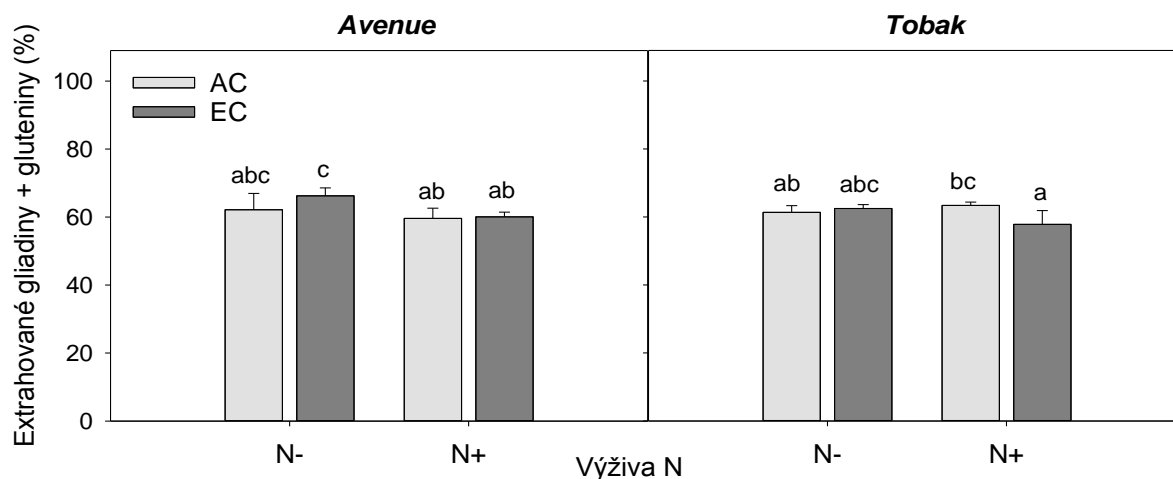
Obrázek 7: Závislosti procentuálního zastoupení gliadinů v mouce na výživě dusíkem a koncentraci CO<sub>2</sub>. AC je normální koncentrace CO<sub>2</sub> (400 ppm), EC je zvýšená koncentrace CO<sub>2</sub> (700 ppm). Sloupce znázorňují aritmetický průměr a chybové úsečky směrodatnou odchylku (SD) ze tří opakování. Malými písmeny jsou indikovány homogenní skupiny určující průkaznost mezi jednotlivými variantami, vyhodnocené následným testováním v rámci analýzy variance (ANOVA) a využitím Tukeyova testu při hladině významnosti  $p=0,05$ .

Z obrázku 7 je zřejmé, že při zvýšené koncentraci CO<sub>2</sub> klesal obsah gliadinů u obou odrůd. To je ve shodě s naší hypotézou, že při vyšší koncentraci CO<sub>2</sub> rostlina syntetizuje více škrobu, což vede k relativnímu snížení koncentrace proteinů v zrně. Naproti tomu rozdíl mezi hnojenou a nehnojenou variantou byl významný pouze u odrůdy Avenue, a je menší, než bychom očekávali.



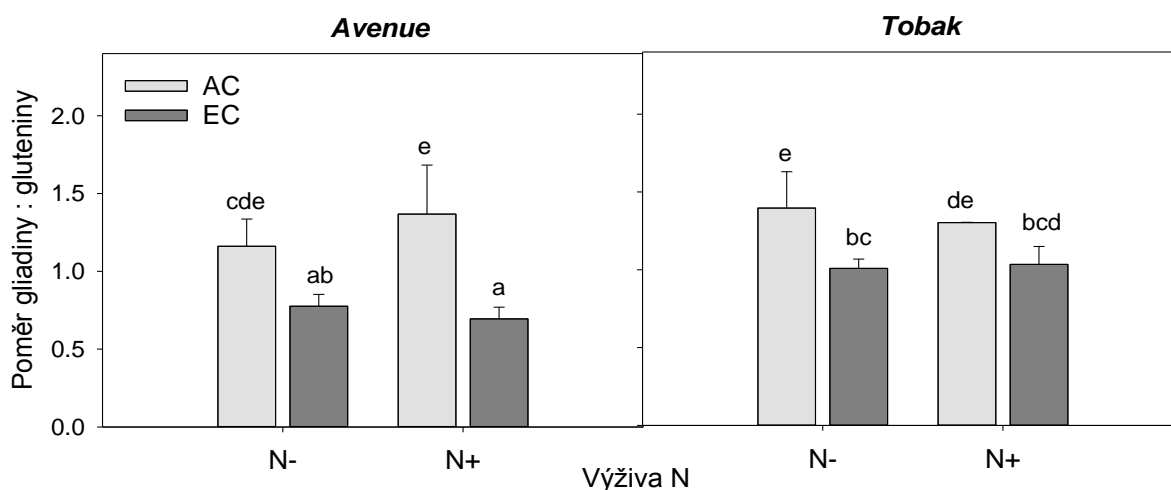
Obrázek 8: Závislost procentuálního zastoupení extrahovaných gluteninů na výživě dusíkem a koncentraci CO<sub>2</sub>. AC je normální koncentrace CO<sub>2</sub> (400 ppm), EC je zvýšená koncentrace CO<sub>2</sub> (700 ppm). Sloupce znázorňují aritmetický průměr a chybové úsečky směrodatnou odchylku (SD) ze tří opakování. Malými písmeny jsou indikovány homogenní skupiny určující průkaznost mezi jednotlivými variantami, vyhodnocené následným testováním v rámci analýzy variance (ANOVA) a využitím Tukeyova testu při hladině významnosti  $p=0,05$ .

Obsah gluteninů u odrůdy Avenue byl významně vyšší při zvýšené koncentraci CO<sub>2</sub> vzhledem k normální koncentraci (obrázek 8). Rozdíl mezi odpovědí gliadinů a gluteninů je natolik významný, že za podmínek vyšší koncentrace CO<sub>2</sub> lze předpokládat markantní změnu v reologických vlastnostech těsta. Rozdíly v obsahu gluteninů mezi hnojenou a nehnojenou variantou nejsou statisticky významné. U Tobaku je obsah gluteninů také vyšší při zvýšené koncentraci CO<sub>2</sub>, ale ne tak významně.



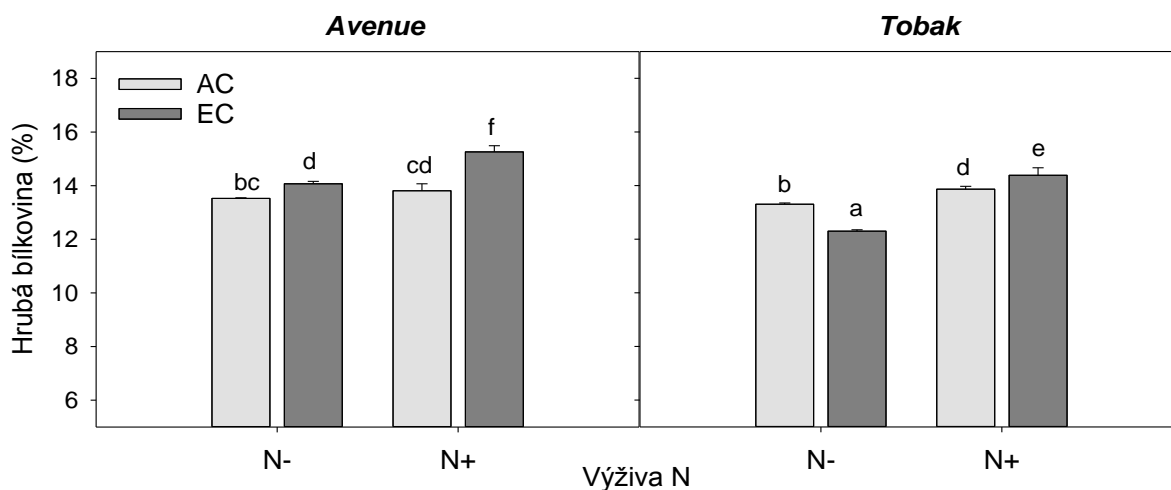
Obrázek 9: Závislost extrahovaných gliadinů a gluteninů na výživě dusíkem a zvýšené koncentraci CO<sub>2</sub>. AC je normální koncentrace CO<sub>2</sub> (400 ppm), EC je zvýšená koncentrace CO<sub>2</sub> (700 ppm). Sloupce znázorňují aritmetický průměr a chybové úsečky směrodatnou odchylku (SD) ze tří opakování. Malými písmeny jsou indikovány homogenní skupiny určující průkaznost mezi jednotlivými variantami, vyhodnocené následným testováním v rámci analýzy variance (ANOVA) a využitím Tukeyova testu při hladině významnosti  $p=0,05$ .

Z obrázku 9 vyplývá, že celkový obsah gliadinů a gluteninů se nezměnil ani vlivem zvýšené koncentrace CO<sub>2</sub>, ani při hnojení dusíkem.



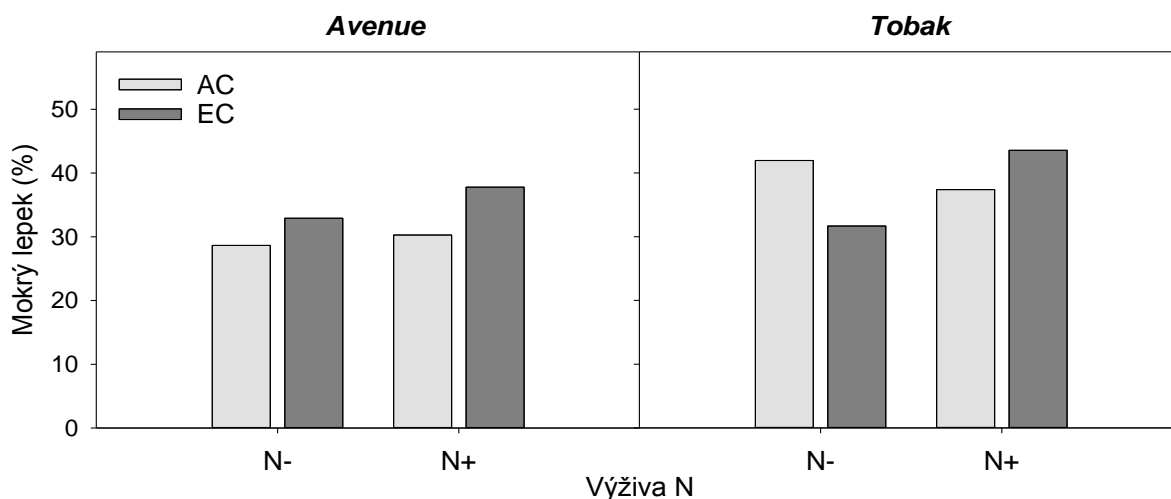
Obrázek 10: Závislost poměru extrahovaných gliadinů: gliadinům na výživě dusíkem a zvýšené koncentraci CO<sub>2</sub>. AC je normální koncentrace CO<sub>2</sub> (400 ppm), EC je zvýšená koncentrace CO<sub>2</sub> (700 ppm). Sloupce znázorňují aritmetický průměr a chybové úsečky směrodatnou odchylku (SD) ze tří opakování. Malými písmeny jsou indikovány homogenní skupiny určující průkaznost mezi jednotlivými variantami, vyhodnocené následným testováním v rámci analýzy variance (ANOVA) a využitím Tukeyova testu při hladině významnosti  $p=0,05$ .

Obrázek 10 ukazuje poměr obsahu gliadinů k obsahu gluteninů. Tento parametr je v korelaci s obrázky 7 a 8. Při zvýšené koncentraci CO<sub>2</sub> u obou odrůd markantně poklesl poměr gliadinů ku gluteninům, což odpovídá zvýšení obsahu gluteninů vzhledem ke gliadinům. Dusíkaté hnojení se na poměru gliadiny: gluteniny nijak neprojevilo.



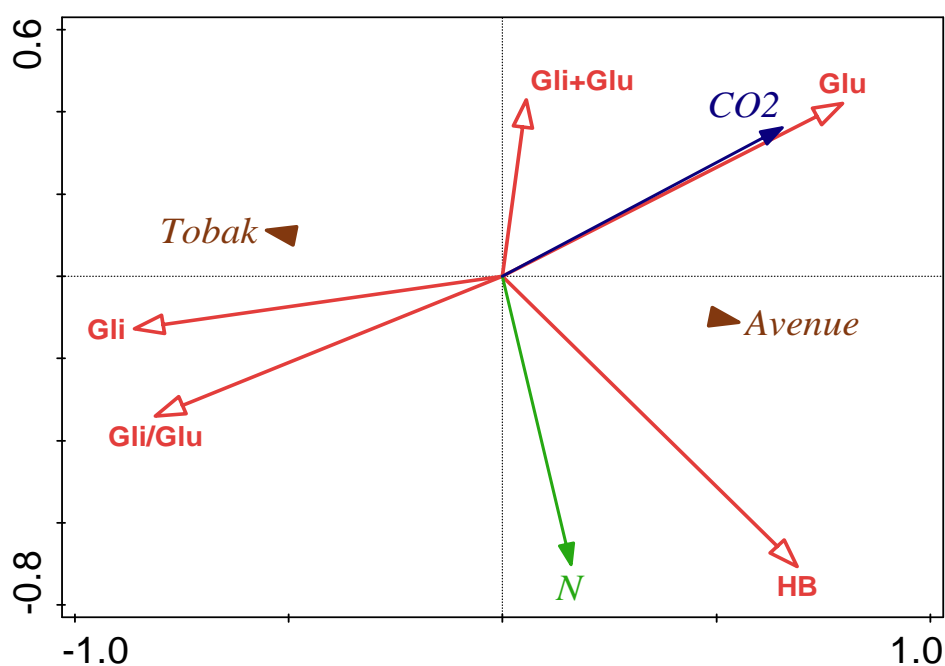
Obrázek 11: Závislost obsahu hrubé bílkoviny na výživě dusíkem a zvýšené koncentraci CO<sub>2</sub>.

Obsah hrubé bílkoviny (obrázek 11) byl v EC významně vyšší jak u hnojené, tak u nehnojené varianty.



Obrázek 12: Závislost obsahu mokrého lepku na výživě dusíkem a zvýšené koncentraci  $CO_2$ .

Obsah mokrého lepku nelze statisticky hodnotit, neboť stanovení, vzhledem k malému množství vzorku, bylo provedeno pouze jednou. Rozdíly mezi tímto parametrem a obsahem extrahovaných gliadinů a gluteninů (obrázek 9) lze vysvětlit nedokonalou extrakcí zejména gluteninů, a také tím, že hrubá bílkovina zahrnuje rovněž albuminy a globuliny, jakož i volné aminokyseliny.



Obrázek 13: Biplot graf RDA analýzy vlivu genotypu rané a pozdní pšenice, koncentrace  $CO_2$  a vliv hnojení na obsah jednotlivých frakcí gliadinů a gluteninů, obsah hrubé bílkoviny.

Pomocí redundanční analýzy (RDA), což je forma vícerozměrné analýzy hlavních komponent PCA (principal component analysis) byl získán graf (viz obrázek 13), který ukazuje vliv sledovaných faktorů (modré šipky) na jednotlivé frakce gliadinových a gluteninových proteinů (červené šipky) a také dopad hnojení na celkový výsledek.

Stejný či podobný směr červených a modrých šipek znamená pozitivní vliv faktoru na danou bílkovinu. Opačný směr šipek nám říká, že se jedná o negativní vliv. Obrázek 13 tedy ukazuje, že koncentrace CO<sub>2</sub> silně pozitivně ovlivňuje množství gluteninové frakce v pšenici. Naopak negativně ovlivňuje gliadinovou frakci. Pokud šipky svírají pravý úhel, znamená to, že daný faktor neovlivňuje množství pozorované frakce.

Hnojení dusíkem tedy v našem experimentu neovlivnilo obsah gluteninů ani gliadinů, kdežto koncentrace CO<sub>2</sub> měla vliv na obsah hrubé bílkoviny. Poměr gliadinů a gluteninů je negativně ovlivňován koncentrací oxidu uhličitého. Obsah hrubé bílkoviny koreluje pozitivně s hnojením dusíkem. Nejdůležitější závěr z toho grafu je, že zvýšená koncentrace CO<sub>2</sub> výrazně mění poměr obsahu gliadinů ku gluteninům a tím i vlastnosti těsta. Naproti tomu hnojení dusíkem podle našich výsledků nemá na poměr gliadinů ku gluteninům významný vliv.

## 5 DISKUZE

V experimentu byla pšenice pěstována v komorách jednak při normální (AC = 400 ppm), jednak při zvýšené (EC = 700 ppm) koncentraci oxidu uhličitého. Polovina výsevu v komoře byla hnojena dusíkem v dávce  $200 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ N}$ , druhá polovina byla nehnojená ( $0 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ ).

Dostupné výsledky ukazují, že kromě genotypu, půdních podmínek a použité agrotechniky mají na kvalitu zrna pšenice významný vliv povětrnostní podmínky během vegetace, jejich nástup, průběh, doba působení, intenzita, frekvence, apod [1, 47].

Obecně se má za to, že vyšší koncentrace oxidu uhličitého je spojena se zvýšením obsahu uhlíku v rostlinných pletivech a vede ke snížení obsahu dusíku, a tedy i celkového obsahu bílkovin [1]. Studie zabývající se obsahem bílkovin u pšenice prokázaly pokles obsahu bílkovin až o 7,4 % při zvýšené koncentraci  $\text{CO}_2$  [20]. Studie [49] uvádí pokles o 3,5 %.

Naše práce tyto výsledky nepotvrdila. S výjimkou odrůdy Tobac při EC a nehnojeném vzorku jsme při vyšší koncentraci  $\text{CO}_2$  zjistili vždy vyšší obsah hrubé bílkoviny a rovněž mokrého lepku. Také některé jiné práce [44, 54] uvádějí, že při zvýšené koncentraci  $\text{CO}_2$  nedochází ke snižování obsahu dusíku.

Studie [20, 49] a [55] uvádějí změny v poměru gliadinů vůči gluteninům. To je v souladu s výsledky naší práce. Můžeme tedy usoudit, že při zvýšené koncentraci  $\text{CO}_2$  dochází ke změnám složení lepku, což vede ke změnám v reologických vlastnostech těsta a odráží se to na kvalitě chleba.

Jiná práce uvádí, že vliv zvýšené koncentrace  $\text{CO}_2$  na funkční vlastnosti a technologické procesy je zřejmě méně výrazný, než vliv na změny celkového obsahu bílkovin [50].

Ve studii publikované Wieserem a kol. byla ozimá pšenice (*Triticum aestivum* L. cv. „Batis“) pěstována při koncentraci  $\text{CO}_2$  385  $\mu\text{L}$  a 550  $\mu\text{L}$  se dvěma různými úrovněmi hnojení dusíkem (normální dávka N: N1 00, 50% normální dávky N: N50) [38].

Zrna byla analyzována na obsah surového proteinu, jako Osborneho frakce proteinů.  $\text{CO}_2$  způsobil významné snížení surového proteinu a všech proteinových frakcí a typů s výjimkou albuminů a globulinů. Účinky byly výraznější u vzorků pšenice dodávaných s normálním množstvím dusíkatého hnojiva. Obsah surového proteinu byl snížen o 14 % (N100) a 9 % (N50), gliadiny o 20 % respektive 13 %, gluteniny o 15 % a lepek o 19 % respektive 16 %.

Podle těchto výsledků bude mít mouka z obilí s vysokým obsahem  $\text{CO}_2$  sníženou pekařskou kvalitu. To dokazuje i další studie, ve které byla jarní pšenice (*Triticum aestivum* L. cv. TRISO) pěstována po tři po sobě jdoucí sezóny v polním experimentu ve vzduchu obohaceném oxidem uhličitým (FACE), aby se prozkoumaly účinky na výnos plodiny a kvalitu zrna. Obohacení  $\text{CO}_2$  podporovalo nadzemní biomasu (+ 11,8 %) a výtěžek zrna (+ 10,4 %). Nepříznivé účinky však byly pozorovány převážně na straně kvality. Celková koncentrace bílkovin zrn se významně snížila (o 7,4 %) při zvýšeném  $\text{CO}_2$  a změnilo se složení bílkovin a aminokyselin. V souladu s poklesem koncentrace zrnových bílkovin vedlo obohacování  $\text{CO}_2$  ke snížení celkové koncentrace aminokyselin s větším snížením neesenciálních než esenciálních aminokyselin. Obsah sacharidů se výrazně zvýšil, a tak tomu bylo i u lipidů. Dále bylo pozorováno zvýšení obsahu škrobu vzhledem k lepku, což ovlivnilo



vlastnosti těsta i zrna, které jsou důležité pro výživu a zdraví spotřebitelů a pro průmyslové zpracování a uvádění na trh [51].

Ve své studii Wieser také udává, že množství a proporce typů lepkových bílkovin v zrna a mouce jsou silně ovlivněny genotypem (rozmanitostí na úrovni genomu) a hnojením. Například účinek hnojení dusíkem na gliadiny je výraznější než na gluteniny [38]. Tento parametr se u našich vzorků nijak významně neprojevil. Účinek hnojení nijak zvlášť neovlivňoval vyextrahované gliadiny ani gluteniny z našich frakcí.

Další práce [52] uvádí že při zvýšené koncentraci CO<sub>2</sub> se významně snížil obsah elementárního dusíku, bílkovin i aminokyselin. Pokles byl také sledován u glutaminu, což je nejvíce zastoupená aminokyselina v proteinech zrna.

Dijkstra a kol. [44] uvádějí, že na začátku jara (leden až duben) nebyl významný vliv koncentrace CO<sub>2</sub> na biomasu, listů a kořenů a na plochu listů. Koncentrace dusíku v listech a kořenech na jednotku suché hmotnosti se snížila a příjem N na jednotku plochy půdy se ke konci tohoto období významně snížil (o 22 %). Tyto výsledky jsou v rozporu s výsledky z konečné sklizně, kdy se výnos obilí a biomasa zvýšily o 19 % při zvýšeném CO<sub>2</sub>. Koncentrace dusíku na suchou hmotnost byla snížena o 5 %, ale příjem N na jednotku plochy půdy byl významně vyšší (+ 11 %) při zvýšené koncentraci CO<sub>2</sub>. Snížení koncentrace dusíku, zvýšení obsahu nestrukturálních sacharidů a nižší evapotranspirace naznačují, že CO<sub>2</sub> měl účinek ke konci jara, ale nikoliv na akumulaci biomasy. Rovněž ozáření i teplota ovlivňují podle [44] v reakci na CO<sub>2</sub>.

U jedné studie nedocházelo k žádným změnám obsahu dusíku při zvýšené koncentraci CO<sub>2</sub> [54].

Práce [55] ukazuje, že koncentrace celkového suchého a mokrého lepku, byly obecně sníženy kvůli zvýšenému CO<sub>2</sub>, což má negativní dopad na kvalitu zrna.

## 6 ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo sledovat a určit vliv zvýšené koncentrace oxidu uhličitého na celkový obsah dusíkatých látek, složení a obsah lepkových bílkovin u rané a pozdní odrůdy pšenice. Experiment byl postaven na dvou odrůdách pšenice – Tobak a Avenue, které byly kultivovány ve speciálních kultivačních komorách na Experimentální stanici Centra výzkumu globální změny Akademie věd ČR v Domanínku u Bystřice nad Pernštejnem.

Ve stanici bylo k dispozici 24 komor, přičemž u každé je možno regulovat srážky, koncentraci CO<sub>2</sub> a také vliv hnojení. Polovina vzorků byla kultivována v komoře se zvýšenou koncentrací CO<sub>2</sub> (EC = 700 ppm), druhá polovina při normální koncentraci CO<sub>2</sub> (AC = 400 ppm). Polovina rostlin v komoře byla hnojena dusíkem v dávce 200 kg · ha<sup>-1</sup>, druhá polovina byla nehnojena.

Při zvýšené koncentraci CO<sub>2</sub> docházelo u gliadinů ke snížení jejich obsahu. Naopak, obsah gluteninů se při zvýšené koncentraci CO<sub>2</sub> zvyšoval. K tomuto jevu docházelo s větší mírou u rané odrůdy Avenue. Tobak nebyl vůči vlivu vyšší koncentrace CO<sub>2</sub> na obsah lepkových proteinů tak citlivý. Vliv hnojení byl u obou odrůd zanedbatelný. Vliv zvýšené koncentrace CO<sub>2</sub> na celkový obsah gliadinů a gluteninů nebyl statisticky významný. V sledovaných rostlinách se tedy vlivem zvýšené koncentrace CO<sub>2</sub> změnilo chemické složení lepkových bílkovin, a nikoliv jejich celkový obsah.

Obsah hrubé bílkoviny se při zvýšené koncentraci CO<sub>2</sub> zvyšuje, přičemž toto zvýšení koreluje se zvýšením obsahu mokrého lepku. Překvapivě hnojení dusíkem nemělo na obsah hrubé bílkoviny vliv. Z hlediska obsahu hrubé bílkoviny byla citlivější na zvýšenou koncentraci CO<sub>2</sub> odrůda Avenue než odrůda Tobak.

Nejvýznamnější změnou v podmínkách vyšší koncentrace CO<sub>2</sub> je tedy nárůst obsahu gluteninů a snížení obsahu gliadinů. Tato skutečnost může mít podstatný vliv na reologické vlastnosti těsta. Tato změna je, ale silně ovlivňována dalšími parametry jako jsou doba sklizně, teplota, úhrn srážek, odrůda a také obsah minerálních látek v půdě. Při porovnání vlivu zvýšené koncentrace CO<sub>2</sub> na obě odrůdy pšenice se odolnější jeví odrůda Tobak, díky lepší odolnosti vůči stresovým podmínkám.

## 7 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] *OBILOVINY v lidské výživě*. Praha: Potravinářská komora České republiky, Česká technologická platforma pro potraviny, 2016. Publikace České technologické platformy pro potraviny. ISBN 978-80-88019-16-9.
- [2] KUNA, M., N. PROFANTOVÁ a M. BARTUŠKA. *Počátky raného středověku v Čechách: archeologický výzkum sídelní aglomerace kultury pražského typu v Roztokách = The onset of the early middle ages in Bohemia: archaeological research at a large settlement site of the Prague-type culture at Roztoky*. Praha: Archeologický ústav AV ČR, 2005. ISBN 80-86124-51-7.
- [3] *PŠENICE OBECNÁ* [online]. [cit. 2020-03-18]. Dostupné z: <http://www2.zf.jcu.cz/~moudry/databaze/Psenice.htm>
- [4] PŘÍHODA, J., M. HRUŠKOVÁ a P. SKŘIVAN. *Cereální chemie a technologie*. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2003. 202 s. ISBN 80-708-0530-7.
- [5] *ENCYCLOPAEDIA BRITANNICA* [online]. ©1996 [cit. 2017-03-26]. Dostupné z: <https://www.britannica.com/>
- [6] BELDEROK, B., J. MESDAG a D. A. DONNER. *Bread-making quality of wheat: a century of breeding in Europe*. Boston: Kluwer Academic Publishers, ©2000. ISBN 07-923-6383-3.
- [7] The chemistry and biochemistry of wheat. CAUVAIN, S. *Breadmaking: Improving Quality*. Cambridge: Woodhead Publishing Limited, ©2003, s. 31-70. ISBN 978-1-85573-553-8
- [8] SHEWRY, P. R. The HEALTHGRAIN programme opens new opportunities for improving wheat for nutrition and health. *Nutrition Bulletin* [online]. 2009, **34**(2), 225-231 [cit. 2017-03-27]. DOI: 10.1111/j.1467-3010.2009.01747.x. ISSN 14719827.
- [9] *PŠENICE OBECNÁ* [online]. [cit. 2020-03-18]. Dostupné z: <https://cit.vfu.cz/vegetabilie/plodiny/czech/psenice.htm>
- [10] *AVENUE* [online]. [cit. 2020-03-04]. Dostupné z: <https://lc.lgseeds.cz/produkty/obilniny/psenice-ozima/avenue/>
- [11] *TOBAK* [online]. [cit. 2020-03-17]. Dostupné z: <https://www.saaten-union.cz/index.cfm?m=varieties&p=48,1196,html>
- [12] WEEGELS, P.L., R.J. HAMER a J.D. SCHOFIELD. Functional Properties of Wheat Glutenin. *Journal of Cereal Science* [online]. 1996, **23**(1), 1-17 [cit. 2020-03-17]. DOI: 10.1006/jcrs.1996.0001. ISSN 07335210.

- [13] Častý příjem a další obtíže mohou způsobovat potravinové alergie na lepek, laktózu či fruktózu [online]. [cit. 2020-05-04]. Dostupné z: <https://www.hanalang.cz/casty-prujem-obtize-potravinove-alergie-lepek-laktoza-fruktoza/>
- [14] WIESER, H. Chemistry of gluten proteins. *Food Microbiology* [online]. 2007, **24**(2), 115-119 [cit. 2020-02-13]. DOI: 10.1016/j.fm.2006.07.004. ISSN 07400020.
- [15] OSBORNE, T. B. *The vegetable proteins*. New York etc. Longmans, Green, 1909. Dostupné také z: <http://hdl.handle.net/2027/uc1.%24b35036>
- [16] TEGGE, G. Y. Pomeranz (Ed.): *Wheat, Chemistry and Technology*. 3rd Edition. Vol I and II. American Association of Cereal Chemists (AACC, 3340 Pilot Knob Road, St. Paul, MN 55121, U.S.A.), 1988. Vol. I. *Starch – Stärke* [online]. Weinheim: WILEY-VCH Verlag, 1990, **42**(6), 243-243 [cit. 2020-02-27]. DOI: 10.1002/star.19900420612. ISSN 0038-9056.
- [17] GROSCH, W a H WIESER. Redox Reactions in Wheat Dough as Affected by Ascorbic Acid. *Journal of Cereal Science* [online]. Elsevier, 1999, **29**(1), 1-16 [cit. 2020-02-27]. DOI: 10.1006/jcrs.1998.0218. ISSN 0733-5210.
- [18] SHEWRY, P.R a A.S TATHAM. Disulphide Bonds in Wheat Gluten Proteins. *Journal of Cereal Science* [online]. Elsevier, 1997, **25**(3), 207-227 [cit. 2020-02-27]. DOI: 10.1006/jcrs.1996.0100. ISSN 0733-5210.
- [19] WIESER, H. The use of redox agents. *Bread Making* [online]. Elsevier, 2003, 2003, s. 424-446 [cit. 2020-02-27]. DOI: 10.1533/9781855737129.2.424. ISBN 9781855735538.
- [20] WIESER, H a R KIEFFER. Correlations of the Amount of Gluten Protein Types to the Technological Properties of Wheat Flours Determined on a Micro-scale. *Journal of Cereal Science* [online]. Elsevier, 2001, **34**(1), 19-27 [cit. 2020-02-27]. DOI: 10.1006/jcrs.2000.0385. ISSN 0733-5210.
- [21] BELTON, P.S. C. Wrigley F. Bekes W. Bushuk Gliadin and Glutenin: The Unique Balance of Wheat Quality 2005 AACC International Press St. Paul, MN, USA 480pp., \$129, ISBN. *Journal of Cereal Science* [online]. Elsevier, 2007, **45**(2), 121-121 [cit. 2020-02-27]. DOI: 10.1016/j.jcs.2006.11.003. ISSN 0733-5210.
- [22] *Přehled charakteristik jakostních ukazatelů obilovin* [online]. [cit. 2020-06-11]. Dostupné z: [http://agrobiologie.cz/SMEP3/Pestovani\\_rostlin\\_cviceni\\_Obilninny/etext.czu.cz/php/skripta/kapitola1d8b.html?titul\\_key=81&idkapitola=15](http://agrobiologie.cz/SMEP3/Pestovani_rostlin_cviceni_Obilninny/etext.czu.cz/php/skripta/kapitola1d8b.html?titul_key=81&idkapitola=15)

- [23] *NIR: k analýze obilovin a píce* [online]. [cit. 2020-06-11]. Dostupné z: <https://www.uroda.cz/nir-k-analyze-obilovin-a-picin/>
- [24] *Kvalita obilnin* [online]. [cit. 2020-06-11]. Dostupné z: <https://www.uroda.cz/kvalita-obilnin/>
- [25] *Kvalita pšenice a jak ji zjistíme?* [online]. Praha: Selgen, 2017 [cit. 2020-06-25]. Dostupné z: <http://selgen.cz/sprava/wp-content/uploads/2012/02/Kvalita-p%C5%A1enice-a-jak-ji-zjist%C3%ADme.doc.pdf>
- [26] *ČSN ISO 3093* [online]. [cit. 2020-06-25]. Dostupné z: <http://www.technicke-normy-csn.cz/technicke-normy/32128-nahrady-461018-csn-iso-3093.html>
- [27] *ČSN 46 1011-5* [online]. [cit. 2020-06-25]. Dostupné z: <http://www.technicke-normy-csn.cz/technicke-normy/28957-nahrady-461011-csn-46-1011-5.html>
- [28] KRÄUCHI, N., E. POST, P. CONVEY, et al. Potential impacts of a climate change on forest ecosystems: Observations, Modeling, and Impacts. *Forest Pathology* [online]. 1993, **23**(1), 28-50 [cit. 2017-03-07]. DOI: 10.1111/j.1439-0329.1993.tb00804.x. ISBN 10.1126/science.289.5487.2068. ISSN 1437-4781.
- [29] NÁTR, Lubomír. *Koncentrace CO<sub>2</sub> a rostliny*. Praha: ISV, 2000. Přírodní vědy (ISV). ISBN 80-85866-62-5.
- [30] MAHLMAN, J a J MAHLMAN. Uncertainties in projections of human-caused climate warming. *Science (Washington)* [online]. 1997, **278**(5342), 1416-1417 [cit. 2020-06-24]. DOI: 10.1126/science.278.5342.1416. ISSN 0036-8075.
- [31] MCELROY, M B, R J SALAWITCH a M B MCELROY. Changing composition of the global stratosphere. *Science (New York, N.Y.)* [online]. 1989, **243**(4892), 763-770 [cit. 2020-06-24]. DOI: 10.1126/science.243.4892.763. ISSN 0036-8075.
- [32] OKONIEWSKA, M. a D. SZUMIŃSKA. Changes in Potential Evaporation in the Years 1952–2018 in North-Western Poland in Terms of the Impact of Climatic Changes on Hydrological and Hydrochemical Conditions. *Water* [online]. Basel: MDPI, 2020, **12**(3), 877 [cit. 2020-06-25]. DOI: 10.3390/w12030877.
- [33] EASTERLING, D. R., S. C. PIPER, T. P. WHORF, et al. Climate Extremes: Observations, Modeling, and Impacts. *Science* [online]. 1988, **240**(4850), 293-299 [cit. 2017-03-07]. DOI: 10.1126/science.289.5487.2068. ISSN 0036-8075.
- [34] *Global Temperature* [online]. [cit. 2020-06-24]. Dostupné z: <https://climate.nasa.gov/vital-signs/global-temperature/>

- [35] *Greenhouse gas levels in atmosphere reach new record* [online]. [cit. 2020-04-06]. Dostupné z: <https://public.wmo.int/en/media/press-release/greenhouse-gas-levels-atmosphere-reach-new-record>
- [36] *Carbon Dioxide* [online]. [cit. 2020-06-24]. Dostupné z: <https://climate.nasa.gov/vital-signs/carbon-dioxide/>
- [37] REDDY, K. R. a H. F. HODGES. *Climate change and global crop productivity*. New York, NY: CABI Pub., c2000. ISBN 978-0-85199-439-0.
- [38] WIESER, H., R. MANDERSCHIED, M. ERBS a H.-J. WEIGEL. Effects of Elevated Atmospheric CO<sub>2</sub> Concentrations on the Quantitative Protein Composition of Wheat Grain. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* [online]. 2008, **56**(15), 6531-6535 [cit. 2020-03-17]. DOI: 10.1021/jf8008603. ISSN 0021-8561.
- [39] COTRUFO, M. Francesca, P. INESON a A. SCOTT. Elevated CO<sub>2</sub> reduces the nitrogen concentration of plant tissues. *Global Change Biology* [online]. 2008, **4**(1), 43-54 [cit. 2020-03-17]. DOI: 10.1046/j.1365-2486.1998.00101.x. ISSN 1354-1013
- [40] MAREK, M. V. *Uhlík v ekosystémech České republiky v měnícím se klimatu*. Praha: Academia, 2011, 253 s. ISBN 978-80-904351-1-7
- [41] DRAKE, B. G., Miquel A. GONZÁLEZ-MELER a S. P. LONG. MORE EFFICIENT PLANTS: A Consequence of Rising Atmospheric CO<sub>2</sub> ? *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology* [online]. 1997, **48**(1), 609-639 [cit. 2020-06-14]. DOI: 10.1146/annurev.arplant.48.1.609. ISSN 1040-2519.
- [42] Urban, O. (2003). Physiological Impacts of Elevated CO<sub>2</sub> Concentration Ranging from Molecular to Whole Plant Responses. *Photosynthetica*, **41**(1), 9-20. doi: 10.1023/A:1025891825050.
- [43] RIZHISKY, L., H. LIANG a R. MITTLER. The combined effect of drought stress and heat shock on gene expression in tobacco. *Plant Physiology* [online]. Rockville: American Society of Plant Biologists, 2002, **130**(3), 1143-51 [cit. 2020-03-17]. DOI: 10.1104/pp.006858. ISSN 00320889.
- [44] DIJKSTRA, P., AD. H. M. C. SCHAPENDONK, KO. GROENWOLD, M. JANSEN a S. C. VAN DE GEIJN. Seasonal changes in the response of winter wheat to elevated atmospheric CO<sub>2</sub> concentration grown in Open-Top Chambers and field tracking enclosures. *Global Change Biology* [online]. 2001, **5**(5), 563-576 [cit. 2020-06-08]. DOI: 10.1046/j.1365-2486.1999.00249.x. ISSN 1354-1013
- [45] BATTS, G.R., J.I.L MORISON, R.H ELLIS, P HADLEY a T.R WHEELER. Effects of CO<sub>2</sub> and temperature on growth and yield of crops of winter wheat over four seasons.

*European Journal of Agronomy* [online]. 1997, **7**(1-3), 43-52 [cit. 2020-07-03]. DOI: 10.1016/S1161-0301(97)00022-1. ISSN 11610301.

[46] MANDERSCHEID, R. a H.J. WEIGEL. Photosynthetic and growth responses of old and modern spring wheat cultivars to atmospheric CO<sub>2</sub> enrichment. *Agriculture, Ecosystems & Environment* [online]. 1997, **64**(1), 65-73 [cit. 2020-06-15]. DOI: 10.1016/S0167-8809(97)00020-0. ISSN 01678809.

[47] EWERT, F., D. RODRIGUEZ, P. JAMIESON, et al. Effects of elevated CO<sub>2</sub> and drought on wheat: testing crop simulation models for different experimental and climatic conditions. *Agriculture, Ecosystems & Environment* [online]. 2002, **93**(1-3), 249-266 [cit. 2020-05-06]. DOI: 10.1016/S0167-8809(01)00352-8. ISSN 01678809.

[48] PANOZZO, J.F, C.K WALKER, D.L PARTINGTON, N.C NEUMANN, M TAUSZ, S SENEWEERA a G.J FITZGERALD. Elevated carbon dioxide changes grain protein concentration and composition and compromises baking quality. A FACE study. *Journal of Cereal Science* [online]. Elsevier, 2014, **60**(3), 461-470 [cit. 2020-04-21]. DOI: 10.1016/j.jcs.2014.08.011. ISSN 0733-5210.

[49] HÖGY, P., C. ZÖRB, G. LANGENKÄMPER, T. BETSCHE a A. FANGMEIER. Atmospheric CO<sub>2</sub> enrichment changes the wheat grain proteome. *Journal of Cereal Science* [online]. 2009, **50**(2), 248-254 [cit. 2020-04-20]. DOI: 10.1016/j.jcs.2009.06.002. ISSN 07335210.

[50] O' LEARY, G. J., B. CHRISTY, J. NUTTALL, et al. Response of wheat growth, grain yield and water use to elevated CO<sub>2</sub> under a Free-Air CO<sub>2</sub> Enrichment (FACE) experiment and modelling in a semi-arid environment. *Global Change Biology* [online]. 2015, **21**(7), 2670-2686 [cit. 2020-04-22]. DOI: 10.1111/gcb.12830. ISSN 1354-1013.

[51] HÖGY, P., H. WIESER, P. KÖHLER, K. SCHWADORF, J. BREUER, J. FRANZARING, R. MUNTIFERING a A. FANGMEIER. Effects of elevated CO<sub>2</sub> on grain yield and quality of wheat: results from a 3-year free-air CO<sub>2</sub> enrichment experiment. *Plant Biology* [online]. 2009, **11**, 60-69 [cit. 2020-05-06]. DOI: 10.1111/j.1438-8677.2009.00230.x. ISSN 14358603.

[52] SOBA, D., S. BEN MARIEM, T. FUERTES-MENDIZÁBAL, et al. Metabolic Effects of Elevated CO<sub>2</sub> on Wheat Grain Development and Composition. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* [online]. 2019, **67**(31), 8441-8451 [cit. 2020-05-06]. DOI: 10.1021/acs.jafc.9b01594. ISSN 0021-8561.

[53] Ottman, M.J., Kimball, B.A., Pinter, P.J., Wall, G.W., Vanderlip, R.L., Leavitt, S.W., LaMorte, R.L., Matthias, .A.D. and Brooks, T.J. (2001), Elevated CO<sub>2</sub> increases sorghum

biomass under drought conditions. *New Phytologist*, 150: 261-273. doi:10.1046/j.1469-8137.2001.00110.x

[54] ROGERS, G.S., P.W. GRAS, I.L. BATEY, P.J. MILHAM, L. PAYNE a J.P. CONROY. The influence of atmospheric CO<sub>2</sub> concentration on the protein, starch and mixing properties of wheat flour. *Functional Plant Biology* [online]. 1998, **25**(3) [cit. 2020-06-08]. DOI: 10.1071/PP96014. ISSN 1445-4408.

[55] HÖGY, P. a A. FANGMEIER. Effects of elevated atmospheric CO<sub>2</sub> on grain quality of wheat. *Journal of Cereal Science* [online]. 2008, 48(3), 580-591 [cit. 2020-05-06]. DOI: 10.1016/j.jcs.2008.01.006. ISSN 07335210.

[56] Blumenthal, C., Rawson, H.M. and McKenzie, E., 1996. Changes in Wheat Grain Quality Due to Doubling the Level of Atmospheric CO<sub>2</sub> (2). *Cereal Chemistry*, 73(6), pp.762-766.



## 8 SEZNAM ZKRATEK

|                 |  |
|-----------------|--|
| A               | odrůda Avenue                              |
| AC              | normální koncentrace CO <sub>2</sub>       |
| ANOVA           | analýza variace (rozptylu)                 |
| AMK             | aminokyseliny                              |
| ATP             | adenosintrifosfát                          |
| AV ČR           | Akademie věd České republiky               |
| ČSN             | česká technická norma                      |
| DTT             | dithiothreitol                             |
| EC              | zvýšená koncentrace CO <sub>2</sub>        |
| ED              | brzké sucho v průběhu vegetační sezóny     |
| FACE            | Free Air CO <sub>2</sub> Enrichment        |
| FN              | číslo pádu                                 |
| GP              | gluteninové podjednotky                    |
| Gln             | Glutamin                                   |
| Gly             | Glycin                                     |
| HMW             | vysokomolekulární podjednotky gluteninů    |
| kol.            | kolektiv                                   |
| LD              | pozdní sucho v průběhu vegetační sezóny    |
| LMW             | nízkomolekulární podjednotky gluteninů     |
| N <sup>+</sup>  | hnojený vzorek dusíkem                     |
| N <sup>-</sup>  | nehnojený vzorek dusíkem                   |
| NADPH           | nikotinamidadenindinukleotidfosfát         |
| OH              | objemová hmotnost                          |
| Phe             | Fenylalanin                                |
| Pro             | Prolin                                     |
| Rubisco         | ribulosa-1,5bisfosfátkarboxyláza/oxygenáza |
| RuBP            | ribulosa-1,5-bisfosfát                     |
| T               | odrůda Tobak                               |
| Tyr             | Tyrosin                                    |
| UV <sup>-</sup> | odstíněné UV záření                        |
| UV <sup>+</sup> | normální UV záření                         |
| W               | vlhko, zavlažování                         |

