

**MENDELOVA UNIVERZITA V BRNĚ
AGRONOMICKÁ FAKULTA**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

BRNO 2015

LENKA PROKEŠOVÁ



**Hodnocení potenciálních donorů vyšší odolnosti k suchu
u pšenice ozimé**
Diplomová práce

Vedoucí práce:
doc. Dr. Ing. Pavlína Smutná

Vypracovala:
Bc. Lenka Prokešová

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem práci: *Hodnocení potenciálních donorů vyšší odolnosti k suchu u pšenice ozimé* vypracovala samostatně a veškeré použité prameny a informace uvádím v seznamu použité literatury. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách ve znění pozdějších předpisů a v souladu s platnou *Směrnicí o zveřejňování vysokoškolských závěrečných prací*.

Jsem si vědoma, že se na moji práci vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, a že Mendelova univerzita v Brně má právo na uzavření licenční smlouvy a užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona.

Dále se zavazuji, že před sepsáním licenční smlouvy o využití díla jinou osobou (subjektem) si vyžádám písemné stanovisko univerzity, že předmětná licenční smlouva není v rozporu s oprávněnými zájmy univerzity, a zavazuji se uhradit případný příspěvek na úhradu nákladů spojených se vznikem díla, a to až do jejich skutečné výše.

V Brně dne:.....

.....
podpis

PODĚKOVÁNÍ

Chtěla bych poděkovat doc. Dr. Ing. Pavlíně Smutné za odborné vedení, cenné připomínky a za nesmírnou trpělivost, ochotu a čas, který mi věnovala při tvorbě této práce. Dále děkuji RNDr. Ludmile Holkové, Ph.D. za asistenci a odborný dozor při osvojení si laboratorních technik a za čas strávený konzultacemi.

Také bych chtěla poděkovat Ing. Janu Pánkovi ze šlechtitelské stanice RAGT Czech s.r.o. a Ing. Janu Brotanovi z Ústav agrosystémů a bioklimatologie Mendlovy univerzity za poskytnutí meteorologických dat.

ABSTRAKT

Diplomová práce hodnotí výsledky pokusů s pšenicí ozimou (*T. aestivum* L. emed. Fiori et Paol.) ve vegetačním období 2013/2014. Polní pokusy byly založeny na dvou lokalitách – Žabčice a Branišovice. Byly hodnoceny dvě u nás pěstované odrůdy Etela a Meritto s různou úrovní citlivosti k suchu a 45 syrských linií s potenciálně vysokou odolností vůči suchu. Hodnocena byla také syrská odrůda CHAM6.

U vybraných odrůd a linií byly provedeny klasové rozbory, při kterých se sledovaly znaky jako délka osin, délka klasu, hmotnost klasu, počet plodných klásků, délka klasového větene, počet článků klasového větene, počet zrn v klasu a jejich hmotnost. Dále byl stanoven výnos na rostlinu a hmotnost tisíce zrn (HTZ). U obou znaků byl vysoce významný vliv lokality. Na lokalitě Žabčice byly výnosy vyšší než na lokalitě Branišovice. Naopak HTZ byla vyšší na lokalitě Branišovice.

Byly stanoveny dva ukazatele potravinářské jakosti pšenice - obsah N-látek v zrně a obsah škrobu v zrně. Požadavek normy ČSN 461100-2 pro obsah N-látek v zrně splnily všechny linie, včetně kontrolních odrůd. Většina linií dosáhla obsahu škrobu 66 až 68 %.

Předpokládaná reakce na délku dne byla hodnocena na základě přítomnosti alely citlivosti k fotoperiodě (*Ppd-D1*). Byl prokázán vyšší výskyt fotoperiodicky necitlivé alely *Ppd-D1a* u linií syrského původu. Pro zjištění reakce na suchu byl u vybraných linií stanoven osmotický potenciál. Největší schopnost osmotického přizpůsobení se nejvíce projevila u linie 27/1.

Klíčová slova: pšenice, výnosové prvky, kvalita, dusíkaté látky, škrob, *Ppd-D1*, osmotický potenciál

ABSTRACT

This work summarises the results of experiments with common wheat lines (*T. aestivum* L. emed. Fiori et Paol.) during the growing season 2013/2014. Field experiments were carried out in two locations – Žabčice and Branišovice. Two winter wheat varieties (Etela and Meritto) commonly cultivated in the Czech Republic and 45 Syrian lines with potentially high drought tolerance were evaluated in this work as well as Syrian variety CHAM 6.

Spikes analyses were performed and the evaluated characters included awn length, spike length, spike weight, spikelet number, rachis length, rachis segments number, grains per spike number, and grains per spike weight. We focused also on grain yield per plant and the weight of thousand grains. The effect of location was highly significant for both characters – yield per plant was higher in Žabčice, thousand grain weight in Branišovice.

Two quality indicators were assessed – the content of proteins and starch. As to protein content, all lines and control varieties exceeded the standard given in ČSN 461100-2. The amount of starch was between 66 and 68 %.

The response to day length was characterised according to the photoperiod loci *Ppd-D1*. Photoperiod insensitive allele *Ppd-D1a* was more common in lines of Syrian origin than sensitive allele *Ppd-D1b*. To evaluate the tolerance to drought the osmotic potential was determined and the greatest ability of osmotic adjustment was found in line 27/1.

Key word: wheat, yield components, quality, proteins, starch, *Ppd-D1*, osmotic potential

OBSAH

1 ÚVOD.....	9
2 CÍL PRÁCE.....	10
3 LITERÁRNÍ REŠERŠE.....	11
3.1 Pšenice	11
3.1.1 Genetický původ pšenice.....	12
3.1.2 Stavba obilky	16
3.1.3 Chemické složení obilky	17
3.2 Stres	20
3.3 Stres způsobený nedostatkem vody	21
3.3.1 Vodní režim rostlin.....	22
3.3.2 Stav vody v buňce	23
3.4 Reakce rostlin na stres	24
3.4.1 Morfologické mechanismy	25
3.4.2 Fyziologické mechanismy	26
3.4.3 Biochemické mechanismy.....	27
3.4.4 Molekulární mechanismy	27
3.5 Vliv sucha na vývojová stádia rostlin	29
3.5.1 Vegetativní fáze.....	29
3.5.2 Generativní fáze.....	30
3.6 Vliv sucha na výnos zrna	30
3.7 Šlechtění na suchovzdornost.....	31
3.8 Jakost pšenice	32
3.8.1 Ukazatele jakosti	34
4 MATERIÁL A METODY.....	36
4.1 Rostlinný materiál.....	36
4.1.1 Charakteristika kontrolních odrůd.....	36

4.2	Charakteristika stanoviště a založení pokusu	37
4.3	Klasové rozbory	38
4.4	Hodnocení výnosu a kvalitativní parametry	38
4.5	Osmotický potenciál	39
4.6	Detekce alel genu <i>Ppd-D1</i>	40
5	VÝSLEDKY	41
5.1	Klasové rozbory	41
5.2	Hodnocení výnosu a kvalitativní parametry	45
5.3	Osmotický potenciál	48
5.4	Detekce alel genu <i>Ppd-D1</i>	48
6	DISKUSE	50
6.1	Klasové rozbory	50
6.2	Hodnocení výnosu a kvalitativní parametry	50
6.3	Osmotický potenciál	53
6.4	Detekce alel genu <i>Ppd-D1</i>	53
7	ZÁVĚR	55
8	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	57
9	SEZNAM OBRÁZKŮ	68
10	SEZNAM TABULEK.....	69
11	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK.....	70
12	PŘÍLOHY	71

1 ÚVOD

Pšenice (*Triticum aestivum* L. emed. Fiori et Paol.) se pěstuje po celém světě v různých klimatických podmínkách a v Evropě, Asii a severní Africe patří mezi základní potraviny. Zabírá 17 % veškeré obdělávané půdy. Ve výživě člověka se jedná o zdroj sacharidů a bílkovin. Poskytuje přibližně 55 % sacharidů celkové spotřeby (Xin et al., 2010; Allahverdiyev, 2015).

Zrno pšenice se používá jako potravina, krmivo a jako surovina. Pšeničné zrno totiž obsahuje velmi významnou skupinu bílkovin, která se z velké části podílí na kvalitě, a tím i na konečném využití. Další neméně důležitou komponentou pšeničného zrna je polysacharid škrob. Při pečení je využívána hlavně jeho schopnost bobtnání a mazovatění. Chemické složení a struktura zejména těchto látek tak předurčují finální podobu každého pšeničného výrobku. Konečný obsah těchto je dán nejen příslušnou odrůdou a jejím genetickým potenciálem, ale také podmínkami pěstování. Pšenice nemůže být pěstována na libovolném místě. Musí mít ideální půdní podmínky, které zajistí rostoucímu klasu požadovaný přísun živin. Půdní podmínky nejsou ale jediným faktorem, který ovlivňuje kvalitu pšenice. Nesmí se zapomínat na vliv předplodiny, počasí nebo např. na působení škůdců.

Biotický a abiotický stres jsou důležitými limitujícími faktory pro výnos, kvalitu zrna a produkci pšenice. Sucho, často v kombinaci s vysokými teplotami, způsobuje nízké výnosy a snižuje kvalitu zrna (Wang et al., 2005).

I přesto, že je výnosový potenciál odrůd pšenice seté v půdně-klimatických podmínkách ČR na úrovni 12 – 13 t.ha⁻¹, v praxi se výnosy pšenice značně liší a dosahují pouze 50 – 60 % tohoto potenciálu (Hosnedl, 2008). Působením různých biotických a abiotických stresů, bylo u pšenice ozimé v roce 2014 dosaženo průměrného hektarového výnosu 6,61 t.ha⁻¹ a u pšenice jarní 4,85 t.ha⁻¹.

2 CÍL PRÁCE

Cílem této diplomové práce je ověřit, zda genotypy pšenice seté (*T. aestivum* L. emed. Fiori et Paol.) pocházející z oblastí blízkého východu s extrémně suchými podmínkami, by bylo možno využít v rámci šlechtění nových genotypů pšenice s vyšší odolností k suchu.

Konkrétním cílem práce je porovnání výnosové úrovně a vyhodnocení kvality odrůd a linií s různou adaptací na suchu. Dvě u nás běžně pěstované ozimé odrůdy Etela a Meritto a 45 syrských linií s potenciálně vysokou odolností vůči suchu budou pěstovány v polních podmínkách na dvou stanovištích Branišovice a Žabčice ve vegetačním období 2013/2014.

Po sklizni bude stanoven výnos na rostlinu, HTZ a základní ukazatele jakosti zrna, jako je obsah dusíkatých látek a škrobu. Přizpůsobení sledovaných linií k prodlužujícím se periodám sucha v průběhu vegetace bude hodnoceno pomocí identifikace alel genu *Ppd-D1*. Reakce vybraných linií na stres bude hodnocena pomocí osmotického potenciálu v listech stresovaných rostlin.

3 LITERÁRNÍ REŠERŠE

3.1 Pšenice

Pšenice byla domestikována před deseti tisíci lety v oblasti úrodného půlměsíce Blízkého východu a její evoluce úzce souvisí s rozvojem zemědělství. Je nejdůležitější obilninou mírného pásma. Pěstuje se do 45° j. š. v Argentině a do 65° s. š. v Norsku a Rusku. V tropech se pěstuje pouze ve vyšších polohách (Prášil, 2009). V současné době existuje asi 17 000 odrůd pšenice, které jsou přizpůsobeny různým klimatickým podmínkám (Snustad a Simmons, 2009).

Celková roční produkce činí asi 60 milionů tun, což zabezpečuje příjem 20 % kalorií čerpaných z potravy celým lidstvem. Je tedy zřejmé, že je pro lidstvo jednou z nesmírně významných plodin (Snustad a Simmons, 2009). V ČR se stala pšenice dominantní plodinou až po druhé světové válce a přibližně od 70. let 20. století je ČR v produkci pšenice soběstačná a část produkce exportuje (Burešová a Lorencová, 2013).

Český statistický úřad (2014) udává, že v roce 2014 byla pšenice zasetá na ploše 835 941 ha, Průměrný výnos pšenice ozimé v roce 2014 byl 6,61 t.ha⁻¹ a pšenice jarní 4,85 t.ha⁻¹. Procentické zastoupení osevních ploch ozimé pšenice bylo 94,6 %, zbylých 5,4 % ploch pak připadalo pšenici jarní.

V současné době Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský eviduje ve Státní odrůdové knize pro rok 2014 celkem 147 odrůd pšenice seté, z toho je 119 odrůd ozimé formy a 28 odrůd jarní formy. Registrovaná je také jedna odrůda pšenice špaldy.

Pšenice patří mezi jednoděložné rostliny, které patří do čeledi lipnicovitých (*Poaceae*) a jedná se o jednoletou plodinu (Urban a Vašák, 2014). Většina pšenice se botanicky řadí k dvěma druhům: pšenice setá neboli obecná (*Triticum aestivum* L. emed. Fiori et Paol.) a pšenice tvrdá (*Triticum durum* Desf) (Burešová a Lorencová, 2013). V ekologickém zemědělství se pěstuje pšenice špalda (*Triticum spelta* L.).

Význam spočívá v širokém uplatnění pro výživu lidí a hospodářských zvířat. Její potravinářská i krmná kvalita je ovlivněna především množstvím a kvalitou bílkovin. I když jich obsahuje pouze 12 – 15 %, je jejich důležitým zdrojem i vzhledem k vysoké spotřebě pšenice v různých formách (Hosnedl, 2008).

Zrno se využívá k výrobě kynutého i nekynutého pečiva, krup, těstovin a v cukrářství. Ke krmení hospodářských zvířat se používají otruby a šroty. V průmyslové výrobě slouží k výrobě lihu a škrobu (Zimolka, 2005).

3.1.1 Genetický původ pšenice

Jednotlivé druhy pšenice vznikly během vývoje spontánní hybridizací primitivní pšenice s druhy *Aegilops* a následnou aloploidizací (Bednář a Vyhnánek, 2004). Při křížení dvou diploidních druhů získáme hybrida, který má jednu sadu chromozomů od každého z rodičů a s velkou pravděpodobností je sterilní, neboť chromozomy nejsou schopny se při meióze navzájem párovat. Pokud však dojde ke zdvojení sad chromozomů (polyploidizaci), meióza proběhne správně, protože každý chromozom se může párovat se svým homologickým chromozomem. Aloplodie tak umožnila sloučení méně příbuzných genomů do jednoho organismu (Snustad a Simmons, 2009).

Za společné předky pšenice jsou považovány planě rostoucí trávy v Sýrii, Íránu, Iráku a v Turecku. Některé z těchto travin byly pěstovány původními obyvateli a náhodným křížením těchto druhů vznikl nový hybridní druh, který sloužil jako zdroj potravy. Cytogenetické analýzy potvrdily začlenění planě rostoucích obilovin do evolučního procesu pšenice (Snustad a Simmons, 2009).

Domestikace dvouzrnky byla první krok, který měl za následek evoluci tetraploidní tvrdé pšenice (*T. durum*) a hexaploidní pšenice seté (*T. aestivum*), což jsou dnes jedny z nejdůležitějších plodin na světě (Luo et al., 2007).

T. aestivum jakožto významná zemědělská plodina je hexaploidní druh. Genom obsahuje tři různé chromozomové sady, z nichž každá obsahuje 7 párů chromozomů. V gametách se tak nachází 21 chromozomů a v somatických buňkách 42 chromozomů (Snustad a Simmons, 2009). **Genom A** pochází z planého druhu *Triticum urartu* nebo od plané diploidní *Triticum boeoticum*, která pochází z Malé Asie. Z planého druhu se vyvinul kulturní diploidní druh *Triticum monococcum* (jednozrnka) s pluchatými obilkami. V oblasti Sýrie nebo Palestiny došlo ke zkřížení jednozrnky pravděpodobně s planým druhem příbuzného rodu *Aegilops speltoides* nebo *Aegilops bicornis* nesoucí **genom B**. Vznikla tak planá dvouzrnka (*Triticum dicoccoides*) se zdvojeným počtem chromozomů ($2n = 28$ chromozomů, genom AABB). Z ní se vyvinula kulturní dvouzrnka *Triticum dicoccum*. Posledním krokem bylo zkřížení s *Aegilops tauschii*, donorem **genomu D**. Po zdvojení počtu chromozomů vznikla alohexaploidní

forma, která byla základem dnešních hexaploidních pšenic ($2n = 45$ chromozomů, genom AABBDD) (Bednář a Vyhnánek, 2004).

Při genomovém křížení se vždy uvádí jako první mateřský genom a teprve potom otcovský. Goncharov (2002) uvádí jako mateřský genotyp *Aegilops speltoides* (genom BB). Správně by tedy měl být psán genom hexaploidní pšenice v pořadí BBAADD. Z důvodu zažitého abecedního řazení se však stále používá nesprávně označení AABBDD.

Rod pšenice můžeme rozdělit podle počtu chromozomů na tři poddruhy (Zimolka et al., 2000, Bednář a Vyhnánek, 2004). Každý poddruh můžeme rozdělit na tři typy: nahé, plevnaté a plané (Zimolka, 2000).

1. diploidní pšenice se 14 chromozomy ($2n = 14$):

pšenice planá jednozrnka *T. boeoticum* (Boiss.)

pšenice planá urarta *T. urartu* Thum.

pšenice kulturní jednozrnka *T. monococcum* L.

2. tetraploidní pšenice s 28 chromozomy ($2n = 28$):

pšenice tvrdá *T. durum* Desf.

pšenice araratská *T. araraticum* Jakubz.

pšenice planá dvouzrnka *T. dicoccoides* L.

pšenice ispahanská *T. Ispahanica* Heslot.

pšenice dvouzrnka *T. dicoccum* Schrank

pšenice kolchická *T. Georgicum* Dek.

pšenice Timofejova *T. timopheevi* Zhuk.

pšenice habešská *T. aethiopicum* Jakubz.

pšenice naduřelá *T. turgidum* L.

pšenice perská *T. persicum* Vav.

pšenice polská *T. polonicum* L.

pšenice turanská *T. turanicum* Jakubz.

3. hexaploidní pšenice se 42 chromozomy ($2n = 42$):

pšenice špalda *T. spelta* L.

pšenice shloučená *T. compactum* Host.

pšenice macha *T. macha* Dek. Et Men.

pšenice kulatozrná *T. sphaerococcum* Perc.

pšenice Vavilova *T. vavilovii* Jakubz.

pšenice Žukovského *T. zhukovskyi* Men.

pšenice setá *T. aestivum* L. emed. Fiori et Paol.

V současné době je asi 95 % z celkové světové produkce hexaploidní pšenice setá. Většina ze zbývajících 5 % je tetraploidní pšenice tvrdá, která je více přizpůsobena suchému středomořskému klimatu (Shewry, 2009).

Genom pšenice je složen z asi 17 miliard párů bází, z čehož 80 % tvoří repetitivní sekvence (Choulet et al., 2010) a pouze asi 1 % genomu je tvořeno geny (Paux et al., 2006). V kódující sekvenci je uloženo asi 94 – 96 tisíc genů (Brenchley et al., 2012). Genom hexaploidní pšenice je pětikrát větší než lidský genom a 40 krát větší než genom rýže (Paux et al., 2006).

Pšenice existuje v ozimé, jarní a přesívkové formě (Pánková et al., 2011). **Ozimá** forma se vysévá na podzim, kdy vyklíčí a vytvoří rostliny s přízemními listy, které zůstávají ve vegetativní fázi. Na jaře, s oteplením a prodlužujícím se dnem, přecházejí do reprodukční fáze a vytvářejí květenství – klas. Musí projít stádiem jarovizace (několikatýdenního vystavení chladu) během zimy, jinak na jaře nekvete. **Jařiny** se sejí na jaře a rychle přecházejí do reprodukční fáze. Jařiny umožňují práce se setím přeložit na jaro, nehrozí jim poškození v zimě, kvetou a sklízí se často později a pomohou rozložit dobu sklizně. **Přesívky** jsou odrůdy, které nepotřebují ke kvetení projít stádiem jarovizace. Přezimují díky silné citlivosti na krátký den, která na podzim zabrání jejich přechodu do kvetení. Mohou se vysévat na podzim i na jaře, ale dnes se pro nízké výnosy příliš nevyužívají (Prášil, 2009).

To, zda je rostlina ozimá, nebo jarní, je dáno geneticky, a to převážně třemi faktory: raností (řízeno *Esp geny*), vernalizačním požadavkem (*Vrn geny*) a fotoperiodickou citlivostí (*Ppd geny*). Společným působením těchto genů je určena doba kvetení a přechod rostlin do generativní fáze v určitých podmínkách prostředí (Shindo et al., 2002).

Esp geny

Tyto geny, převážně tzv. QTL (quantitative traits loci), modifikují ranost daných genotypů určitým vnitřním doladěním procesů kvetení. Jsou rozšířeny po celém genomu pšenice a ovlivňují dobu do dosažení kvetení, resp. sklizně i v řádu několika dnů. (Pánková et al., 2011).

***Vrn* geny**

Vernalizace (neboli jarovizace) je definována jako proces urychlující rostlinný vývoj a následnou tvorbu květu působením chladu. Ozimé pšenice mají vysoké nároky na jarovizaci, naopak jarní pšenice mají nízké nebo dokonce žádné. Tento požadavek je řízen nejméně čtyřmi geny *Vrn1*, *Vrn2*, *Vrn3* a *Vrn4* (Gomez et al., 2014).

Geny jarních typů, bez požadavku na vernalizaci, vznikly mutací z recesivních na dominantní formu (Pánková et al., 2011). Geny *Vrn* jsou lokalizovány především na dlouhých ramenech chromozomů 5A (*Vrn-A1*, dříve označovaný jako *Vrn1*), 5B (*Vrn-B1*) a 5D (*Vrn-D1*) a na chromosomu 7B (*Vrn-B3*) (Diaz et al., 2012; Pánková et al., 2011, Leonova et al 2003).

Důležitý je gen *Vrn1*, neboť jeho produkt přímo řídí přechod pšenice do kvetení. Jemu nadřazený je gen *Vrn2*, který, pokud je aktivní, zablokuje gen *Vrn1*, a tak u ozimů oddálí kvetení (Prášil, 2009; Diaz et al., 2012). Teprve utlumením genu *Vrn2* během jarovizace dochází ke kvetení. Když je gen *Vrn1* aktivní už od počátku růstu, přechází rostlina do fáze kvetení bez potřeby jarovizace (jarní forma) (Prášil, 2009).

***Ppd* geny**

Délka dne hraje důležitou roli v indukci kvetení. Podle fotoperiodických vlastností se rostliny dělí na **krátkodenní** (kvetení je podporováno jen tehdy, pokud je den kratší než kritická hranice), **dlouhodenní** (délka dne přesáhne kritickou hranici) a **neutrální**, které kvetou nezávisle na délce dne (Masarovičová et al., 2008). Necitlivost je pravděpodobně výsledkem mutace, protože předci pšenice, stejně jako mnoho odrůd pšenice, jsou citlivé na fotoperiodu a jsou stimulovány ke kvetení dlouhým dnem (Beales et al., 2007).

Pšenice je jednou z nejvíce adaptabilních plodin a je pěstována prakticky ve všech zemích (Guo et al., 2010). Původně vyžadovala pro vykvetení dlouhou periodu. Za fotoperiodický požadavek je zodpovědná rozsáhlá skupina genů *Ppd* rozšířená po celém genomu pšenice. Ztráta fotoperiodického požadavku u moderních odrůd, která byla docílena vnesením dominantní alely genu necitlivosti k fotoperiodě *Ppd-D1*, umožnila rozšíření pěstování pšenice do rozsáhlých subtropických oblastí zeměkoule (Pánková et al., 2011).

V teplém prostředí mohou rostliny díky necitlivosti k fotoperiodě dokončit vývoj ještě před nástupem vysokých letních teplot spojených s vodním deficitem. Vysoké teploty v pěstitelských oblastech jsou v důsledku změny klimatu stále častější (Beales et al., 2007).

U pšenice je reakce na fotoperiodu řízena především geny *Ppd-D1* (dříve označován jako *Ppd1*), *Ppd-B1* (*Ppd2*) a *Ppd-A1* (*Ppd3*), které se nachází na krátkém rameni chromozomů 2D, 2B a 2A (Law et al., 1978).

Dominantní alely *Ppd-D1a*, *Ppd-B1a* a *Ppd-A1a* jsou zodpovědné za necitlivost k fotoperiodě, zatímco recesivní alely *ppd-D1b*, *ppd-B1b* a *ppd-A1b* určují citlivost k fotoperiodě. *Ppd-D1a* alela pro fotoperiodickou necitlivost je obecně považována za nejsilnější, následovaná *Ppd-B1a* a nakonec *Ppd-A1a* (Dyck et al., 2004).

3.1.2 Stavba obilky

Po opylení semeníku se vyvíjí plod neboli obilka. Tvar, velikost a hmotnost obilky jsou snadno identifikovatelné znaky pro jednotlivé druhy obilovin. V rámci druhu jsou značné rozdíly a morfologie může spojená s kvalitativními parametry. Obilka pšenice má na břišní straně rýhu probíhající po celé její délce (Evers et al., 2001).

Obilka se skládá ze tří hlavních částí: obalové vrstvy, endosperm a zárodek (embryo). **Obalové vrstvy** chrání obilku před nepříznivými vlivy, zejména před mechanickým a mikrobiálním poškozením. Na celkové hmotnosti se podílejí 8 – 14,5%. Obalové vrstvy jsou tvořeny vlákninou a minerálními látkami. Nejvrchnější vrstvy (oplodí), které jsou tvořeny nerozpustnými a obtížně bobtnajícími materiály, především celulórou, jsou určeny k ochraně zrna před mechanickým poškozením a krátkodobými účinky vody a škodlivých látek. V podpovrchových vrstvách (osemení) jsou barviva určující vnější barevný vzhled zrna. **Endosperm** zaujímá asi 83 – 89 % hmotnosti obilky. Převažují zde zásobní látky (škrob, bílkoviny). Tyto látky slouží jako zásoba živin pro tvorbu nové rostliny do doby, než si vytvoří kořínky a listy, umožňující získávat živiny z půdy a energii fotosyntézou. Na rozhraní obalových vrstev a endospermu se nachází aleuronová vrstva, obsahující vysoký podíl bílkovin (ca 30 %), který je téměř třikrát vyšší než v endospermu. Aleuronové buňky mají rovněž nejvyšší obsah minerálních látek, a proto se při vymílání aleuronové vrstvy výrazně zvyšuje obsah minerálních látek (popela) v mouce. **Zárodek** je nejdůležitější obilná komponenta pro přežití druhu. Obsahuje velké množství tuků, vitamíny rozpustné

v tucích a vitamíny skupiny B. Umožňuje vznik nového jedince a jeho podíl na hmotnosti obilky je 1,5 – 2,3 %. Svrchu je kryt obalovými vrstvami a štítkem přiléhá k endospermu. Před mletím zrna se odstraňuje klíček, který by velmi rychle podléhal oxidačním a enzymovým změnám a zhoršoval by senzoričnou kvalitu výrobku (Burešová a Lorencová, 2013; Evers et al., 2001; Kopáčová, 2007).

3.1.3 Chemické složení obilky

Chemické složení většiny cereálií se vzájemně příliš neliší (Kopáčová, 2007). Živinové složení zrna je spojeno s podíly jednotlivých částí. Obalové vrstvy obecně obsahují bílkoviny a vlákninu, endosperm je složen především ze škrobu. Zárodek je zdrojem tuků, bílkovin, vitamínů a minerálních látek (Petr, 2008). Chemické složení zrna kolísá podle oblastí, odrůdy, agrotechniky, klimatických podmínek a celé řady dalších činitelů (Kučerová, 2004; Kopáčová, 2007).

Důležitou složkou zrna je voda. Za její účasti probíhají všechny biochemické a fyziologické procesy. Dalšími základními složkami jsou sacharidy, bílkoviny, lipidy, minerální látky a vitamíny (Kučerová, 2004).

Složky obilky	Obsah v %
Škrob	68,0
Bílkoviny	13,0
Vláknina	2,3
Tuk	2,0
Minerály	1,8
Ostatní	11,9

Tab. 1 Průměrné zastoupení složek v sušině obilky pšenice obecné (Chloupek et al., 2005)

Sacharidy

Sacharidy tvoří nejpodstatnější podíl pšeničného zrna. Patří sem především **polysacharidy** (škrob, celulóza, hemicelulózy a pentózany), **jednodušší cukry** (oligosacharidy a monosacharidy) a nakonec **sacharidy začleněné do složitých komplexů s proteiny a lipidy** (Prugar, 2008).

Škrob patří mezi fyziologicky a hospodářsky nejdůležitější polysacharidy. Ukládá se v zásobních orgánech rostlin (např. hlízách brambor nebo v semenech kukuřice, pšenice a rýže) ve formě škrobových zrn, která se nerozpouštějí ve studené vodě (Šárka a Bubník, 2010). Je dobře využíván lidským organismem. Jeho obsah

v pšeničném zrně kolísá v rozmezí od 50 do 70 %, v závislosti na odrůdě a agroekologických podmínkách (Chloupek et al., 2005).

Škrob je označován za jednu ze strategických surovin budoucnosti a jeho spotřeba stále roste. V celosvětovém měřítku jsou nejvýznamnějšími zdroji kukuřice (50 %), brambory (25 %) a pšenice (25 %). Rozvoj je nejmarkantnější právě u pšeničného škrobu (Dvořáček et al., 2010). U pekařských výrobků má význam díky tvorbě pružného škrobového gelu, který vzniká po ochlazení výrobku. Je hlavním nositelem vláčnosti a obsažené vody ve střídě. Dále slouží škrob jako zdroj zkvasitelných cukrů pro kvasinky při kypření těsta (Kučerová, 2004).

Z chemického hlediska patří mezi polysacharidy i celulóza, která je součástí obalových vrstev. V celozrnných moukách vykazuje celulóza příznivé účinky na fyziologii trávení a její konzumace zlepšuje nepříliš dobrou bilanci spotřeby vlákniny při výživě lidí (Kopáčová, 2007).

Dusíkaté látky

Dusíkaté látky se v zrně pšenice dělí na proteiny (bílkoviny jednoduché – albuminy, globuliny, gliadiny, gluteniny), proteidy (bílkoviny složené – glykoproteidy, fosfoproteidy, nukleoproteidy) a dusíkaté látky nebílkovinné povahy jako jsou nitráty, aminocukry, amidy, amidické soli, aminy, volné aminokyseliny apod. Jednoduché bílkoviny se dělí na bílkoviny proplastické (albuminy, globuliny) a bílkoviny zásobní (gliadiny, gluteniny) (Pelikán, 2001).

Ze všech látek pšeničného zrna mají bílkoviny největší význam, a to jak z hlediska technologického, tak i pro nutriční a krmnou hodnotu. Nejčastější rozdělení bílkovin zrna se dělí podle rozpustnosti v různých rozpouštědlech (Prugar, 2008):

Albuminy – rozpustné ve vodě

Globuliny – rozpustné v roztocích solí

Gliadiny – rozpustné v 70% etanolu

Gluteniny – zčásti rozpustné ve zředěných roztocích kyselin a zásad

Bílkoviny se vyskytují ve všech částech obilky, ale jejich obsah závisí na odrůdě a na dusíkatém hnojení. Více jich bývá za slunečného a teplého počasí, pokud jejich obsah nelimitují jiné faktory jako např. voda, živiny aj. (Chloupek et al., 2005).

Obsah a vlastnosti bílkovin ovlivňují technologickou kvalitu obilky. Požadavky zpracovatelů se významně liší. Pšeničné zrno s vyšším obsahem bílkovin se požaduje při výrobě biologicky kypřeného pečiva. Pro výrobu lihu se zase používá zrno s nízkým obsahem bílkovin. Ječné zrno s vysokým obsahem bílkovin není vhodné pro sladařské účely, protože bílkoviny způsobují zákal v pivu (Burešová a Lorencová, 2013).

Vypíráním pšeničné mouky vodou se získává pružný a tažný hydratovaný gel – lepek. Pšeničný lepek není jednotná bílkovina, lze jej rozdělit na gliadinovou a gluteninovou frakci. Množství a vlastnosti lepku jsou hlavními kritérii pekařské jakosti pšenice. Gliadin je nositelem tažnosti a glutenin pružnosti a bobtnavosti. U některých lidí může vyvolávat potravinovou intoleranci, zvanou celiakie. Pro bezlepkovou dietu jsou vhodné spíše výrobky z kukuřice, rýže, nebo pohanky (Kučerová, 2004; Kopáčová, 2007).

Lipidy

Lipidy jsou v obilovinách přítomny pouze v malé míře, ale mají významný vliv na kvalitu a strukturu potravin, neboť se mohou vázat na molekuly bílkovin a škrobu, čehož se využívá při biochemických procesech během kynutí a pečení. Nejvíce lipidů je obsaženo v klíčku (Šrámková et al. 2009).

Z vyšších mastných kyselin jednoznačně převládá kyselina linolová. Ta snadno podléhá oxidaci, což má za následek žluknutí mouky při delším skladování. Mnohem náchylnější k oxidaci je nenasycená mastná kyselina linolenová, jejíž obsah v zrně je ale mnohem nižší (Kučerová, 2004). Část lipidů se váže na molekuly škrobu, bílkovin a kovových iontů, což se využívá při biochemických procesech během kynutí a pečení (Kopáčová, 2007). Z dalších lipidů jsou to lipofilní barviva jako karotenoidy (Kučerová, 2004). K pekařským účelům se žádají odrůdy s nízkým obsahem karotenoidů, naopak pro výrobu těstovin s vysokým obsahem (Pelikán, 2001).

Vitamíny a minerální látky

Vitamíny jsou důležité pro lidskou výživu ale i pro výživu hospodářských zvířat. Jsou nahromaděny nejvíce v klíčku a aleuronové vrstvě zrna. Tyto části jsou většinou při mlýnském zpracování odstraněny (Prugar, 2008).

Významné jsou hlavně vitamíny skupiny B: thiamin (B₁), riboflavin (B₂), dále vitamín E, kyselina nikotinamidová a kyselina pantotenová (Kučerová, 2004).

Obsah minerálních látek v zrně se pohybuje od 1,4 do 3 % v závislosti na odrůdě, půdě a klimatických podmínkách v průběhu vegetace. U pluchatých obilí je obsah popelovin vyšší než u bezpluchých (Pelikán, 2001). Nestejné rozdělení minerálních látek v zrně je základem pro hodnocení jakosti mouky. Nejvíce minerálií je obsaženo v klíčku a obalových vrstvách (Kučerová, 2004; Prugar, 2008).

3.2 Stres

Flexibilita metabolismu umožňuje vývoj reakce na environmentální změny, které pravidelně kolísají v denních a sezónních cyklech. Každá odchylka od optimálních podmínek nemusí mít nutně za následek stres. Vzhledem k tomu, že rostliny nemohou před stresem utéct, mají omezenou schopnost zabránit nepředvídatelným změnám prostředí a musí být proto vybaveny zvláště účinnými obrannými mechanismy (Gaspar et al., 2002).

Stres rostlin definoval Lichtenthaler (1996) jako "jakékoliv nepříznivé podmínky, nebo látky, která ovlivňují nebo blokuje metabolismus, růst nebo vývoj rostlin". Podle Strassera (1988) jsou stres "podmínky způsobené faktory, které mají tendenci ke změně rovnováhy", a Larcher (2003) definoval stres jako "změny ve fyziologii rostlin, ke kterým dochází, pokud jsou vystaveny mimořádným nepříznivým podmínkám, které nemusí představovat ohrožení života, ale vyvolat odpověď na poplach"

Stres je tedy stav fyziologické zátěže organismu způsobený různými stresovými faktory (Procházka et al., 1998). Faktory, které vyvolávají stres, mohou být biotické (vyplývající z živých organismů), jako jsou houby, hmyz nebo člověk, nebo abiotické, jako je nedostatek vody, extrémní teploty (horko, chlad, mráz), zasolení, zaplavení, nedostatek živin nebo vysoká ozářenost (Kranner et al., 2010). Stres má u rostlin schopnost způsobit poranění, choroby, nebo ovlivnit fyziologii (Gaspar et al., 2002).

Pokud je organismus rostlin svému prostředí optimálně přizpůsoben, teoreticky nedochází ke vzniku žádného stresu. Ke vzniku stresu dochází tehdy, když se prostředí změní natolik, že rostlina už k němu není geneticky přizpůsobena (Luštinec et al., 2003).

Reakce rostlin na stres se mění s rostoucí dobou trvání a intenzitou stresu (Kranner et al., 2010). Stres nemusí být vždy pouze škodlivý. Příkladem může být působení nízkých teplot v podzimním období, které u některých rostlin stimuluje tvorbu

květů a plodů, nebo efekt chladu nebo vysokých teplot na indukci klíčení semen (Procházka et al., 1998; Pavlová, 2005).

3.3 Stres způsobený nedostatkem vody

Voda je nejrozšířenější sloučeninou rostlinného těla (Procházka et al., 1998). U suchozemských rostlin tvoří až 80 – 95 % z celkové hmoty pletiv. Nejméně vody obsahují semena (5 – 15 %). Zatímco pokles obsahu vody v listech pod 60 % většinou vede k nezvratnému poškození pletiv a k odumření orgánu, u semen nízký obsah vody nemusí pro embryo znamenat smrt, neboť to si může zachovat životaschopnost i několik let (Masarovičová et al., 2008).

Voda je nezbytná pro všechny životní procesy rostlin. Je univerzálním rozpouštědlem anorganických a organických látek. Je také důležitou složkou buňky a ovlivňuje tepelný režim rostlin. Jakožto stavební materiál poskytuje rostlinám vodík a kyslík (Kincl et al., 2000).

Vzhledem k nedostatku vodních zdrojů je sucho nejzávažnější hrozbou pro zajištění potravin ve světě. V minulosti bylo sucho příčinou mnoha hladomorů (Somerville a Briscoe, 2001). Sucho je nepředvídatelné, protože závisí na mnoha faktorech, jako je například výskyt a rozložení srážek a vlhkost půdy (Wery et al., 1994).

Voda je důležitým faktorem prostředí a její nedostatek omezuje růst, vývoj a výnos rostlin. U rostlin obvykle během životního cyklu dochází ke kolísání obsahu vody v těle i vzhledem k neustále měnícím se podmínkám prostředí (Chaves et al., 2002, Tan Et al., 2006). Rostliny jsou v rámci přírodních a zemědělských podmínek vystaveny prakticky neustále stresu. Sucho tak omezuje růst a produkci polních plodin více, než jakékoli jiné vlivy okolního prostředí (Keyvan, 2010).

Vodní stres vzniká při jakékoli nerovnováze ve vodní bilanci rostlin, pokud je rychlost transpirace vyšší než rychlost příjmu vody (Kincl et al., 2000). Jedná se o nejvýznamnější environmentální stres v zemědělství na celém světě (Khan et al., 2011). Primárně je způsoben nedostatkem vody, tj. suchem nebo nadměrným zasolením půdy. V podmínkách jako jsou zasolení půdy, záplavy nebo nízké teploty se voda v půdě vyskytuje, ale rostliny ji nemohou přijímat – tzv. fyziologické sucho (Lisar et al., 2012).

Kramer (1983) definoval sucho jako absenci srážek po delší dobu, přičemž dochází k vyčerpání vlhkosti z půdy a tím i k poškození rostlin.

Zemědělství je globálně největším spotřebitelem vody, což představuje téměř 70 % celkového množství, v rozvojových zemích je to až 95 % (FAO, 2007).

Shabala (2012) rozlišuje tři typy sucha: meteorologické, zemědělské a hydrologické:

Meteorologické sucho je období s podprůměrnými úhrny srážek a s vysokými teplotami a tím předchází dalším typům sucha. Je způsobeno neustálými změnami atmosférické cirkulace, jako je např. vysoký tlak. Nemusí mít vliv na produkci.

Agronomické sucho je období s podprůměrnými a méně častými srážkami, vedoucí k vysoké evapotranspiraci. Množství půdní vláhy nevyhovuje potřebám rostlin, což vede ke snížení růstu rostlin a následnému snížení produkce. K **hydrologickému suchu** dochází, pokud se sníží hladina vody říčních toků, vodních nádrží, jako jsou zvodní, jezera. Nedostatek srážek je spojen se zemědělským a hydrologickým suchem (Shabala, 2012).

3.3.1 Vodní režim rostlin

Vodní režim rostliny zahrnuje příjem vody rostlinou z okolního prostředí, vedení vody rostlinou a výdej vody do okolního prostředí (Masarovičová et al., 2008). Rostlina neustále přijímá vodu a také ji vydává. Obsah vody v rostlinných pletivech ovlivňují vnější podmínky. Pokud jsou tyto podmínky optimální, celkový obsah vod v rostlině závisí na druhu rostliny a na jejím vývojovém stádiu (Pavlová, 2005).

Vyšší suchozemské rostliny přijímají vodu kořeny společně s minerálními látkami. Kromě půdní vláhy mohou vodu přijímat i ve formě rosy, deště a vzdušné vlhkosti i nadzemními orgány, např. listy. Rostliny rostoucí ve vodě mohou přijímat vodu celým povrchem těla (Kincl et al., 2000). Od povrchu kořene je voda vedena pletivy přes rhizodermis, primární kůru a endodermis do parenchymu centrálního válce. Parenchymem je pak voda transportována k vodivým pletivům cévního svazku, který vstupuje do xylému. Xylémem je voda vedena axiálně do prýtu, odkud je živými pletivy vedena do buněk stonku, listů a dalších orgánů nadzemní části (Pavlová, 2005). Při určování potřeby vody u rostlin je potřeba přihlídnout k jejich nadzemní části. Rostliny s většími listy a menším kořenovým systémem mají větší potřebu vody. Nároky na vodu se také mění během růstu a vývoje (Kincl et al., 2000).

Cévami vedená voda obsahuje minerální a jiné látky, které zůstávají v těle rostlin. Přebytečná voda je vylučována nadzemními orgány, hlavně listy, a to jak v plynném skupenství (transpirace), tak i ve skupenství kapalném (gutace) (Kincl et al., 2000). Gutací se rozumí vylučování kapek na okrajích nebo koncích listů speciálními strukturami zvanými hydatody (Pavlová, 2005).

Voda opouští rostlinu ve formě vodní páry – transpirací. Transpirace slouží jako hnací síla pro příjem vody a její vedení v rostlině (transpirační proud). Při stomatální transpiraci se voda uvolňuje difúzí ve formě par skrze průduchy. U kutikulární transpirace se voda odpařuje celým povrchem listů přes kutikulu (Kincl et al., 2000). Transpirace je významná z hlediska energetické bilance rostlin. Hlavním zdrojem energie je sluneční záření. Transpirace významně ovlivňuje pohyb vody a v ní rozpuštěných látek z kořene do nadzemních částí. Není však jedinou hybnou silou transportu. Pohyb vody je vedle transpirace způsobován také neustálým vstupem vody do protoplastů živých buněk, jejich osmotický potenciál je nižší než potenciál vody v apoplastu. Na transportu vody do kořenů se také podílí vstup vody do floému a do prodlužujících se meristematických buněk. Tyto procesy do určité míry přebírají funkci transpirace a také ji částečně omezují (Pavlová, 2005).

3.3.2 Stav vody v buňce

Stav vody v rostlině, v její části, nebo v jejím nejbližším okolí charakterizuje vodní potenciál. Vyjadřuje míru hydratace, tedy schopnosti buňky nasávat vodu (Kincl et al., 2000). Jeho hodnota je relativní a pro srovnání se používá potenciál čisté vody, který je považován jako nulový. Udává se v jednotkách tlaku, tj. v Pa (Pavlová, 2005). Vodní potenciál ovládá směr toku vody přes membrány, např. transport vody do buňky a z buňky (Masarovičová et al., 2008).

Vodní potenciál má několik složek. Osmotický potenciál odpovídá osmotickému tlaku buněčné šťávy. Ke změnám osmotického potenciálu dochází především přeměnou osmoticky aktivních látek na látky neaktivní a naopak. Buňka se neustále snaží udržet rovnováhu mezi změnou osmotického potenciálu ve vnějším a vnitřním prostředí buňky. Má zpravidla zápornou hodnotu (Kincl et al., 2000). Tlakový potenciál udává rozdíl mezi tlakem vody v soustavě a tlakem atmosférickým a může být kladný, nulový, nebo záporný (Pavlová, 2005). Představuje tlak buněčné stěny, který je tím větší, čím je buňka více rozpínána tlakem vakuoly. Tomuto vnitřnímu napětí buněk se říká turgor

(Kincl et al., 2000). Kladný tlakový potenciál vody v xylému kořene tlačí vodu do nadzemní části a tato síla se nazývá kořenový vztlak. Při nedostatku vody může docházet ke smršťování protoplastu a hydrostatický tlak v buňce je pak nižší než tlak atmosferický, tedy záporný. Záporný tlakový potenciál může nastat i při vysoké transpiraci a nedostatečném zásobení rostliny vodou (Pavlová, 2005).

Další složkou je gravitační potenciál, který je dán působením gravitace a polohou vody v gravitačním poli. Tato složka je v poměru s ostatními složkami malá a proto se ve výpočtech toku vody v buňce zanedbává (Procházka et al., 1998). Poslední složkou je matriční potenciál, což je potenciál tenké vrstvy vody, která se udržuje v kapilárních prostorech buněčných stěn a suché půdy. U hydratovaných pletiv je součástí osmotického a tlakového potenciálu a proto se také zanedbává. Při klíčení semen je však významný (Pavlová, 2005).

Voda se pohybuje z míst s vyšším, tj. méně negativním vodním potenciálem do míst s nižším vodním potenciálem (Pavlová, 2005). Vodní potenciál buněk je závislý na vnějších podmínkách. Mění se především na základě půdní vlhkosti. Čím je stanoviště sušší, tím je osmotický potenciál buněk nižší (Kincl et al., 2000).

3.4 Reakce rostlin na stres

Stres rostlin je komplikován tím, že často působí více stresových faktorů současně, což podstatně mění charakter stresové reakce (Procházka et al., 1998). Na reakci rostlin má vliv délka trvání, intenzita a rychlost jakou stres působí. Dále ovlivňují reakci také vlastnosti rostliny a jejích orgánů, stáří a genotyp (Gaspar et al., 2002).

Důsledky sucha se pohybují od morfologických změn až po molekulární úroveň a jsou patrné ve všech fenologických fázích růstu rostlin. V určitých vývojových stádiích jsou rostliny buď více nebo méně citlivé na konkrétní stresory (Farooq et al., 2009).

Odolnost (rezistence) k vodnímu stresu je složitý parametr, který může být ovlivněn několika vlastnostmi (Nezhadahmadi et al., 2013). Rostliny mohou odolat suchu buď zamezením dehydratace (avoidance) nebo tolerancí dehydratace. Tolerance je definována jako relativní schopnost udržet nebo zachovat funkce rostlin v dehydratovaném stavu. To je někdy vnímána jako druhá obranná linie po avoidanci (Blum, 2005). Tolerance je schopnost odolávat působení stresoru až po jeho proniknutí

k plazmatické membráně buněk a do symplastu (Pavlová, 2005; Procházka et al., 1998). Toleranci jsou přiřazeny nejméně dva mechanismy – zvýšená koncentrace osmoticky aktivních látek (anorganické ionty, sacharidy a organické kyseliny) a změny v elasticitě buněčné stěny (Touchette et al., 2007).

Avoidance zahrnuje ochranné reakce k předcházení stresu, jako je vyšší počet průduchů, tlustá kutikula, změny v uspořádání listové plochy nebo orientace listů na rostlině (Touchette et al., 2007). Mezi další obranné mechanismy patří hloubka kořenového systému umožňující příjem dostupné vody (Nezhadahmadi et al., 2013).

Můžeme se setkat i s termíny adaptace a aklimace. Adaptace nastává různými mechanismy na genetické úrovni v populacích po mnoho generací. Ve stresovém prostředí, dochází k tomu, že určité genotypy s vhodnou kombinací genů (ty, které udělují schopnost přežít a reprodukovat se) jsou v populaci dominantní. Naopak pokud mají rostliny schopnost přizpůsobit své fyziologické a strukturální vlastnosti v důsledku působení stresu během pár sekund nebo i sezóny a v rámci jednoho genotypu, nazýváme tento jev aklimatizací. Během adaptace nebo aklimatizace dochází ke kombinaci morfologických, anatomických, fyziologických a biochemických procesů, které jsou závislé na procesech na molekulární úrovni (Gaspar et al., 2002). Rostliny vyvíjí různé mechanismy (morfologické, fyziologické a biochemické), které inhibují nebo odstraňují škodlivé účinky stresu (Marcíńska et al., 2013).

3.4.1 Morfologické mechanismy

Tolerance rostlin k suchu zahrnuje změny v celých rostlinách a v tkáních na fyziologické a molekulární úrovni. Tyto jednotlivé změny, nebo jejich kombinace určují schopnost rostlin udržet obsah vody v těle (Farooq et al., 2009).

Rostlina musí snížit ztráty vody, čehož lze dosáhnout změnou anatomie listů či snahou snížit teplotu listů. Zároveň je potřebné zvýšit akumulaci vody, a to zvýšením hustoty či hloubky kořenů či tvorbou sukulentních orgánů (Řepková, 2013). Ve většině rostlinných druhů je vodní stres spojen se zmenšením listové plochy, snížením počtu průduchů, nedostatečným rozvojem vodivého systému nebo předčasným stárnutím. V důsledku deficitu vody dochází ke snížení produkce rostlinné biomasy u kulturních plodin (Lisar et al., 2012).

Jeden z obranných mechanismů je vyhnout se stresu díky zkrácenému životnímu cyklu nebo vegetačnímu období. Fenologický vývoj je úspěšně dokončen v období, kdy

je dostupná půdní vlhkost. Doba kvetení je důležitým znakem adaptace plodin na životní prostředí, a to zejména je-li vegetační období omezeno suchem a vysokými teplotami (Farooq et al., 2009).

Kořeny jsou jediný způsob jak získat vodu z půdy a proto znaky jako jsou délka, hustota a hloubka kořenového systému jsou klíčovými vlastnostmi rostlin (Turner et al., 2001; Kavar et al., 2007). Hluboký a hustý kořenový systém dovoluje absorpci vody z větší hloubky, což je důležité v období sucha (Farooq et al., 2009).

Rostliny, které mají drobné listy, snáší sucho lépe, protože nejsou tolik zatíženy nadměrným teplem. Jejich rychlost růstu a biomasy je ale relativně nízká. Ochlupení zvyšuje světelnou odrazivost a listy tak mají sníženou teplotu listů (Farooq et al., 2009).

3.4.2 Fyziologické mechanismy

Jednou z hlavních reakcí na nedostatek vody je zamezení odpařování vody z listů. Výdej vody je regulován hlavně otevíráním a zavíráním průduchů (Řepková, 2013). Pro rostliny je důležité, jak rychle reagují na nedostatek vody. Při rychlé reakci je ztraceno méně vody. Průduchy se skládají ze dvou svěřacích buněk obklopujících průduchovou štěrbinu. Když jsou průduchy otevřené, probíhá transpirace a přísun CO_2 do listů (Shanker a Venkateswarlu, 2011).

Díky uzavření průduchů za mírného sucha dochází ke snížení fotosyntézy. Pokud však sucho trvá déle, pokles fotosyntézy je způsoben jinými mechanismy, než je otevírání a zavírání průduchů. Změny ve fotosyntetické aktivitě jsou spojeny s poškozením membrán v mezofylu buněk, snížení obsahu chlorofylu, a poruchami v syntéze a transportu asimilátů (Marcinińska et al., 2013). Jednou z hlavních komponent fotosyntézy je chlorofyl. Pokles obsahu chlorofylu v důsledku vodního stresu byl považován za typický projev oxidačního stresu a může být výsledkem foto-oxidace pigmentu a degradace chlorofylu. Fotosyntetické pigmenty jsou pro rostliny důležité hlavně pro zachycení sluneční energie. Vodní stres poškozuje fotosyntetický aparát a snižuje aktivitu enzymů Calvinova cyklu, což významně snižuje výnos plodin (Farooq et al., 2009).

Mezi další fyziologické reakce patří změny v integritě buněčné stěny, produkce metabolitů, které jsou toxické a způsobují smrt rostliny, ztráta turgoru a úprava osmózy, snížení vodního potenciálu listů, snížení koncentrace CO_2 a omezení růstu (Farooq et al., 2009).

Rostliny hromadí různé typy organických a anorganických látek rozpuštěných v cytosolu ke snížení osmotického potenciálu a tím udržení turgoru buněk. To může být dosaženo akumulací prolinu, sacharózy, rozpustných sacharidů a dalších látek. Akumulace těchto rozpuštěných látek je známá jako osmotické přizpůsobení. Z těchto látek se, vzhledem k jeho významu v souvislosti s tolerancí k suchu, nejvíce pozornosti věnuje prolinu. U rostlin s vyšší akumulací prolinu, byla pozorována lepší tolerance vůči vodnímu stres (Anjum et al., 2011).

3.4.3 Biochemické mechanismy

Oxidativní stres vzniká v podmínkách, které navozují vznik reaktivních forem kyslíku (ROS), které poškozují buňky. ROS se formují během nedokonalé redukce kyslíku nebo oxidací vody v mitochondriálním nebo chloroplastovém elektronovém řetězci a zahrnují ionty kyslíku, volné radikály, superoxidové anionty a peroxidy (Anjum et al., 2011). Reaktivní formy kyslíku mohou reagovat s proteiny, lipidy a deoxyribonukleovými kyselinami, což způsobuje oxidační poškození a narušení funkce buněk (Farooq et al., 2009).

Zvýšená koncentrace ROS inhibuje schopnost opravit poškození fotosystému II (PS II) a také inhibuje syntézu D1 proteinu. Fotorespirace zvýšená stresem také přispívá k vyšší akumulaci peroxidu vodíku (H_2O_2), což může inaktivovat některé enzymy oxidací jejich thiolových skupin (Bartels a Sunkar, 2005).

Za účelem minimalizace oxidačního stresu vyvinuly rostliny enzymatický a neenzymatický systém, jako jsou např. nízkomolární antioxidanty (glutathion, askorbát, karotenoidy) a ROS „čistící enzymy“ zbavující buňky volných radikálů, neutralizující nadbytek ROS a opravující enzymy, které obnovují škody způsobené ROS (scavenging enzymes) (superoxid dismutázy, peroxidázy, kataláza a askorbát peroxidáza) (Anjum et al., 2011).

3.4.4 Molekulární mechanismy

Jedním z hlavních buněčných reakcí při deficitu vody je změna genové exprese (Rampino et al., 2006). To může vést k akumulaci nebo snižování tvorby některých metabolitů, změny ve funkci enzymů, změny v syntéze bílkovin a syntéze nových proteinů specifických pro konkrétní typ stresu (Dubey, 1999).

Expresí genů může být spuštěna přímo za stresových podmínek nebo důsledkem sekundárních stresů, případně jako odpověď na poranění. Nicméně je dobře známo, že tolerance k suchu je komplexní jev zahrnující působení mnoha genů (Cattivelli et al., 2008). Tyto geny zabezpečují čtyři hlavní funkce: přenos signálu, regulace transkripce, buněčný metabolismus a ochranu buněčných struktur (Shanker a Venkateswarlu, 2011).

Jedním z mechanismů ochrany před vodním stresem je syntéza aquaporinů. Ty mají schopnost usnadnit a regulovat pasivní výměnu vody přes membrány (Tyerman et al., 2002). V rostlinách jsou přítomny v plazmatické membráně a v membráně vakuol. Mohou regulovat hydraulickou vodivost membrán a až dvacetinásobně zesilovat propustnost vody. Strukturální analýzou byl zjištěn mechanismus pro zprostředkování membránového transportu vody (Aharon et al., 2003; Farooq et al., 2009).

Bylo identifikováno několik genů specificky podílejících se na stresové reakci. Mezi nimi jsou geny kódující tzv. LEA geny (Rampino et al., 2006) a geny pro dehydriny (Řepková, 2013).

LEA geny (Late embryogenesis abundant) jsou vývojově naprogramované pro expresi při vysychání semene. Tyto geny kódují malé hydrofilní proteiny, které zlepšují vlastnosti rostlin tím, že chrání buněčné membrány před poškozením abiotickým stresem (Chandra et al., 2004). Hromadí se za stresových podmínek jako je sucho, zasolení a při působení nízkých teplot, ale jsou přítomny také u rostlin ošetřených kyselinou abscisovou (ABA) (Rampino et al., 2006).

Geny reagující na vodní deficit mohou být rozděleny podle citlivosti ke kyselině abscisové do 3 skupin:

1. Neresponzivní k ABA. Expresí těchto genů je regulována vodním deficitem, ale ne aplikací ABA.
2. Responzivní k ABA. Expresí těchto genů je indukována buď vodním deficitem, nebo aplikací ABA. Částečně se překrývají s geny neresponzivními k ABA.
3. Geny, které ke své expresi vyžadují ABA (Řepková, 2013).

Dehydriny jsou stresové proteiny související s tolerancí k mrazu a suchu. V období vodního deficitu se hromadí ve vegetativních tkáních. Tyto proteiny jsou snadno identifikovatelné díky jejich specifickým strukturálním vlastnostem, jako jsou například

konzervativní sekvence bohaté na lysin. Podílí se na hydrofobních interakcích vedoucích ke stabilizaci makromolekul (Svensson et al., 2002).

3.5 Vliv sucha na vývojová stádia rostlin

Reakce rostlin na stres je odlišná v různých fázích vývoje, v níž byly rostliny vystaveny stresu (Khan a Naqvi 2010).

Výnos a kvalita zrna může být ovlivněna ještě před tvorbou semene tím, že dojde k oslabení rostliny, nebo v době kvetení, oplodnění a tvorby semene. Semena jsou často menší, s nižší klíčivostí a s menším množstvím zásobních látek (Bláha, 2003)

Kritická období podle FAO (2013) jsou:

1. konec fáze odnožování a počátek fáze sloupkování – dochází k redukci počtu odnoží, počtu rostlin a počtu zrn v klasu,
2. před začátkem kvetení – dochází k redukci počtu zrn v klasu,
3. období tvorby výnosu – deficit vody v kombinaci s teplými, suchými větry má za následek špatné dozrávání zrna a snížení výnosu,

3.5.1 Vegetativní fáze

V počátečních etapách vývoje má nedostatek vody negativní vliv na vzcházení rostlin a tedy na strukturu porostu. Vytváří se menší počet odnoží a později dochází k jejich značné redukci. V oblastech středozemního klima, kde se vyskytují pravidelné období sucha, může být tato adaptace výhodná, protože v půdním profilu se uchová větší rezerva vláhy. V našich podmínkách je výsledkem snížení výnosu, protože při silné redukci odnoží rostlina nedokáže kompenzovat snížení počtu klasů a zrn (Haberle et al., 2008).

Na nedostatek vody rostlina reaguje větším růstem kořenů na úkor nadzemní části. V důsledku nedostatku asimilátů při trvání vodního stresu po delší období se pak růst kořenů snižuje. Při obnově srážek může být ve fázi dozrávání větší kořenový systém výhodnější ve srovnání s rostlinami, které neprošly obdobím mírného nedostatku vody (Haberle et al., 2008).

3.5.2 Generativní fáze

Nedostatek vody během období tvorby výnosu vede ke snížení hmotnosti zrna (FAO, 2013). Při nedostatku vody během diferenciaci klasu dochází k založení menšího počtu klásků a zrn. Pokud dojde ke stresu v pozdější fázi, je redukován počet zrn v klasu a jejich velikost.

Během kvetení jsou důsledky působení stresu významnější než v jiných fázích vývoje. V době tvorby zrna se rozhoduje o počtu buněk endospermu. Nižší počet buněk má za následek nižší úložnou kapacitu a tak i v případě optimálních podmínek je porost v době zrání nedokáže využít. Ve fázi nalévání zrna narušuje vodní stres celý proces syntézy a ukládání škrobu a zásobních bílkovin. Pokud dojde k dřívějšímu ukončení tvorby škrobů, zvyšuje se koncentrace dusíku, ovšem za předpokladu sníženého výnosu. Ovlivněny jsou i další ukazatele, jako jsou hmotnost tisíce zrn (HTZ), vyrovnanost a objemová hmotnost zrna (Haberle et al., 2008).

3.6 Vliv sucha na výnos zrna

Výnos zrna je výsledkem působení mnoha faktorů a podmínek prostředí na rostlinu a reakcí genotypu rostliny na tyto podmínky (Moudrý, 2003). Postupné utváření výnosových prvků umožňuje jejich vzájemné ovlivňování. Při vytvoření nižší úrovně předcházejícího prvku, dojde k vytvoření vyšší úrovně prvku následujícího. Nejprve vzejde určitý počet rostlin na ploše, které v období odnožování vytvoří určitý počet odnoží. Nebo naopak při nadměrném založení předcházejícího prvku se založí méně nebo se více zredukuje počet či hmotnost následných prvků. Tyto vztahy nazýváme kompenzací výnosových prvků a jsou u obilnin podstatou autoregulace výnosových prvků v porostu (Moudrý, 2009; Zimolka, 2000).

Výnos zrna lze definovat vztahem:

$$\text{výnos zrna (g.m}^2\text{)} = \text{počet zrn (m}^2\text{)} \times \text{hmotnost zrn (g)}$$

Počet zrn je dán počtem rostlin na plochu, počtem klasů na rostlině. Dalším významným prvkem ovlivňujícím počet zrn v klasu je počet založených a vyvinutých kvítků v klásku a celém klasu.

Rozhodující období pro zakládání klásků a kvítků spadá do druhé poloviny dubna a hlavně do května. Ve všech kvítcích klasu se nemusí v plném počtu vytvořit zrna. Tento

proces je závislý na fertilitě generativních orgánů a oplodnění všech kvítků, což je podmíněno genotypem a průběhem klimatických podmínek v době kvetení. Obdobím 20 – 30 dní před kvetením až 10 dní po odkvětu ovlivňuje počet zrn na plochu. V tomto období dochází k intenzivnímu růstu stébla a klasu a zároveň k redukci odnoží a klásků. Vyšší počet zrn je ovšem obvykle kompenzován jejich nižší hmotností (López-Castañeda and Richards, 1994; Moudrý, 2009).

Variabilita hmotnosti zrna je malá, protože je značně geneticky fixována (Moudrý, 2003). Významná je však kompenzační schopnost, kdy při řídkém porostu či malém počtu zrn v klasu se hmotnost obilek do jisté míry zvyšuje a naopak (Petr, 1997).

3.7 Šlechtění na suchovzdornost

Vzhledem k měnícím se podmínkám je nezbytně nutné zlepšit toleranci plodin k suchu. V současné době nejsou k dispozici žádné ekonomicky životaschopné technické prostředky, které by umožnily produkci plodin za sucha. Nicméně vývoj kulturních rostlin tolerantních k suchu může být slibným přístupem, který pomáhá při plnění požadavků na potraviny (Lichtfouse a Navarrete, 2009).

Klasické šlechtění je náročné na pracovní sílu a jedná se o pomalý proces, který je omezen dostupností vhodných genů pro šlechtění (Nezhadahmadi et al., 2013). Je známo, že plané rostliny zřídka umírají v prostředí v důsledku nedostatku vody. Naopak u mnoha plodin, které jsou vybírány pro jejich výnosový potenciál anebo jiné kvalitativní znaky, je tolerance k suchu výrazně nižší. Proto může být dosaženo zlepšení odolnosti vůči suchu použitím genů některých planých druhů (Rampino et al., 2006). Přenos genů z více tolerantních planých druhů do kulturních plodin s využitím genetických metod má pouze omezený úspěch (Lisar et al., 2012).

Jeden z přístupů ke zlepšení odolnosti rostlin a výnosu plodin v prostředí s omezeným množstvím vody je výběr genotypů s vyšší odolností vůči suchu. Tento přístup je zčásti úspěšný, ale je velice obtížné dosáhnout výsledků vzhledem k proměnlivosti klimatických podmínek (Lisar et al., 2012). Ve šlechtění na suchovzdornost se používají dvě metody, které se většinou kombinují:

1. Nepřímá selekce, kdy jsou genotypy vystaveny suchu, i přestože nejsou přímo na tuto reakci hodnoceny. Nepřímý selekční tlak spočívá v hodnocení pokusů

na lokalitách, kde se sucho vyskytuje. Důležité je poté pěstovat zkoušené odrůdy v oblasti, kde se nacházely pokusné parcely.

2. Přímá selekce vyžaduje podmínky, kde se sucho vyskytuje rovnoměrně a záměrně (Chloupek, 2008).

Nástup genomiky a souvisejících technologií poskytuje nástroje potřebné k identifikaci klíčových genů, které reagují na vodní stres. Pro tuto identifikaci genů jsou nezbytné metody molekulární genetiky. Mezi tyto nástroje patří například využití DNA markerů. Novější molekulární markery a metody genové exprese poskytují příležitost pěstování genotypů poskytujících stabilní výnosy zrna za velmi různých podmínek prostředí (Bruce et al., 2002).

3.8 Jakost pšenice

Jakost je ekonomický termín a vyjadřuje stupeň naplnění potřeb vůči nějakému standardu. Spotřebitelé a zpracovatelé mají rozdílné požadavky na obiloviny a proto je třeba jejich jakost posuzovat z několika hledisek. Rozlišujeme tedy následující typy jakosti:

- 1) *Hygienická* – obilovina je buď zdravotně nezávadná, nebo zdravotně závadná
- 2) *Nutriční* – udává, jak vyhovuje nutričním požadavkům, kritériem jsou výživová doporučení
- 3) *Senzorická* – je základním kritériem spotřebitele pro volbu (křupavost, vzhled)
- 4) *Technologická* – důležitým ukazatelem pro výrobce, má dva aspekty: obsah účinné látky (hlavní produkt při zpracování, mouka) a zpracovatelnost (schopnost vyrobit potravinářský výrobek s požadovanými vlastnostmi)
- 5) *Užitná* – směr a způsob využití, rychlá příprava, trvanlivost

Jednotlivé odrůdy se v mnoha znacích liší, proto je nutné respektovat jejich užitný směr. Dříve byly odrůdy pšenice rozdělovány do dvou skupin, a to na pšenici potravinářskou, především pro výrobu kynutého těsta, a na pšenici krmnou, která nesplňovala kritéria pro pšenici potravinářskou (Zimolka, 2005).

Při registraci se odrůdy pšenice zařazují do následujících skupin:

E (elitní): je ve všech požadovaných znacích vynikající pro výrobu kynutých těst, slouží k vylepšování jakosti suroviny, tolerují se nižší výnosy.

A (kvalitní): vyhovuje ve všech parametrech, je snadno zpracovatelná.

B (chlebové): některé z jejich parametrů jsou na hranici, používá se spíše jako doplňková nebo do směsí. V méně příznivých podmínkách nesplňuje podmínky pro pekárenskou pšenici.

C (ostatní): nevhodné pro výrobu kynutých těst (Zimolka, 2005).

Pro pekařské využití se používají odrůdy zařazené do skupiny E, A a B. Pro hodnocení kvality se používá celá řada parametrů, k nejdůležitějším patří obsah hrubých bílkovin, obsah a kvalita lepku, sedimentační test, číslo poklesu, vaznost mouky, aj. (Chloupek, 2008). Odrůdy elitní (E) musí mít oproti kvalitním (A) a zejména chlebovým (B) více bílkovin a vyšší sedimentační test, pádové číslo, objemovou hmotnost i vaznost mouky (Chloupek et al., 2005).

Pro pečivářenské využití jsou vhodné odrůdy ze skupiny C, které se používají pro výrobu sušenek, oplatek a krekrů. Je u nich požadován nižší obsah bílkovin (max 12 %) a nižší sedimentační test (Chloupek et al., 2005).

Mezi základní faktory ovlivňující technologickou jakost zrna pšenice patří odrůda. U odrůd zapsaných ve Státní odrůdové knize ČR je jakost stanovena v průběhu zkoušení užitné hodnoty a dále se upřesňuje v rámci pokusů pro Seznam doporučených odrůd (Prugar, 2008).

Většina znaků jakosti je založena kvantitativně a jsou tedy výrazně ovlivňovány vlivy prostředí. Jakost jako celek je ovlivňován lokalitou, hnojením, výskytem chorob a meteorologickým charakterem ročníku, zejména v poslední fázi dozrávání. Úhrn srážek významně ovlivňuje obsah bílkovin v zrně a tím i celkovou kvalitu. Vlhké počasí v období tvorby obilky podporuje výnos, ale způsobuje snížení obsahu N-látek a zhoršení ostatních znaků jakosti. Vysoký výnos a dobrou jakost zrna zajišťují bohaté srážky do fáze kvetení s následnou vyšší teplotou vzduchu a přiměřenou vlhkostí půdy. Při dozrávání je nejpříznivější teplé a suché počasí směřující k vyšší tvorbě bílkovin (Prugar, 2008).

3.8.1 Ukazatele jakosti

V současné době, je potravinářská kvalita hodnocena dle norem EU a ČSN, které předepisují hodnocení kvality odrůd. Kvalita pšeničného zrna se v jednotlivých ročníchích hodnotí kvalitativními parametry. Běžné jsou rozborů na stanovení objemové hmotnosti, dusíkatých látek, sedimentačního testu, čísla poklesu, lepku a gluten indexu.

Objemová hmotnost

Stanovuje se u celého zrna a výsledek se udává v $\text{kg}\cdot\text{hl}^{-1}$ nebo v $\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$. Vyjadřuje řadu znaků a vlastností, které souvisí s tvarem a velikostí obilek, vyrovnaností, sklovitostí, s vlastností povrchu zrna a vlhkostí. Závisí na pěstitelských podmínkách, ročníku, zdravotním stavu, polehlosti a odrůdě. Nejvíce je ovlivňována průběhem počasí v době dozrávání zrna (Zimolka, 2005). Důležitá je včasná sklizeň. Při přemoknutí zralého zrna objemová hmotnost klesá (Horáková et al., 2014). Největší výtěžnost mají baculatá zrna (Kulp a Ponte, 2000).

Dusíkaté látky

Pšenice pekárenská by měla podle ČSN 46 1100-2 (2001) obsahovat minimálně 11,5 % N-látek v sušině.

Pro kvalitativní charakteristiku má rozhodující význam obsah a kvalita dusíkatých látek. Obsah dusíkatých látek v bílkovinách je ovlivněn především klimatickými podmínkami. Významnou úlohu má však i agrotechnika, především hnojení dusíkem. Na množství zásobních bílkovin má vliv nejen forma aplikovaného dusíku, ale i časové rozložení aplikace (Ondřejčák a Muchová, 2005).

Pro stanovení obsahu hrubých bílkovin v zrně je možné použít titrační alkalimetrickou metodu dle Kjeldahla, ale i nechemické NIR (reflektance v blízké části infračerveného spektra) a NIT (transmitance v blízké části infračerveného spektra) metody.

Sedimentační test

Jedná se o velmi dobrý ukazatel hodnocení pekařské kvality lepku. Je úzce spojen s objemem pečiva (Ondřejčák a Muchová, 2005). Pro výslednou technologickou jakost není důležitý pouze obsah bílkovin či lepku, ale především vlastnosti těchto bílkovin a jejich kvalita, umožňující kynutí těsta (Zimolka, 2005).

Sedimentační test je ze všech znaků kvality nejvíce geneticky založený znak, s nízkým podílem vlivu prostředí. Díky tomuto testu lze vyřadit nevhodné partie pšenice s nízkým obsahem N-látek a nekvalitním lepkem (Zimolka, 2005).

Číslo poklesu

Číslo poklesu je používaným kritériem pro odhalení poškození zásobních látek endospermu zrna hydrolytickými enzymy syntetizovanými v zrně v důsledku započetí procesu klíčení zrna v klasu před sklizní vlivem nadměrného příjmu vlhkosti (Ondřejčák a Muchová, 2005). Je výrazně ovlivňováno počasím v době dozrávání a sklizně, ale také odrůdou. Nízká hodnota čísla poklesu snižuje pekařskou kvalitu. Snižuje se schopnost těsta vázat vodu a pečivo má obvykle malý objem (Prugar, 2008).

lepek a gluten indexu

Lepek má schopnost ve vodném prostředí zvětšovat svůj objem a vytvářet pružný gel. Kolik vody lepek pojme a jaké budou fyzikální vlastnosti nabobtnalého gelu (pevnost, pružnost, tažnost), to závisí od jeho specifických vlastností, určených především odrůdou a počasím v průběhu vegetace, agrotechnickými zásahy apod. Lepku se připisuje možnost vázat asi 70 % vody, škrobu zbývajících 30 %. Je tedy hlavně důležité zjistit jeho vlastnosti. V současné době je nejspolehlivějším ukazatelem pekařské kvality mouky tzv. gluten index. Je udáván v procentech zbylého lepku na sítku k celkovému množství lepku (Ondřejčák a Muchová, 2005).

4 MATERIÁL A METODY

4.1 Rostlinný materiál

V této práci byly hodnoceny dvě odrůdy pšenice ozimé českého původu (Etela a Meritto) s různou úrovní citlivosti k suchu a 46 syrských linií s potenciálně vysokou odolností vůči suchu původem z ICARDA (International Center for Agricultural Research in the Dry Areas) získaných z 9 položek ze sbírky genových zdrojů pšenice uchovávané ve Výzkumném ústavu rostlinné výroby v Praze, a to S27 (IG 142670), S30 (IG 142688), S31 (IG 142705), S42 (IG 142760), S45 (IG 142779), S46 (IG 142780), S47 (IG 142799), S51 (IG 142805) a S53 (IG 142397). Hodnocena byla také jarní odrůda CHAM6. Hodnocené syrské linie byly vytvořeny opakovaným zpětným křížením hexaploidní syntetické linie SW2 s odrůdou CHAM6. Proces šlechtění je popsán v práci Valkouna (2001). Odrůda Meritto patří v našich klimatických podmínkách k odrůdám se stabilním výnosem (Smutná a Šipláková, 2012).

Původní materiály z genové banky vykazovaly v rámci dvouletých přesevů značnou variabilitu v morfologických znacích, jako je výška rostlin, délka osin, zbarvení klasu nebo osin, tvar klasu apod. Proto byly vybrány fenotypově odlišné rostliny, které úspěšně přezimovaly v roce 2012 a jejich klasová potomstva byla po dvouletém přesevu již téměř uniformní. Linie pocházející ze stejné položky jsou označeny stejným počátečním číslem v rámci použitého číselného kódu.

Vzhledem k charakteru počasí, které bylo ve vegetačním období 2013/14, lze předpokládat, že hodnocené parametry byly u sledovaných linií ovlivněny i jejich různou úrovní tolerance k suchu.

4.1.1 Charakteristika kontrolních odrůd

Základní charakteristika kontrolních odrůd, které byly zahrnuty do pokusu, pochází ze šlechtitelských stanic, kde byly tyto odrůdy vyšlechtěny.

Meritto

Odrůda je zařazena do jakostní kategorie B (chlebová). Základní využití je jako potravinářská pšenice. Jedná se o poloranou až polopozdní odrůdu, s vyšším stupněm mrazuvzdornosti, s vyšší délkou stébla (105 cm) a středně odolnou proti

poléhání. Odrůda je vhodná pro pěstování ve všech pěstitelských oblastech, hlavně v kukuřičné a řepařské oblasti, kde má středně vysoký až vysoký výnos.

Udržovatel: SELGEN, a. s., ŠS Úhřetice

Registrace: 2003

Etela

Polopozdní až pozdní odrůda nevhodná pro pekařské využití (C). Je vhodná pro krmné účely a má předpoklady pro využití v programu bioetanol. Je doporučena pro pěstování v kukuřičné, řepařské a obilnářské oblasti, kde poskytuje vysoký výnos.

Udržovatel: Limagrain Central Europe Cereals, s. r. o.

Registrace: 2006

4.2 Charakteristika stanoviště a založení pokusu

Pokusy byly založeny na dvou stanovištích, v Žabčicích (pozemek Školního zemědělského podniku Mendelovy univerzity) a na lokalitě Branišovice (pozemek šlechtitelské stanice RAGT Czech s.r.o.).

Setí na obou lokalitách proběhlo dne 24. 9. 2013. Jedna parcela zahrnovala tři dvouřádky s různými liniemi o délce 116 cm. Sklizeň v Branišovicích proběhla 3. 7. 2014 a v Žabčicích 7. 7. 2014.

Podle hodnot celkové průměrné teploty a sumy srážek (uvedeno v příloze) byly na obou lokalitách od března do června podobné teplotní i srážkové podmínky. Průměrná teplota v tomto období byla 13,4°C (Žabčice) a 13,8 °C (Branišovice). Dlouhodobý normál je 11,6 °C. Toto období bylo charakteristické podprůměrným úhrnem srážek, který byl 10,3 mm na lokalitě Žabčice a 8,8 mm v Branišovicích. Dlouhodobý normál je 47,1 mm.



Obr. 1 Rozdíly mezi hodnocenými liniemi v polních podmínkách

4.3 Klasové rozbory

Klasové rozbory byly provedeny u 48 linií a tři kontrolní odrůdy (Meritto, Etela, CHAM6), pěstovaných v polních podmínkách na lokalitě Branišovice ve vegetačním období 2013/2014. Od každé linie bylo odebráno 10 klasů z hlavních odnoží, klasy byly zváženy a rozebrány a byly sledovány následující znaky: délka osin, délka klasu, hmotnost klasu, počet plodných klásků, délka klasového větene, počet článků, počet zrn v klasu a jejich hmotnost.

4.4 Hodnocení výnosu a kvalitativní parametry

V průběhu vegetačního období 2013 – 2014 byl na lokalitách Žabčice a Branišovice sledován růst a vývoj rostlin. Po sklizni byl vypočítán **výnos na 1 rostlinu** a stanovena **HTZ**. Laboratorní rozbory byly zaměřeny na dva ukazatele potravinářské jakosti pšenice, a to **obsah N-látek** a **obsah škrobu v zrně**.

Výnos

Klasy jednotlivých linií byly sklizeny ručně. Materiál byl po sklizni vymláčen a přečištěn na laboratorní mlátičce a čističce semen značky Haldrup LT-20. Hmotnost získaného zrna je uvedena v g. U každého genotypu byly spočítány všechny vzešlé rostliny.

Hmotnost tisíce zrn

HTZ byla stanovena z podílu čistých semen dle metodiky ÚKZÚZ pro zkoušení osiva a sadby (2014). Pro stanovení bylo použito automatické počítadlo semen Contador firmy Pfeuffer. Bylo vždy napočítáno a zváženo 2 x 500 semen. Sečtením obou hodnot byla získána výsledná HTZ, vyjádřena v gramech.

Obsah N-látek a obsah škrobu v zrně

Stanovení obsahu škrobu a dusíkatých látek ve sklizeném zrně bylo provedeno na spektrometru firmy Nicolet. Spektroskopie v blízké infračervené oblasti (FT-NIR) je rychlá nedestruktivní metoda vhodná pro analýzy obsahových látek v zemědělských produktech (Bradáčová, 2014). Tato technika poskytuje informace o strukturních a fyzikálních vlastnostech vzorků na bázi prostupnosti nebo reflektanci záření při vlnových délkách v rozsahu 800-2500 nm (12500 – 4000 cm⁻¹) (Kolářková a Šišperová, 2013; Míka et al., 2004). Získaná spektra je nutné vždy vztáhnout k hodnotám stanoveným referenční analytickou metodou. V našem případě byla jako referenční metoda použita metoda stanovení škrobu dle Ewerse a stanovení dusíku dle Kjeldahla. U každého vzorku zrna byla provedena tři nezávislá měření.

4.5 Osmotický potenciál

Osmotický potenciál ψ_s představuje zápornou hodnotu osmotického tlaku, který závisí na množství rozpuštěných látek. Vztah je dán van't Hoffovou rovnicí:

$$\psi_s = i * c_i * R * T$$

U vybraných linií byl na osmometru VAPRO Dew Point Osmometer (WESCOR Inc., Logan, Utah, USA) stanoven osmotický potenciál. Stanovení osmolarity je založeno na stanovení rosného bodu vzorku (vzorek se odpaří a nechá se zkondenzovat). Přístroj zaznamenává hodnotu osmolarity, která se pak vynásobí koeficientem -0,0024370, čímž se získá hodnota osmotického potenciálu v MPa.

Osmotické přizpůsobení bylo vypočítáno jako rozdíl hodnot osmotického potenciálu listů odebraných v polních podmínkách a hodnot osmotického potenciálu rehydratovaných listů dle metody Kovár et al., 2003. O schopnosti osmotického přizpůsobení informuje hodnota osmotického potenciálu buňky nebo tkáně. Čím je zápornější osmotický potenciál při ztrátě turgoru, tím aktivnější má rostlina

mechanismus osmotického přizpůsobení. Dokáže se tak účinněji bránit suchu syntézou osmoticky aktivních látek a jejich hromaděním v cytoplasmě. Rostlina proto dokáže využít půdní vodu vázanou o to zápornějším vodním potenciálem (Todorovska et al., 2014)

4.6 Detekce alel genu *Ppd-D1*

Ze všech linií byla vyzolována DNA za pomoci izolačního kitu DNeasy Plant Mini Kit (QIAGEN, Holden, Germany) podle standardního protokolu.

Metoda je založena na principu purifikace DNA pomocí speciálních kolon. Na první koloně dochází k zachycení proteinů, polysacharidů a dalších nečistot, na druhé koloně dochází k zachycení DNA a jejímu následnému vymytí elučním roztokem.

Jednotlivé alely byly detekovány za použití tří genově specifických primerů v multiplexní reakci (Beales et al., 2007).

Tab. 2 Přehled použitých primerů

<i>Ppd-D1</i>	Primery	Velikost produktu
přímý primer	5' - ACGCCTCCCACTACTG - 3'	
reverzní primer 1	5' - TGTTGGTTCAAACAGAGAGC - 3'	414 párů bazí
reverzní primer 2	5' - CACTGGTGGTAGCTGAGATT - 3'	288 párů bazí

Tab. 3 Reakční směs (1 vzorek)

Složka	Objem (μl)
Voda	14,7
10 x P (15mM MgCl ₂)	2,5
5 x Q	5
dNTP Mix (10mM)	0,5
Primer A (20μM)	0,6
Primer B (reverse) (20μM)	0,6
Taq polymeráza	0,1
DNA	1

Tab. 4 Podmínky reakce

	Teplota	Čas
1.	94°C	3 min
2. (40 cyklů)	94°C	30 s
	52°C	30 s
	72°C	60 s
3.	72°C	10 min

Po amplifikaci cílové DNA následovalo elektroforetické dělení PCR produktů na 1,2% agarózovém gelu obarveném barvičkou GelRed.

5 VÝSLEDKY

5.1 Klasové rozbory

U klasů byl mezi liniemi na první pohled rozdíl v barvě a v délce osin. Barva plev přecházela od klasické světle žluté po zlatavou, až v tmavě hnědou u některých odrůd i fialovou (obr. 2). Některé ze sledovaných linií mělo osiny dlouhé dokonce až 10 cm. Tento znak pochází pravděpodobně od rodičovské odrůdy CHAM6 (obr. 3).



Obr. 2 Rozdíly v barevných odstínech linií (linie 53/2, 30/2, 46/5)



Obr. 3 Rodičovská odrůda CHAM6

Výrazné rozdíly byly patrné i v uspořádání a charakteru klasu. Jak můžeme vidět na obr. 4, klasy některých linií se podobají spíše primitivním pšenícím.

U vybraných linií s výrazně odlišným klasem byl na katedře botaniky Přírodovědecké fakulty UK v Praze pomocí cytometrických metod stanoven test na ploidii, zda se nejedná o tetraploidní či diploidní genotypy. Test však změny v ploidii nepotvrdil.

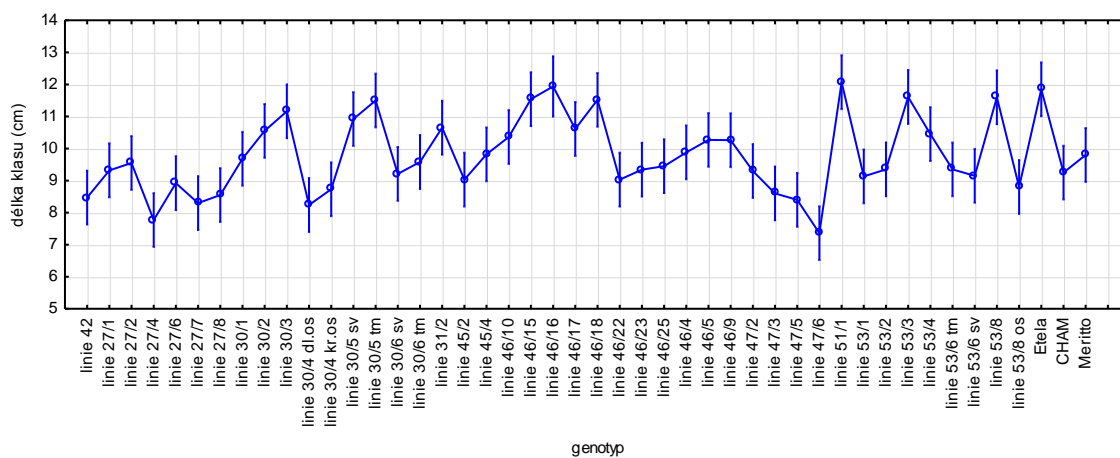


Obr. 4 Ukázka vybraných linií s odlišným klasem (linie 51/1, 53/3)

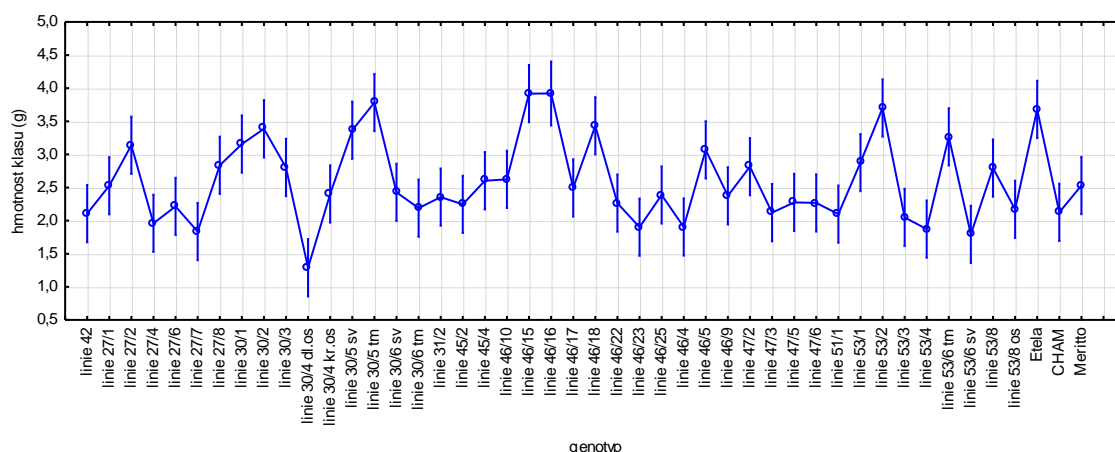
Tab. 5 Analýza rozptylu pro délku klasu

	Stupně volnosti	Délka klasu			Hmotnost klasu		
		PČ	F hodnota	p hodnota	PČ	F hodnota	p hodnota
Délka klasu	47	14,01	7,70	0,00**	3,92	8,08	0,00**
Chyba	412	1,82			0,49		

Pozn. ** = $p < 0,01$



Obr. 5 Délka klasu dosažena testovanými liniemi na obou lokalitách (Žabčice i Branišovice), vertikální sloupce označují 0,95 intervaly spolehlivosti



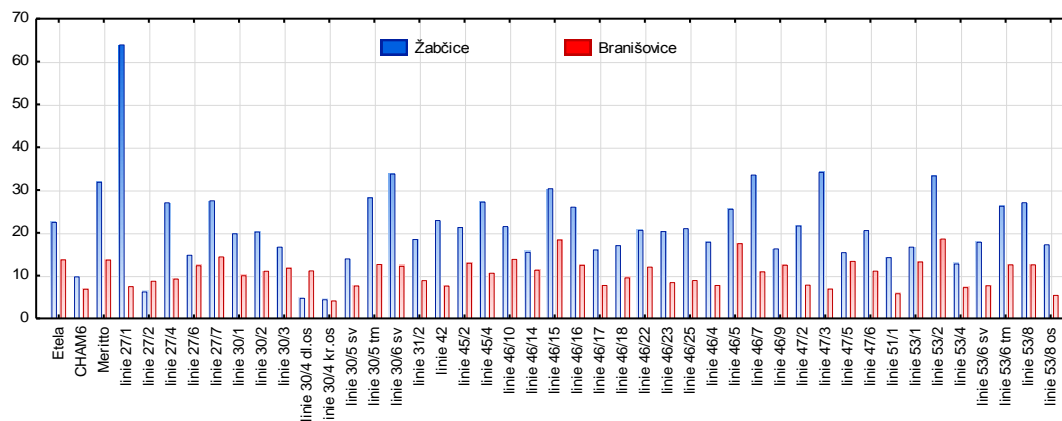
Obr. 6 Hmotnost klasu dosažena testovanými liniemi na obou lokalitách (Žabčice i Branišovice), vertikální sloupce označují 0,95 intervaly spolehlivosti

Délka klasů se lišila v závislosti na genotypu (tab. 5; obr. 5). Nejmenší klas měla linie 46/7 a naopak nejdelší měla linie 51/1. V závislosti na genotypu se lišila i hmotnost klasu (tab. 5; obr. 6), která souvisí s délkou klasu ($r = 0,600^{**}$). Nejmenší klasy měla linie 30/4 dl. os a ty největší linie 46/15 a 46/16. Dále s délkou klasu souvisí i délka klasového větene ($r = 0,813^{**}$), počet plodných klásků ($r = 0,514^{**}$) a počet zrn v klasu ($r = 0,525^{**}$). Menší klasy mají kratší klasové větene, na kterém je menší počet plodných klásků a tak i menší počet zrn v klasu. Počet zrn a tím i jejich hmotnost je kromě délky klasu ovlivněna délkou klasového větene ($r = 0,454^{**}$) a počtem plodných klásků v klasu ($r = 0,664^{**}$).

5.2 Hodnocení výnosu a kvalitativní parametry

Výnos na rostlinu

Z celkového počtu vzešlých rostlin a hmotnosti sklizeného zrna byl vypočítán podíl, který dává průměrnou hmotnost zrna na rostlinu.

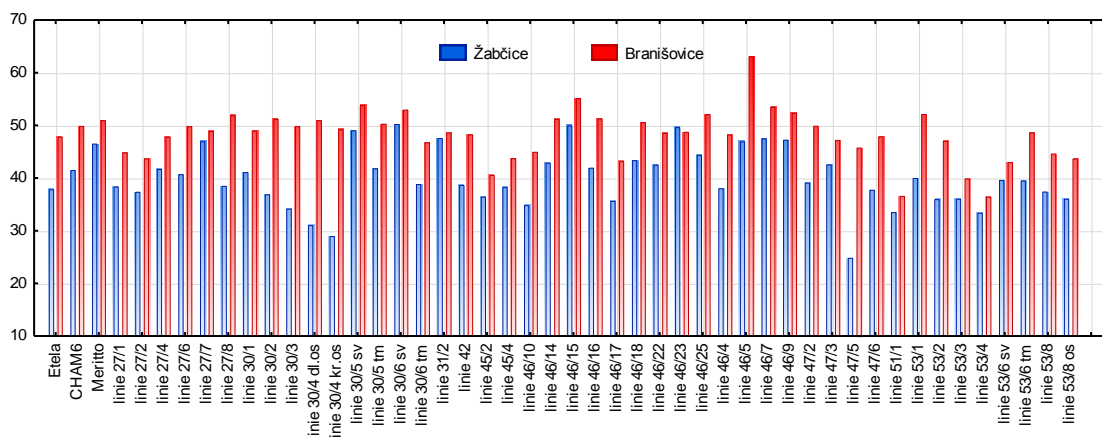


Obr. 7 Výnos zrna na rostlinu dosažený testovanými liniemi na obou lokalitách

V Žabčicích byla průměrná hodnota hmotnosti zrna na rostlinu 21,6 g. Nejvyšší výnos dosahovala linie 27/1 (63,9 g), která ale měla na lokalitě Branišovice jeden z nejmenších výnosů. V Branišovicích byl výnos zrna na rostlinu nižší (obr. 7). Průměrný výnos byl 10,6 g. Maximální hmotnost zrna na rostlinu byl pouze 18,6 g (linie 53/2). Z obr. 7 můžeme vyčíst, že u obou lokalit měla nejnižší výnos linie 30/4 kr. os (Žabčice (Ž) 4,4 g, Branišovice (B) 4,1 g).

Z kontrolních odrůd měla na lokalitě Žabčice vyšší výnos odrůda Meritto (31,8 g). Na lokalitě Branišovice měly obě odrůdy stejný výnos (13,7 g). Na lokalitě Žabčice měly vyšší výnos než odrůdy Meritto linie: 30/6 sv (33,7 g), 46/7 (33,5), 47/3 (34,1 g) a linie s nejvyšším výnosem 27/1 (63,9 g). Na lokalitě Branišovice pak linie: 27/7 (14,4 g), 46/5 (17,5 g), 46/15 (18,4 g) a 53/2 (18,6 g). Linie 53/2 měla jako jediná na obou lokalitách vyšší výnos než Meritto (Ž 33,3 g, B 18,6).

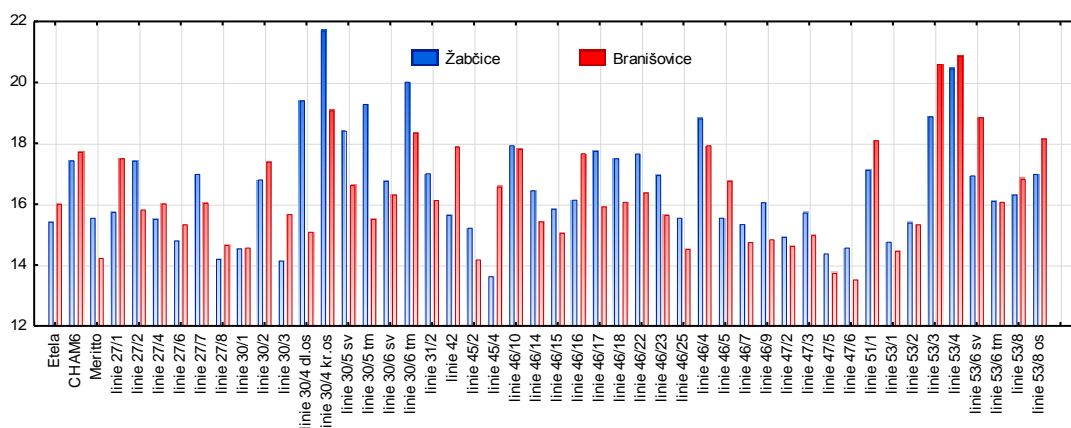
Hmotnost tisíce zrn



Obr. 8 Hodnoty HTZ dosažené testovanými liniemi na obou lokalitách

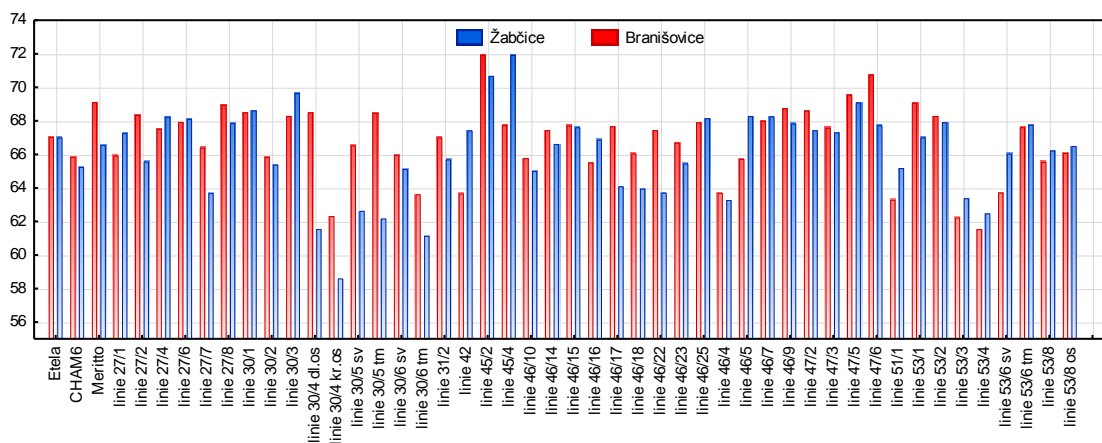
Z obr. 8 můžeme vyčíst, že většina linií, včetně kontrolních odrůd, měly na lokalitě Branišovice vyšší HTZ. Pouze jedna linie (46/23) měla HTZ vyšší na lokalitě Žabčice, ale rozdíl mezi oběma lokalitami byl minimální. Na lokalitě Žabčice bylo dosaženo průměrné HTZ 40 g a na lokalitě Branišovice 48,2 g. Rozdíl mezi průměry obou lokalit je 8,2 g. U některých linií byl mezi lokalitami výrazný rozdíl v HTZ. Největší rozdíly mezi lokalitami byly u linií 47/5 (Ž 24,8 g, B 45,7 g), 30/4 kr. os (Ž 28,9 g, B 49,2 g) a 30/4 dl. os (Ž 31 g, B 50,9 g). Mezi linie s vysokými hodnotami HTZ na obou lokalitách patřily například 30/5 sv (Ž 49 g, B 53/8 g), 30/6 sv (Ž 50,2 g, B 52,93 g), 46/5 (Ž 46,9 g, B 63,1g), 46/7 (Ž 47,5 g, B 53,47 g), 46/9 (Ž 47,2 g, B 52,33 g), 46/15 (Ž 49,9 g, B 55,1 g). Tyto linie měly na obou stanovištích vyšší HTZ než kontrolní odrůda Meritto (obr 8).

Obsah N-látek a obsah škrobu v zrně



Obr. 9 Obsah N-látek v zrně testovaných linií na obou lokalitách

Na obr. 9 můžeme vidět výrazné rozdíly mezi hodnocenými liniemi, na rozdíl od lokalit, mezi kterými nebyl výrazný rozdíl v obsahu N-látek v zrně. Největší rozdíl mezi lokalitami byl patrný u linie 45/4 (Ž 13,6, B 16,6). Hodnoty dusíkatých látek se pohybovaly v rozmezí 13,5 – 21,7 %. Nejvíce linií bylo s obsahem dusíkatých látek 15 až 17 %. Nejvyšší obsah N-látek na obou stanovištích měly linie 30/4 kr. os (Ž 21,7 %, B 19,1 %), 30/6 tm (Ž 20 %, B 18,3 %), 53/3 (Ž 18,9 %, B 20,6 %) a 53/4 (Ž 20,4 %, B 20,9 %). Naopak nejnižší obsah N-látek v zrně měly linie 47/5 (Ž 14,4 %, B 13,7 %) a 47/6 (Ž 14,6 %, B 13,5 %). Z kontrolních odrůd měla vyšší obsah N-látek odrůda Etela (Ž 14,41 %, B 15,99 %), než odrůda Meritto (Ž 15,5 %, B 14,22 %).



Obr. 10 Obsah škrobu v zrně testovaných linií na obou lokalitách

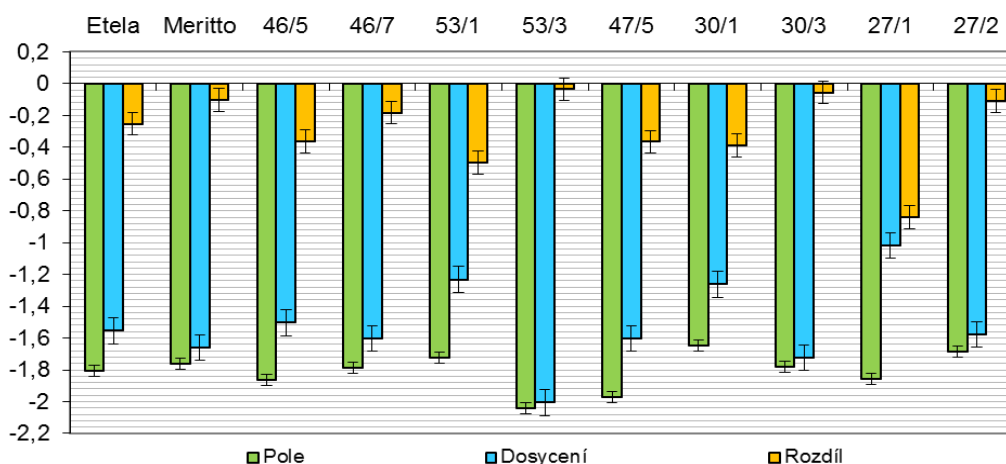
Mezi liniemi můžeme vidět rozdíly v obsahu škrobu v zrně (obr 10). Průměrný obsah škrobu se v obou lokalitách výrazně nelišil. Nejvýraznější rozdíl mezi lokalitami byl u linií 30/4 dl. os a 30/5 tm (Ž 62,2 %, B 68,5 %), kde byl rozdíl více než 6 %. Na lokalitě Žabčice byl průměrný obsah škrobu 66,1 % a na lokalitě Branišovice 66,8 %. Z kontrolních odrůd měla vyšší obsah škrobu odrůda Meritto (Ž 66,5 %, B 69,1 %). Odrůda Etela měla obsah škrobu jen o něco nižší (Ž i B 67 %).

Nejvyšší obsah škrobu měly linie 45/2 (Ž 70,7 %, B 71,9 %) a 45/4 (Ž 71,9 %, B 67,7 %). Naopak nejméně škrobu měly linie 53/4 (Ž 62,5 %, B 61,5 %), 53/3 (Ž 63,4 %, 62,2 %) a linie 30/4 kr. os (Ž – 58,6 %, B – 62,3 %), která jako jediná měla obsah škrobu pod 60 %. Nejvýraznější rozdíl mezi lokalitami byl u linií 30/4 dl. os a 30/5 tm (Ž 62,2 %, B 68,5 %), kde byl rozdíl více než 6 %.

5.3 Osmotický potenciál

Osmotický potenciál představuje zápornou hodnotu osmotického tlaku. Je daný rozpuštěnými látkami v buněčné šťávě a má značný význam pro vodní bilanci pletiv i celých rostlin a pro směr pohybu vody.

Hodnoty osmotického potenciálu se u dostatečně hydratovaných rostlin pohybují od -0,5 do -1,2 MPa. V pletivech obsahujících velké množství osmoticky aktivních látek mohou hodnoty osmotického potenciálu dosáhnout až -2,5 MPa (Pavlová, 2005).



Obr. 11 Hodnoty osmotického potenciálu vybraných linií

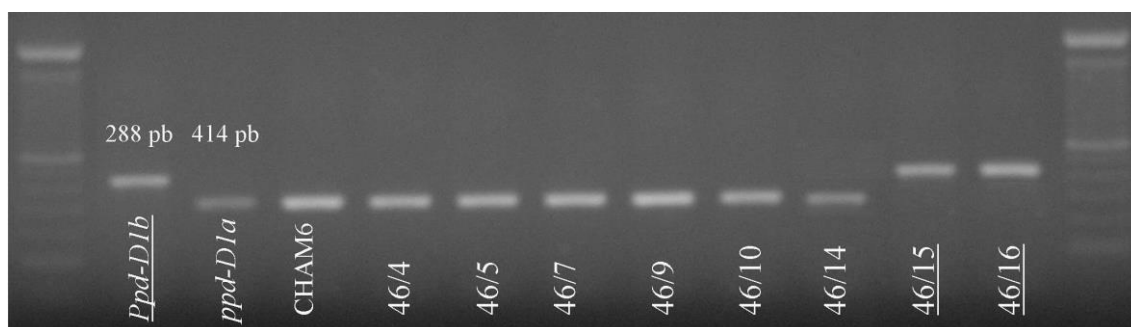
Na základě výsledků bylo zjištěno, že vybrané linie vykazují podobný osmotický potenciál v podmínkách fyziologického sucha jako kontrolní odrůdy Meritto a Etela (obr. 11). U některých linií po dosycení výrazně klesla úroveň osmotického potenciálu (53/1, 30/1). U linie 27/1 skoro o polovinu.

Jak můžeme vidět z hodnot osmotického potenciálu z polních podmínek a po následném dosycení, největší schopnost osmotického přizpůsobení se nízké dostupnosti vody se nejvíce projevila u linie 27/1. Nejmenší schopnost osmotického přizpůsobení měla linie 53/3.

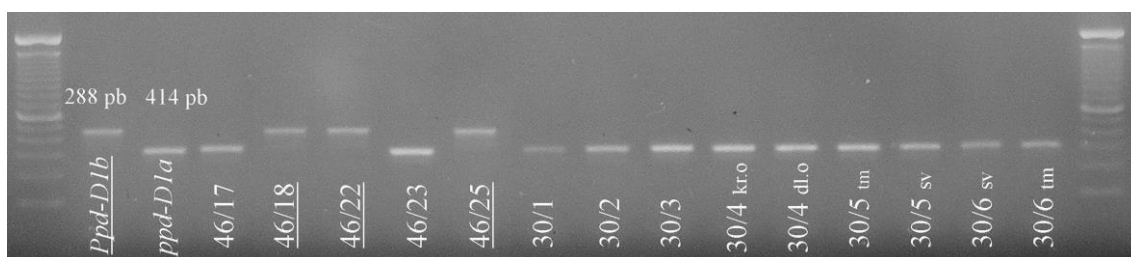
5.4 Detekce alel genu *Ppd-D1*

U všech sledovaných linií byla hodnocena přítomnost alely genu *Ppd-D1*. Jak můžeme vidět na obr. 12 – 15, produkt typický pro alelu *ppd-D1b* o velikosti 414 pb byl detekován u 10 linií 46/15, 46/16, 46/18, 46/22, 46/25, 27/1, 27/2, 27/4, 53/3 a 51/1.

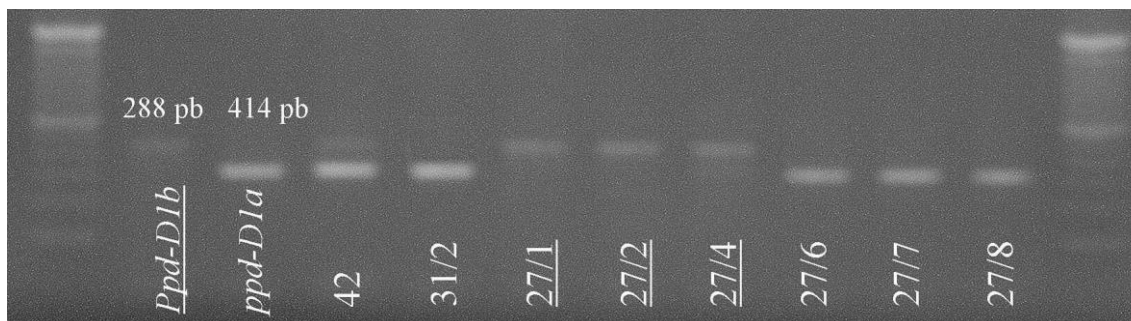
U zbývajících linií (77 %) byl detekován produkt o velikosti 288 pb, který je typický pro alelu *Ppd-D1a*.



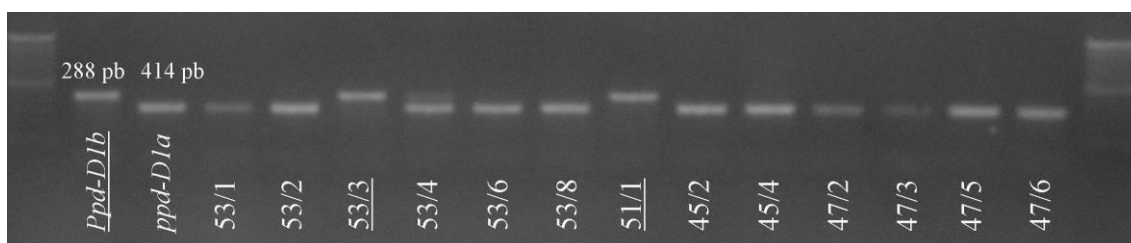
Obr. 12 Hodnocení genu *Ppd-D1* (*Ppd-D1a* – necitlivá k fotoperiodě, *ppd-D1b* – citlivá k fotoperiodě)



Obr. 13 Hodnocení genu *Ppd-D1* (*Ppd-D1a* – necitlivá k fotoperiodě, *ppd-D1b* – citlivá k fotoperiodě)



Obr. 14 Hodnocení genu *Ppd-D1* (*Ppd-D1a* – necitlivá k fotoperiodě, *ppd-D1b* – citlivá k fotoperiodě)



Obr. 15 Hodnocení genu *Ppd-D1* (*Ppd-D1a* – necitlivá k fotoperiodě, *ppd-D1b* – citlivá k fotoperiodě)

6 DISKUSE

6.1 Klasové rozbory

Diviš et al. (2010) uvádí, že potenciální produktivita klasu je 100 – 150 zrn. Při sklizni bývá v klasech obvykle 15 až 40 zrn. Kontrolní odrůda Etela měla v klasu průměrně 39 zrn. U odrůdy Meritto byl průměrný počet zrn v klasu vyšší, a to 55 zrn. Pouze u dvou linií byl průměrný počet zrn vyšší než u Meritta, a to linie 53/2 s 56 zrny v klasu a linie 30/5 sv s 58 zrny v klasu. Některé sledované linie měly v klasu více jak 70 zrn (46/15, 30/5 tm., 53/2), jedna měla dokonce 81 zrn, a to linie 53/2.

Výsledky Janmohammadi et al. (2014) z polních pokusů ukazují, že významné znaky při tvorbě výnosu jsou počet klásků v klasu, počet zrn v klasu a HTZ. Podle Anwar et al. (2009) nemá počet klásků v klasu vliv na HTZ. Podle mého korelačního efektu má počet plodných klásků vliv na HTZ.

Kilic a Yagbasanlar (2010) prováděli polní výzkum u pšenice v dobře zavlažovaných podmínkách a v podmínkách sucha. Ve své práci uvádí významné rozdíly u znaků, jako jsou mj. délka klasu, počet zrn v klasu a počet klásků v klasu. V podmínkách sucha došlo ke snížení počtu zrn v klasu a ke zmenšení velikosti klasu. Sucho ale nemělo vliv na počet klásků v klasu.

6.2 Hodnocení výnosu a kvalitativní parametry

Výnos

Výnos pšenice závisí převážně na třech hlavních faktorech: počtu zrn v klasu, HTZ a počtu klasů na jednotku plochy (Janmohammadi et al., 2014).

Mnoho šlechtitelů se zaměřuje na vyhledávání nových zdrojů pro zvyšování počtu reprodukčních orgánů, jakými je například počet klásků v klasu nebo počet zrn v klasu (Martinek a Váňová, 2012; Reynolds et al., 2005; Sreenivasulu a Schnurbusch, 2011).

Výnos je výsledek interakce mnoha faktorů, které ovlivňují růst rostlin po celé vegetační období. Sucho ve fázi květu a tvorby semene významně snižuje výnos, i v případě, že po celý čas vývoje byly podmínky příznivé (Emam et al., 2007).

Přestože byly srážkové podmínky hodnocených lokalit podobné, výnosy na lokalitě v Branišovicích jsou nižší než na lokalitě v Žabčicích, což může být způsobeno půdními podmínkami. V Branišovicích měly obě kontrolní odrůdy výnos 13,7 g. Z hodnocených

linií měly v této lokalitě lepší výnos na rostlinu pouze linie 53/2 (18,6 g), 46/15 (18,4 g), 46/5 (17,5 g), 27/7 (14,4 g) a 46/10 (13,8 g). Na lokalitě Žabčice měla z kontrolních odrůd lepší výnos odrůda Meritto, a to 31,8 g. Vyšší výnos měly linie 27/1 (63,9 g), 47/3 (34,1 g), 30/6 sv (33,7 g), 46/7 (33,5 g) a 53/2 (33,3 g).

Hmotnost tisíce zrn

ÚKZÚZ ve svých čtyřletých odrůdových pokusech udávají průměrné HTZ u jednotlivých odrůd v rozmezí 39 – 51 g (Horáková et al., 2014). V polních pokusech ÚKZÚZ v letech 2005 – 2008 měla odrůda Meritto HTZ 43 g a odrůda Etela 50 g (Horáková et al., 2009).

V mém pokusu měla odrůda Meritto na lokalitě Žabčice vyšší HTZ, a to 46,5 g a na lokalitě Branišovice dokonce 50,9 g. Etela měla na obou stanovištích nižší HTZ (Ž 37,8 g, B 47,8 g) než jsou hodnoty uváděné ÚKZÚZ. Na lokalitě Žabčice dosáhla HTZ 50 g pouze linie 30/6 sv (50,20 g). Na druhé lokalitě v Branišovicích přesáhlo 50 g HTZ více linií. Největší HTZ na této lokalitě měly linie 46/5 (63,1 g) a 46/15 (55,1 g).

HTZ je ovlivněna odrůdou a podmínkami ročníku. Vyšší hodnoty ukazují na zrna větší a těžší (Zimolka, 2005). HTZ ale nemusí být vždy v podmínkách sucha ovlivněna negativně. Během růstu nemusí rostlina vždy dosáhnout maximální úrovně některého z prvků (počet rostlin, počet odnoží, počet zrn v klasu atd). Pokud se některého výnosového prvku založí menší počet, je toto kompenzováno v další fázi. Toto vzájemné ovlivňování výnosových prvků je podstatou kompenzace, která se v porostu projevuje autoregulací (Zimolka, 2000). Proto je důležitá fáze, ve které sucho působí. Sucho ve fázi odnožování může v důsledku nižšího počtu odnoží navodit kompenzaci výnosu většími klasy. V době kvetení je zase možné kompenzovat výnos většími zrny.

HTZ a výnos jsou snižovány v důsledku sucha. Některé rané odrůdy mohou díky svému rychlému vývoji suchu uniknout, kratší vegetační doba se však projevuje nižšími výnosy. Pozdní odrůdy, které si i za suchých podmínek udrží vynikající výnos, mají některý z mechanismů tolerance sucha, např. osmotické přizpůsobení pro udržení turgoru buňky (Kilic a Yagbasanlar, 2010).

Obsah H-látek a obsah škrobu

Pro pekárenství je rozhodující, že obsah dusíkatých látek v zrně kladně koreluje s obsahem lepkových bílkovin, které ovlivňují fyzikální a chemické vlastnosti těsta a objem pečiva.

Sušina zrna určeného pro pekárenské zpracování by měla obsahovat alespoň 11,5 % dusíkatých látek (ČSN 46 1100-2: 2001). Tento požadavek splnily všechny linie, včetně kontrolních odrůd Meritto (jakostní typ B) a Etela (typ C).

Některé práce, např. Kilic a Yagbasanlar (2010) uvádí, že i když stres suchem obvykle snižuje výnos zrna, může zvýšit hodnotu ostatních složek hospodářského výnosu, jako je obsah N-látek. V našem pokusu nebyl zjištěn významný vliv prostředí na obsah N-látek v zrně pšenice. U některých linií se obsah N-látek mezi lokalitami výrazně nezměnil (53/6 tm, Ž 16,09 %, B 16,06 %), ale u některých linií byl zaznamenán výrazný rozdíl mezi sledovanými lokalitami. Největší rozdíl byl u linie 30/4 dl. os (Ž 19,4 %, B 22,2 %).

Bláha et al. (2008) ve své práci uvádí rozdíl v obsahu N-látek i škrobů v zrně v závislosti na délce trvání sucha. Sucho působící po celý čas vegetace spolu s vysokými teplotami má za následek jiné reakce než při působení občasného sucha, které je během vegetace nejběžnější. To má vliv na vyšší obsah bílkovin zejména v době nalévání zrna. Ve stresových podmínkách působících po celou vegetaci stoupá obsah škrobů. Vliv extrémního sucha se projevuje poklesem obsahu bílkovin a tuků.

Obsah škrobu v zrně kolísá od 63 % do 72 % podle odrůdy. Odrůdy pšenice s nízkým obsahem bílkovin a měkkou texturou endospermu mají obecně vysoký obsah škrobu. Naopak pšenice s tvrdou texturou endospermu a vysokým obsahem bílkovin dosahují nižší obsah škrobu do 65 % (Hubík et al., 2002). Toto můžeme sledovat například u linie 45/2, která má vysoký obsah škrobu v zrně a zároveň nízký obsah N-látek.

Podle Balla et al. (2011) je velikost škrobových zrn významně ovlivněna životním prostředím. Zatímco stres způsobený teplem má jen mírný vliv, sucho nebo sucho společně s teplem mají mnohem větší účinek. U hodnocených odrůd došlo v suchém prostředí ke snížení akumulace škrobu. Mnohem nižší hodnoty škrobu se projeví v prostředí s účinkem obou stresů zároveň.

Zrno pšenice se používá jako potravina, krmivo a jako surovina. Průmyslově se využívá např. jako surovina k výrobě škrobu. Pro průmyslovou výrobu je požadován minimální obsah 67 % škrobu v sušině zrna (Dvořáček et al., 2010). Tento požadavek by splnila zhruba polovina zkoušených linií. Výrazně nejvyšší obsah škrobu měla linie 45/2, která měla na lokalitě Žabčice obsah škrobu 70,7 % a na lokalitě Branišovice 71,9 %.

6.3 Osmotický potenciál

Vzhledem k tomu, že nebylo možné u lokalit jednoznačně odlišit intenzitu stresu, byla u vybraných odrůd hodnocena odolnost vůči suchu pomocí vyhodnocení osmotického přizpůsobení. Klasické metody hodnocení tohoto parametru vycházejí z hodnocení osmotických potenciálů u stresovaných a nestresovaných rostlin ve vztahu k relativnímu obsahu vody (RWC = Relative Water Content) (Ali et al., 2014, Soleimani et al., 2014).

V polních podmínkách je obtížné stanovit RWC a proto byla zvolena metoda, která využívá hodnocení osmotického potenciálu u stresovaných rostlin v porovnání s rostlinami, u kterých byla pletiva listů dosycena vodou (dle Kovár et al., 2003).

Rozdíl mezi osmotickým potenciálem stresované rostliny a rostliny po dosycení představuje velikost osmotického přizpůsobení. Z našich výsledků vyplývá, že linie 27/1 vykazovala nejvyšší hodnoty osmotického přizpůsobení a mohla by proto mít potenciál vyšší odolnosti k suchu. Tato linie dosáhla na lokalitě Žabčice výnosu na rostlinu 63,9 g. Na lokalitě Branišovice sice měla mnohem menší výnos (7,5 g), ale výnosy z této lokality byly nižší u všech hodnocených linií i u kontrolních odrůd. Obsah N-látek v zrně byl u této linie průměrný (Ž 15,73 %, B 17,49 %) a obsah škrobu byl na lokalitě Žabčice 67,3 % a na lokalitě Branišovice 65,9 %. Linie by mohla být vhodná pro další šlechtění.

6.4 Detekce alel genu *Ppd-D1*

Odrůdy pšenice pěstované v severních zeměpisných šířkách Evropy jsou velmi citlivé na fotoperiodu, na rozdíl od odrůd pěstovaných v jižních šířkách, kde jsou obvykle k fotoperiodě necitlivé (Martiníc, 1975; Hunt, 1979; Worland et al., 1998; Guo et al., 2010; Kiss et al., 2014). Langer et al. (2014) uvádí, že zastoupení fotoperiodicky citlivých odrůd ve Skandinávii a Německu dosahuje 100 %, ve Francii

37 % a v Polsku a ČR je to 14 – 15 %. V souboru hodnocených syrských linií byl zjištěn vyšší výskyt necitlivé alely (77 %). Šíp et al. (2011) identifikovali v rozsáhlém souboru registrovaných v ČR alelu *Ppd-D1a* u odrůdy Meritto a alelu *Ppd-D1b* u odrůdy Etela, což odpovídá hodnocení ranosti těchto dvou odrůd v rámci SDO pokusů (Horáková et al., 2009).

Kiss et al. 2014 zjistil, že u ozimých odrůd dříve kvetly genotypy, které měly alelu necitlivou k fotoperiodě (*Ppd-D1a*), zatímco později vykvetly genotypy s alelou citlivou k fotoperiodě. Ukazuje se, že necitlivost k fotoperiodě představuje výhodnou strategii pro oblasti s výskytem sucha v létě z důvodu lepšího využití zimní vláh (Cockram et al., 2007). Poznatky o citlivosti k fotoperiodě by mohly být využity při případném použití těchto linií pro šlechtění.

7 ZÁVĚR

Byla vypracována literární rešerše zaměřená na reakci rostlin na stres suchem. Byly popsány morfologické, fyziologické, biochemické a molekulární mechanismy reakce rostlin na vodní stres.

V praktické části jsem porovnávala u nás běžně pěstované odrůdy pšenice ozimé (Meritto, Etela) se syrskými liniemi s potenciálně vysokou odolností vůči suchu původem z ICARDA. U hodnocených odrůd a linií byl proveden klasový rozbor, dále byl stanoven výnos a HTZ. Z kvalitativních parametrů byl hodnocen obsah N-látek a obsah škrobu v zrně. V rámci molekulárních metod byla provedena detekce alel genu *Ppd-D1*. U vybraných linií byl hodnocen osmotický potenciál.

U hodnocených linií byly výrazné rozdíly v uspořádání klasu, jeho barvě a také v délce osin. Mezi výnosové prvky patří počet klasů na jednotce plochy, počtem zrn v klasu a HTZ.

Na lokalitě Branišovice bylo dosaženo větší HTZ než na lokalitě Žabčice. Z kontrolních odrůd měla Etela větší počet zrn v klasu. Pouze linie 30/5 sv a 53/2 měly větší počet zrn v klasu než Etela. Počet zrn v klasu závisí na počtu plodných klásků na klasovém větvení. Klasy s větším počtem plodných klásků měly větší počet zrn v klasu. Mezi linie, které měly vyšší HTZ než kontrolní odrůdy na obou stanovištích patří 30/5 sv, 30/6 sv, 46/5, 46/7, 46/9 a 46/15. Některé z těchto linií měly i vyšší výnos, než kontrolní odrůda Meritto (30/6 sv, 46/7). Průměrný výnos zrna z rostliny v Branišovicích byl poloviční než na stanovišti v Žabčicích.

Obsah dusíkatých látek je ukazatelem pekařské jakosti. Ovlivňuje objem pečiva. Mezi oběma lokalitami nebyl výrazný rozdíl v obsahu N-látek. Hodnoty dusíkatých látek se pohybovaly v rozmezí 13,5–21,7 %. Kontrolní odrůdy měly podprůměrné hodnoty. Linie s nejvyšším obsahem N-látek (30/4 kr. os, 30/6 tm, 53/3, 53/4) by se mohly nejvíce hodit pro pekařské využití. Naopak nejméně vhodné by mohly být linie 47/6, 47/5, 27/8 a 30/1.

Pro průmyslové využití se požaduje obsah škrobu v zrně nejméně 67 %. Tento požadavek splnila zhruba polovina hodnocených linií. Jako jedna z nejlepších se jeví linie 45/2 a 47/5, které měly na obou lokalitách jednu z nejvyšších obsahů škrobu. Nejvyšší obsah škrobu na obou lokalitách měla linie 45/2.

U většiny hodnocených linií (77 %) byla detekována alela necitlivosti k fotoperiodě, což odpovídá původu těchto genotypů z oblasti blízkého východu. Přítomnost této alely by mohla být přínosná z hlediska vyšší tolerance k suchu. V rámci vybraných linií byla nejvyšší schopnost osmotického přizpůsobení za nízké dostupnosti vody zjištěna u linie 27/1.

Některé z těchto linií, by mohly sloužit jako zdroj genetické variability pro další šlechtění. Například linie 46/5 měla jeden z nejvyšších výnosů a vysokou HTZ. U linie byla také zjištěna vysoká schopnost osmotického přizpůsobení.

8 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- Aharon R., Shahak Y., Wininger S., Bendov R., Kapulnik Y., Galili, G., 2003, Overexpression of a plasma membrane aquaporins in transgenic tobacco improves plant vigour under favourable growth conditions but not under drought or salt stress, *Plant Cell* 15, s. 439–447.
- Ali A., Arshad M., Naqvi S.M.S., Ahmad M., Sher H., Fatima S., Kazi A.G., Rasheed A., Kazi A.M., 2014, Exploitation of synthetic-derived wheats through osmotic stress responses for drought tolerance improvement, *Acta Physiologiae Plantarum*, 36(9), s. 2453-2465.
- Allahverdiyev T., 2015, Effect of drought stress on some physiological traits of durum (*Triticum durum* Desf.) and bread (*Triticum aestivum* L.) wheat genotypes, *Journal of Stress Physiology & Biochemistry*, 11(1), s. 29-38, ISSN 1997-0838.
- Anjum S.A., Xiel X., Wangl L., Saleem M.F., Man C., Lei W., 2011, Morphological, physiological and biochemical responses of plants to drought stress, *African Journal of Agricultural Research*, 6(9), s. 2026-2032, ISSN 1991-637X.
- Anwar J., Ali M.A., Hussain M., Sabir W., Khan M., Zulkiffal M., Abdullah M., 2009, Assessment of yield criteria in bread wheat through correlation and path analysis, *Journal of Animal and Plant Sciences*, 19: s. 185–188.
- Balla K., Rakszegi M., Li Z., Békés F., Bencze S., Veisz O., 2011, Quality of Winter Wheat in Relation to Heat and Drought Shock after Anthesis, *Czech Journal of Food Sciences*, 29(2): s. 117–128.
- Bartels D., Sunkar R., 2005, Drought and Salt Tolerance in Plants, *Plant Sciences*, 24 (1), s. 23-58.
- Beales J., Turner A., Griffiths S., Snape J.W., Laurie D.A., 2007, A pseudo-response regulator is misexpressed in the photoperiod insensitive *Ppd-D1a* mutant of wheat (*Triticum aestivum* L.), *Theor Appl Genet* 115, s. 721–733.
- Bednář J., Vyhnánek T., 2004, *Genetika rostlin*, 1. vyd., Brno, Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 146 s., ISBN 80-7157-814-2.
- Bláha L., 2003, *Rostlina a stres*. Praha, Výzkumný ústav rostlinné výroby, 156 s., ISBN 80-86555-32-1.

- Bláha L., Kadlec P., Hnilička F., 2008, Vlivy sucha a vysoké teploty na chemické složení obiliek ozimé pšenice, *Úroda*, 56(9), s. 16–18.
- Blum A., 2005, Drought resistance, water-use efficiency, and yield potential, *Australian Journal of Agricultural Research*, 56, s. 1159–1168.
- Bradáčová M., Bezděková K., Smutná P., 2014, Pužití FT-NIR spektroskopie pro stanovení mykotoxinů v znu ječmene, *Kvasný průmysl*, 60, s. 254-257, ISSN 0023-5830.
- Brenchley R., Spannagl M., Pfeifer M., Barker G. L. A., D'Amore R., Allen A. M., McKenzie N., Kramer M., Kerhornou A., Bolser D., Kay S., Waite D., Trick M., Bancroft I., Gu Y., Huo N., Luo M.Ch., Sehgal S., Gill B., Kianian S., Anderson O., Kersey P., Dvorak J., McCombie W. R., Hall A., Mayer K F. X., Edwards K. J., Bevan M. W., Hall N., 2012, Analysis of the breadwheat genome using whole-genome shotgun sequencing, *Nature*, s.705-710.
- Bruce W.B., Edmeades G.O., Barker T.C., 2002, Molecular and physiological approaches to maize improvement for drought tolerance, *Journal of Experimental Botany* 53, s. 13–25.
- Burešová I., Lorencová E., 2013, *Výroba potravin rostlinného původu: zpracování obilovin*, 1. vyd., Zlín, Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 302 s., ISBN 978-80-7454-278-7.
- Cattivelli L., Rizza F., Badeck F.W., Mazzucotelli E., Mastrangelo A.M., Francia E., Mare C., Tondelli A., Stanca A.M., 2008, Drought tolerance improvement in crop plants: An integrative view from breeding to genomics, *Field Crop. Res.* 105, s. 1–14.
- Cockram J., Jones H., Leigh F.J., O'Sullivan D., Powell W., Laurie D.A., Greenland A.J., 2007, Control of flowering time in temperate cereals: genes, domestication, and sustainable productivity, *Journal of Experimental Botany*, 58(6), s. 1231–1244.
- ČSN 46 1100-2, 2001, *Obiloviny potravinářské - část 2: Pšenice potravinářská*, Praha, Český normalizační institut, 8 s.
- Díaz A., Zikhali M., Turner A.S., Isaac P., Laurie D.A., 2012, Copy Number Variation Affecting the Photoperiod-B1 and Vernalization-A1 Genes Is Associated with Altered Flowering Time in Wheat (*Triticum aestivum*), *PLoS One*, 7(3), 11 s.

- Diviš J., 2010, Pěstování rostlin: (učební texty pro obor provozní podnikatel a pozemkové úpravy a převody nemovitostí, 2. dopl. vyd., České Budějovice: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, 260 s., ISBN 978-80-7394-216-8.
- Dubey R.S., 1999, Photosynthesis in plants under stressful condition, In: Handbook of Photosynthesis, Marcel Dekker, New York, s. 365-397
- Dvořáček V., Sedláček T., Růžek P., Vavera R., Papoušková L., Procházková A., 2010, Efektivní postupy pěstování pšenice pro produkci pšeničného škrobu a bioetanolu, Listy cukrovarské a řepařské, 4, s. 142-145.
- Dyck J.A., Matus-Cádiz M.A., Hucl P., Talbert L., Hunt T., Dubuc J.P., Nass H., Clayton G., Dobb J., Quick J., 2004, Agronomic performance of hard red spring wheat isolines sensitive and insensitive to photoperiod, Crop Science, 44, s. 1976–1981.
- Emam Y., Ranjbar A.M., Bahrani M.J., 2007, Evaluation of yield and yield components in wheat genotypes under post - anthesis drought stress. Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources, 11, s. 328-333.
- Evers T., Millart S., 2001, Cereal grain structure and development: Some implications for quality, Journal of Cereal Science, 36 (3), s. 261–284.
- Farooq M., Wahid A., Kobayashi N., Basra F.S.M.A., 2009, Plant drought stress: effects, mechanisms and management, Agronomy for Sustainable Development, 29: s. 185–212.
- Gaspar T., Franck T., Bisbis B., Kevers C., Jouve L., Hausman JF., Dommes J., 2002, Concepts in plant stress physiology. Application to plant tissue cultures. Plant Growth Regulation 37: s. 263–285.
- Gomez A., Vanzettia L., Helguera M., Lombardoa L., Frasinia J., Miralles D.J., 2014, Effect of *Vrn-1*, *Ppd-1* genes and earliness per se on heading time in Argentinean bread wheat cultivars, Field Crops Research, 158, s. 73–81.
- Goncharov N.P., 2002, Comparative genetics of wheat and their related species, Siberian University, Press Novosibirsk, 2s. 68.
- Guo Z., Song Y., Zhou R., Ren Z., Jia J., 2010, Discovery, evaluation and distribution of haplotypes of the wheat *Ppd-D1* gene, New Phytologist 185, s. 841–851.

- Haberle, J., Trčková, M., Růžek, P. 2008, Příčiny nepříznivého působení vlivu sucha a dalších abiotických faktorů na příjem a využití živin obilninami a možnosti jeho omezení. Praha, Výzkumný ústav rostlinné výroby, 28 s., ISBN 978-80-87011-45-4.
- Horáková V., Dvořáková O., Mezlík T., 2009, Seznam doporučených odrůd 2009, Brno, Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský, 216 s., ISBN 978-80-7401-016-3.
- Horáková V., Dvořáková O., Mezlík T., 2014, Seznam doporučených odrůd 2014, Brno, Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský, 214 s., ISBN 978-80-7401-089-7.
- Hosnedl V., 2008, Kvalita osiva a výnosový potenciál odrůd, In: Hosnedl V., Pšenice - od genomu po rohlík: aktuální poznatky doktorandů získané ve výzkumných laboratořích a na pokusných pozemcích. 1. vyd., České Budějovice, Kurent, 184 s., ISBN 978-80-87111-12-3.
- Hunt L.A., 1979, Photoperiodic responses of winter wheats from different climatic regions. Zeitschrift für Pflanzenzüchtung 82: s. 70–80.
- Chandra B.R., Jingxian Z., Blum L., David Hod T-H., Wue R., Nguyenf H.T., 2004, HVA1, a LEA gene from barley confers dehydration tolerance in transgenic rice (*Oryza sativa* L.) via cell membrane protection, *Plant Science*, 166, s. 855–862
- Chaves M.M., Pereira J.S., Maroco J., 2002, How plants cope with water stress in the field. *Photosynthesis and growth*, *Ann Bot*, 89: s. 907–916.
- Chloupek O., 2008, Genetická diverzita, šlechtění a semenářství, 3. vyd., Praha, Academia, 307 s., ISBN 978-80-200-1566-2.
- Chloupek O., Procházková B., Hrudová E., 2005, Pěstování a kvalita rostlin. 1. vyd., Brno, Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 178 s., ISBN 80-7157-897-5.
- Choulet F., Wicker T., Rustenholz C., Paux E., Salse J., Leroy P., Schlub S., Le Paslier M.-Ch., Magdelenat G., Gonthier C., Couloux A., Budak H., Breen J., Pumphrey M., Liu S., Kong X., Jia J., Gut M., Brunel D., Anderson J. A., Gill B. S., Appels R., Keller B., Feuillet C., 2010, Megabase Level Sequencing Reveals Contrasted Organization and Evolution Patterns of the Wheat Gene and Transposable Element Spaces, *The Plant Cell* 22, s. 1686-1701.

- Janmohammadi M., Sabaghnia S., Nouraein M., 2014, Path Analysis of Grain Yield and Yield Components and Some Agronomic Traits in Bread Wheat, *Acta Univ, Brno, Mendelova univerzita*, 62, s. 945-952.
- Kavar T., Maras M., Kidric M., Sustar-Vozlic J., Meglic V., 2007, Identification of genes involved in the response of leaves of *Phaseolus vulgaris* to drought stress, *Molecular Breeding*. 21, s.159–172.
- Keyvan S., 2010, The effects of drought stress on yield, relative water content, proline, soluble carbohydrates and chlorophyll of bread wheat cultivars, *Journal of Animal & Plant Sciences*, s. 1051- 1060, ISSN 2071-7024.
- Khan N., Naqvi F.N., 2010, Effect of water stress on lipid peroxidation and antioxidant enzymes in local bread wheat hexaploids, *Journal of Food, Agriculture & Environment Vol.8 (2)*: s. 521 - 526.
- Khan N., Naqvi F.N., 2011, Effect of Water Stress in Bread Wheat Hexaploids, *Current Research Journal of Biological Sciences* 3(5): s. 487-498, ISSN: 2041-0778.
- Kilic H., Yagbasanlar T., 2010, The effect of drought stress on grain yield, yield components and some quality traits of durum wheat (*Triticum turgidum* ssp. durum) cultivars. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 38: s. 164–170.
- Kincl M., Krpeš V., 2000, *Základy fyziologie rostlin*. 2. dopl. vyd., Ostrava, Montanex, 221 s., ISBN 80-7225-041-8.
- Kiss T., Balla K., Veisz O., Lang L., Bedo Z., Griffiths G., Isaac P., Karsai I., 2014, Allele frequencies in the *VRN-A1*, *VRN-B1* and *VRN-D1* vernalization response and *PPD-B1* and *PPD-D1* photoperiod sensitivity genes, and their effects on heading in a diverse set of wheat cultivars (*Triticum aestivum* L.). *Molecular Breeding*, 34, s. 297-310.
- Koláčková P., Šišperová E., 2013, Determination of oil content in whole milk thistle seeds using fourier transform near-infrared (FT-NIR) spectroscopy. In Škarpa P., Ryant P., Cerkal R., Polák O., Kovárník J., *MendelNet 2013 - Proceedings of International PhD Students Conference*. 1. vyd., Brno, Mendel University s. 649-653, ISBN 978-80-7375-908-7.

- Kopáčová O., 2007, Trendy ve zpracování cereálií s přihlédnutím zejména k celozrnným výrobkům, 1. vyd., Praha, Ústav zemědělských a potravinářských informací, 55 s., ISBN 978-80-7271-184-0.
- Kovár M., Brestič M., Olšovská K., 2003, Mechanismy tolerance jarného jačmeňa na sucho. I. Osmotické prispôsobenie a metódy jeho hodnotenia., Acta fytotechnica et zootechnica, 3, s 76-81.
- Kramer P., 1983, Water relations of plants. New York, Academic Press, 489 s., ISBN 978-0-12-425040-6.
- Kranner I., Minibayeva F.V., Beckett R.P., Seal C.E., 2010, What is stress? Concepts, definitions and applications in seed science, New Phytologist, 188: s. 655–673.
- Kučerová J., 2004, Technologie cereálií, 1. vyd., Brno, Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 141 s., ISBN 80-7157-811-8.
- Kulp K., Ponte J.G., 2000, Handbook of Cereal Science and Technology. Second Edition. New York: Marcel Dekker, 790 s., ISBN 9780824782948.
- Langer S.M., Longin C.F.H, Würschum T., 2014, Flowering time control in European winter wheat, Frontiers in Plant Science, 5, 11 s.
- Larcher W., 2003, Physiological plant ecology: ecophysiology and stress physiology of functional groups, 4. vyd., New York, Springer, 513 s., ISBN 978-3-540-43516-7.
- Law C.N., Sutka J., Worland A.J., 1978, A genetic study of day length response in wheat. Heredity, 41, s.185–191.
- Leonova I., Pestsova E., Salina E., Efremova T., Röder M., Börner A., Fischbeck G., 2003, Mapping of the *Vrn-B1* gene in *Triticum aestivum* using microsatellite markers, Plant Breeding, 122 (3), s. 209–212.
- Lichtfouse E., Navarette M., Debaeke P., Souchère V., Alberola C., Ménassieu J., 2009, Agronomy for sustainable agriculture, Agronomy for Sustainable Development, 29(1), s 1-6.
- Lichtenthaler H.K., 1996, Vegetation stress: an introduction to the stress concept in plants, Plant Physiology, 148, s. 4–14.
- Lisar S.Y. S., Motafakkerazad R., Hossain M.M., Rahman I.M.M., 2012, Water Stress in Plants: Causes, Effects and Responses, Water Stress, s. 1-14.

- López-Castañeda C., Richards R.A., 1994, Variation in temperate cereals in rainfed environments III. Water use and water-use efficiency, *Field Crops Research*, 39 (2 – 3): s. 85–98.
- Luo M.C., Yang Z.L., You F.M., Kawahara T., Waines J.G., Dvorak J., 2007, The structure of wild and domesticated emmer wheat populations, gene flow between them and the site of emmer domestication. *Theoretical and Applied Genetics*. 114: s. 947-959.
- Luštinec J., Žárský V., 2003, Úvod do fyziologie vyšších rostlin, 1. vyd., Praha, Karolinum, 261 s., ISBN 80-246-0563-5.
- Marcińska I., Czyczyło-Mysza I., Skrzypek E., Filek M., Grzesiak S., Grzesiak M.T., Janowiak F., Hura F., Dziurka M., Dziurka K., Nowakowska A., Quarrie S.A., 2013, Impact of osmotic stress on physiological and biochemical characteristics in drought-susceptible and drought-resistant wheat genotypes, *Acta Physiol Plant*, 35: s. 451–461.
- Martinek P., Váňová M., 2012, Vliv technologie pěstování a ročníku na znaky výnosu a kvalitu zrna vybraných odrůd a linií ozimé pšenice s odlišnou morfologií klasu, *Obilnářské listy*, 20(4), s. 90-97.
- Martinic Z.F., 1975, Life cycle of common wheat varieties in natural environments as related to their response to shortened photoperiod. *Zeitschrift für Pflanzenzüchtung*, 75, s. 237–251.
- Masarovičová E., Repčák M., 2002, *Fyziológia rastlín*. Bratislava, Univerzita Komenského, 303 s., ISBN 80-223-1615-6.
- Míka V., Kohoutek A., Nerušil P., 2008, *Spektroskopie v blízké infračervené oblasti (NIR): výběr praktických aplikací v zemědělství*. Praha: Výzkumný ústav rostlinné výroby, 44 s. ISBN 978-80-87011-53-9.
- Moudrý J., 2003, *Tvorba výnosu a kvalita ovsu*. Vědecká monografie, České Budějovice, ZF JU, 167 s., ISBN: 80-7040-659-3.
- Nezhadahmadi A., Prodhan Z.H., Faruq G., 2013, Drought Tolerance in Wheat, *The ScientificWorld Journal*, 12 s.
- Ondřejčák F., Muchová D., 2005, Podmienky pre dosahovanie kvality potravinárskej pšenice v zemiakarskej oblasti. *Naše pole*, 9(12).

- Pánková K., Milec Z., Tomková L., Prášil I.T., Snape J.W., 2011, Vyhledávání a identifikace nových genů a alel ovlivňujících procesy kvetení pšenice pro dosahování vyšších výnosů v době měnícího se klimatu, Úroda, vědecká příloha, s. 445-454, ISSN 0139-6013
- Paux E., Roger D., Badaeva E., Gay G., Bernard M., Sourdille P., Feuillet C., 2006, Characterizing the composition and evolution of homoeologous genomes in hexaploid wheat through BAC, *The Plant Journal*, 48 (3), s. 463–474.
- Pavlová L., 2005, *Fyziologie rostlin*. 1. vyd., Praha, Karolinum, 253 s., ISBN 80-246-0985-1.
- Pelikán M., 2001, *Zpracování obilovin a olejnin*, 2. nezměn. vyd., Brno, Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 148 s., ISBN 80-7157-525-9.
- Petr J., 1997, *Produkční procesy u rostlin*. In: *Speciální produkce rostlinná – I.*, Praha, Agronomická fakulta ČZU, 197 s.
- Petr J., 2008, *Žito a tritikale. Biologie, pěstování, kvalita a využití*, Praha, Profi Press, s.r.o., 192 s.
- Prášil I.T., 2009, Kdy kvete pšenice aneb Co lze vyčíst z přečteného genu, *Vesmír* 88, s. 567 - 571.
- Procházka S., 1998, *Fyziologie rostlin*. 1. vyd., Praha, Academia, 484 s., ISBN 80-200-0586-2.
- Prugar J., 2008, *Kvalita rostlinných produktů na prahu 3. tisíciletí*, Praha, Výzkumný ústav pivovarský a sladařský ve spolupráci s komisí jakosti rostlinných produktů ČAZV, 327 s., ISBN 978-80-86576-28-2.
- Rampino P., Pataleo S., Gerardi C., Mita G., Perrotta C., 2006, Drought stress response in wheat: physiological and molecular analysis of resistant and sensitive genotypes, *Plant, Cell and Environment*, s. 2143-2152.
- Reynolds M.P., Pellegrineshi A., Skovmand B., 2005, Sink-limitation to yield and biomass: a summary of some investigations in spring wheat, *Annals of Applied Biology*, 146(1): s. 39–49.
- Řepková J., *Genetika rostlin*, Brno, Masarykova univerzita, s. 189, ISBN: 978-80-210-6408-9.
- Shabala S., 2012, *Plant stress physiology*, Wallingford, CABI, 318 s. ISBN 978-1-84593-995-3.

- Shanker A.K., Venkateswarlu B., 2011, Abiotic stress in plants - Mechanism and adaptations, InTech, 428 s., ISBN 978-953-307-394-1.
- Shewry P.R., 2009, Wheat. *Journal of Experimental Botany*, s. 1537–1553.
- Shindo C., Sasakuma T., 2002, Genes responding to vernalization in hexaploid wheat, *Theoretical and Applied Genetics*, 104, s. 1003-1010.
- Smutná P., Šipláková T., 2012, Výsledky odrůdových pokusů s pšenicí ozimou v Žabčicích v období 2010-2011. In *Sborník odborných příspěvků a sdělení "MendelAgro 2012"*. 1. vyd., Brno, Mendelova univerzita v Brně, s. 90-93, ISBN 978-80-7375-623-9.
- Snustad D., Simmons M. J., Relichová J., 2009, *Genetika*, 1. vyd., Brno, Masarykova univerzita, 871 s., ISBN 978-80-210-4852-2.
- Soleimani Z., Ramshini H., Mortazavian S.M.M., Fazelnajafabadi M., Foughi B., 2014, Screening for drought tolerance in Iranian wheat genotypes (*Triticum aestivum* L.) using physiological traits evaluated under drought stress and normal condition, *Australian Journal of Crop Science*, 8(2):s. 200-207., ISSN 1835-2707.
- Somerville C., Briscoe J. (2001) Genetic engineering and water, *Science*, 292, s. 2217.
- Strasser R.J., 1988, A concept for stress and its application in remote sensing. In: Lichtenthaler H.K. (ed.), *Applications of Chlorophyll Fluorescence*. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, s. 333–337.
- Sreenivasulu N., Schnurbusch T., 2011, A genetic playground for enhancing grain number in cereals. *Trends in Plant Science*, 17(2): s. 91–101.
- Svensson J., Ismail A.M., Palva E.T., Close T.J., 2002, Dehydrins, In: Storey K.B., Storey J.M., *Cell and Molecular Responses to stress*, Amsterdam, Elsevier Science, s. 155–171.
- Šárka E., Bubník Z., 2010, Morfologie, chemická struktura, vlastnosti a možnost využití pšeničného B-škrobu, *Chem. Listy* 104, s. 318-325.
- Šíp V., Chrpová J., Žofajová A., Milec Z., Mihalík D., Pánková K., Snape J., 2010, Evidence of selective changes in winter wheat in middle-European environments reflected by allelic diversity at loci affecting plant height and photoperiodic response, *The Journal of Agricultural Science*, 149(03), s. 313-326.
- Šramková Z., Gregová E., Šturdík E., 2009, Chemical composition and nutritional quality of wheat grain, *Acta Chimica Slovaca*, 2(1), s.115 - 138.

- Tan Y., Liang Z., Shao H., 2006, Effect of water deficits on the activity of anti-oxidative enzymes and osmoregulation among three different genotypes of *Radix Astragali* at seeding stage, *Elsevier B.V.*, 49: s. 60–65.
- Todorovska E.G., Bozhanova V., Dechev D., Valkova N., 2014, Osmoregulation capacity in Bulgarian durum wheat, *Biotechnology & Biotechnological Equipment*, 28(5), s. 786-797.
- Touchette B.W., Iannacone L.R., Turner G.E., Frank A.R., 2007, Drought tolerance versus drought avoidance: A comparison of plant-water relations in herbaceous wetland plants subjected to water withdrawal and repletion, *Wetlands*, 27, s. 656-667, ISSN 0277-5212.
- Turner N.C., Wright G.C., Siddique K.H.M., 2001, Adaptation of grain legumes (pulses) to water-limited environments, *Adv. Agron.* 71, s. 123–231.
- Tyerman S.D., Niemietz C.M., Brameley H., 2002, Plant aquaporins: multifunctional water and solute channels with expanding roles, *Plant Cell Environ.* 25, s. 173–194.
- Urban J., Vašák J., 2014, *Zemědělské systémy II.: (rostlinná produkce)*, 1. vyd., Praha, Česká zemědělská univerzita, Provozně ekonomická fakulta, 85 s., ISBN 978-80-213-2464-0.
- Valkoun J., 2001, Wheat pre-breeding using wild progenitors, *Euphytica* 119, s. 17-23.
- Wang X., Zhang J., Li F., Gu J., He T., Zhang X., Li Y., MicroRNA identification based on sequence and structure alignment, *Bioinformatics*, 21: s. 3610-3614.
- Wery J., Silim S.N., Knights E.J., Malhotra R.S., Cousin R., 1994, Screening techniques and sources and tolerance to extremes of moisture and air temperature in cool season food legumes, *Euphytica*, 73, s. 73–83.
- Worland A.J., Börner A., Korzun V., Li W.M., Petrovic S., Sayers E.J., 1998, The influence of photoperiod genes to the adaptability of European winter wheats, *Euphytica*, 100: s. 385–394.
- Xin M., Wang Y., Yao Y., Xie C., Peng H., Ni Z., Sun Q., 2010, Diverse set of microRNAs are responsive to powdery mildew infection and heat stress in wheat (*Triticum aestivum* L.), *BMC Plant Biology*, 10, 123 s.
- Zimolka J., 2000, *Speciální produkce rostlinná - rostlinná výroba: (polní a zahradní plodiny, základy pícninářství)*, 1. vyd., Brno, Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 245 s., ISBN 80-7157-451-1.

Zimolka J., 2005, Pšenice: pěstování, hodnocení a užití zrna, 1. vyd., Praha, Profi Press, 179 s., ISBN 80-86726-09-6.

Seznam internetových zdrojů

Český statistický úřad, 2014: Odhady sklizní [cit. 9. 2. 2015].

Dostupné na: <http://www.czso.cz/csu/csu.nsf/informace/cskl101414.doc>.

Food and Agriculture Organization, 2007: Water and glance [cit. 18. 2. 2015].

Dostupné na: <http://www.fao.org/nr/water/art/2007/glance/facts3.html>.

Food and Agriculture Organization, 2013: Crop Water Information: Wheat [cit. 22. 2. 2015].

Dostupné na: http://www.fao.org/nr/water/cropinfo_wheat.html.

Hubík, K., Mareček, J., 2002: Kvalita obilovin [cit. 27. 4. 2015]. Dostupné na: <http://uroda.cz/kvalita-obilnin/>.

Limagrain Central Europe Cereals, s. r. o., 2013: Ozimá pšenice ETELA [cit. 20. 4. 2015]. Dostupné na:

http://www.limagraincentraleurope.com/docs/products/335_pdf1.pdf.

Moudrý J., 2009: Fyziologické základy tvorby výnosu [cit. 27. 4. 2015]. Dostupné na: www2.zf.jcu.cz/~moudry/FZTV%20TUSHK/FZTV%20txt.doc.

Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský, 2014: Metodika zkoušení osiva a sadby [cit. 15. 4. 2015]. Dostupné na:

http://eagri.cz/public/web/file/306737/Methodika_zkouseni_osiva_a_sadby.pdf.

Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský, 2014: Registr odrůd pro rok 2014 [cit. 9. 2. 2015].

Dostupné na: http://eagri.cz/public/web/file/247574/SO_NL_2014.pdf.

9 SEZNAM OBRÁZKŮ

- Obr. 1 Rozdíly mezi hodnocenými liniemi v polních podmínkách
- Obr. 2 Rozdíly v barevných odstínech linií (linie 53/2, 30/2, 46/5)
- Obr. 3 Rodičovská odrůda CHAM6
- Obr. 4 Ukázka vybraných linií s odlišným klasem (linie 51/1, 53/3)
- Obr. 5 Délka klasu dosažena testovanými liniemi na obou lokalitách (Žabčice i Branišovice), vertikální sloupce označují 0,95 intervaly spolehlivosti
- Obr. 6 Hmotnost klasu dosažena testovanými liniemi na obou lokalitách (Žabčice i Branišovice), vertikální sloupce označují 0,95 intervaly spolehlivosti
- Obr. 7 Výnos zrna na rostlinu dosažený testovanými liniemi na obou lokalitách
- Obr. 8 Hodnoty HTZ dosažené testovanými liniemi na obou lokalitách
- Obr. 9 Obsah N-látek v zrně testovaných linií na obou lokalitách
- Obr. 10 Obsah škrobu v zrně testovaných linií na obou lokalitách
- Obr. 11 Hodnoty osmotického potenciálu vybraných linií
- Obr. 12 Hodnocení genu *Ppd-D1* (*Ppd-D1a* – necitlivá k fotoperiodě, *ppd-D1b* – citlivá k fotoperiodě)
- Obr. 13 Hodnocení genu *Ppd-D1* (*Ppd-D1a* – necitlivá k fotoperiodě, *ppd-D1b* – citlivá k fotoperiodě)
- Obr. 14 Hodnocení genu *Ppd-D1* (*Ppd-D1a* – necitlivá k fotoperiodě, *ppd-D1b* – citlivá k fotoperiodě)
- Obr. 15 Hodnocení genu *Ppd-D1* (*Ppd-D1a* – necitlivá k fotoperiodě, *ppd-D1b* – citlivá k fotoperiodě)

10 SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Průměrné zastoupení složek v sušině obilky pšenice obecné

Tab. 2 Přehled použitých prumerů

Tab. 3 Reakční směs (1 vzorek)

Tab. 4 Podmínky reakce

Tab. 5 Analýza rozptylu pro délku klasu

11 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

ABA	Kyselina abscisová
CO ₂	Oxid uhličitý
ČSN	Československá
dl. os	Dlouze osinatá
DNA	Deoxyribonukleová kyselina
FAO	Organizace pro výživu a zemědělství
H ₂ O ₂	Peroxid vodíku
HTZ	Hmotnost tisíce zrn
ICARDA	International Center for Agricultural Research in the Dry Areas
kr. os	Krátce osinatá
LEA	Late Embryogenesis Abundant
MPa	Megapascal
NIR	Blízké infračervené záření
N-látky	Dusíkaté látky
Pa	Pascal
PS II	Fotosystém II
SO	Směrodatná odchylka
QTL	Lokusy pro kvantitativní znaky (Quantitative traits loci)
ROS	Reaktivní formy kyslíku (Reactive Oxygen Species)
ÚKZÚZ	Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský
μl	Mikrolitr

12 PŘÍLOHY

Příloha 1 Meteorologické záznamy 2014 - lokalita Žabčice

Měsíc a rok	Datum	Teplota [°C]			Srážky [mm]			Měsíční	
		Průměrná denní teplota	Absolutní přízemní		Součet srážek	Počet dní se srážkami		teplotní normál °C	srážkový normál mm
			max	min		do 5 mm	nad 5 mm		
Březen	1-10	6,1	13,0	-0,6	0,20	1	0	4,3	23,9
	11-20	9,2	16,8	1,6	4,00	3	0		
	21-31	10,0	17,1	2,4	1,40	1	0		
	1-31	8,5	15,6	1,1	5,6	5,0	0,0		
Duben	1-10	11,6	19,5	3,8	2,01	4	0	9,6	33,2
	11-20	8,7	16,5	1,3	2,41	5	0		
	21-30	15,1	21,6	8,6	6,80	5	0		
	1-30	11,8	19,2	4,6	11,2	14,0	0,0		
Květen	1-10	13,3	20,9	5,6	10,00	4	1	14,6	62,8
	11-20	12,2	17,0	7,5	31,80	3	3		
	21-31	17,8	24,4	11,3	21,00	5	1		
	1-31	14,4	20,8	8,1	62,8	12,0	5,0		
Červen	1-10	18,9	27,2	9,2	0,40	1	0	17,7	68,6
	11-20	19,5	26,5	11,3	1,20	1	0		
	21-30	18,2	25,6	10,0	41,80	0	3		
	1-30	18,8	26,4	10,2	43,4	2,0	3,0		

Příloha 2 Meteorologické záznamy 2014 - lokalita Branišovice

Měsíc a rok	Datum	Teplota [°C]			Srážky [mm]			Měsíční	
		Průměrná denní teplota	Absolutní přízemní		Součet srážek	Počet dní se srážkami		teplotní normál °C	srážkový normál mm
			max	min		do 5 mm	nad 5 mm		
Březen	1-10	6,3	15,3	-1,9	0,80	1	0	4,6	25,0
	11-20	9,7	20,2	-3,4	3,10	1	0		
	21-31	9,5	21,4	-0,7	2,00	2	0		
	1-31	8,5	21,4	-3,4	5,9	4,0	0,0		
Duben	1-10	11,9	23,6	2,2	1,90	2	0	9,7	29,2
	11-20	9,0	21,1	-2,1	2,40	4	0		
	21-30	15,4	24,0	5,4	7,20	4	0		
	1-30	12,1	24,0	-2,1	11,5	10,0	0,0		
Květen	1-10	13,8	24,5	0,0	13,00	3	1	15,0	52,8
	11-20	12,5	25,0	4,6	34,10	4	3		
	21-31	18,3	29,2	7,4	18,80	3	1		
	1-31	15,0	29,2	0,0	65,9	10,0	5,0		
Červen	1-10	20,2	36,0	7,3	2,20	1	0	18,1	64,8
	11-20	20,2	35,6	6,1	1,60	3	0		
	21-30	18,9	30,6	7,2	18,00	2	1		
	1-30	19,8	36,0	6,1	21,8	6,0	1,0		

Příloha 3 Hodnoty sledovaných znaků u klasového rozboru

Genotypy	počet platiných	délka osin průměr	Délka osin SO	délka klasu průměr	délka klasu SO	hmotnost klasu průměr	hmotnost klasu SO	počet plodných klásků průměr	počet plodných klásků SO	délka klasového větve průměr	délka klasového větve SO	počet článků průměr	počet článků SO.	počet zrn v klasu průměr	počet zrn v klasu SO	hmotnost zrn v klasu průměr	hmotnost zrn v klasu SO
Etela	10	0,3	0,0	11,9	1,3	3,7	0,9	16,2	2,5	11,2	1,3	21,5	2,3	55,2	11,3	2,8	0,7
CHAM6	10	6,1	0,7	9,3	1,1	2,1	0,4	16,7	0,9	9,1	0,8	18,0	1,4	28,5	5,6	1,4	0,3
Meritto	10	0,5	0,0	9,8	1,1	2,5	0,5	15,0	1,9	8,9	1,1	19,6	1,4	38,9	5,9	2,0	0,4
linie 27/1	10	8,1	0,7	9,3	1,6	2,5	0,6	16,8	2,5	10,0	1,3	18,9	2,5	34,4	8,1	1,6	0,4
linie 27/2	10	0,3	0,1	9,6	0,7	3,1	1,4	17,9	2,2	8,8	0,8	18,7	1,6	41,8	18,6	2,3	1,2
linie 27/4	10	5,4	0,4	7,8	1,0	2,0	0,4	14,5	1,6	7,6	0,9	15,2	1,5	31,9	7,2	1,6	0,4
linie 27/6	10	5,4	0,6	8,9	1,3	2,2	0,4	16,4	1,8	8,6	0,7	16,7	0,9	36,9	6,8	1,8	0,3
linie 27/7	10	4,0	1,4	8,3	1,8	1,8	0,7	13,8	3,4	8,8	1,7	16,4	3,8	26,5	9,6	1,3	0,5
linie 27/8	10	0,5	0,0	8,6	1,0	2,8	0,7	17,9	1,9	9,3	1,0	20,5	1,8	44,8	10,2	2,3	0,6
linie 30/1	10	0,5	0,0	9,7	1,0	3,2	0,5	20,1	1,4	9,0	0,8	21,3	0,9	50,5	7,2	2,6	0,4
linie 30/2	10	7,0	0,6	10,6	1,9	3,4	1,0	18,3	3,1	10,2	1,7	18,8	2,9	47,4	12,7	2,5	0,6
linie 30/3	10	6,3	1,0	11,2	1,2	2,8	0,9	16,7	2,5	11,1	1,3	18,6	1,3	39,6	7,6	2,0	0,5
linie 30/4 dl.os	10	5,4	0,6	8,2	0,2	1,3	0,2	7,3	1,5	7,3	0,5	16,4	0,7	11,2	4,6	0,6	0,2
linie 30/4 kr.os	10	5,7	1,0	8,7	0,8	2,4	0,4	16,6	1,9	9,6	1,4	19,4	2,0	32,3	5,0	1,6	0,3
linie 30/5 sv	10	1,2	0,4	10,9	1,2	3,4	0,8	20,0	1,6	10,8	0,9	20,0	1,7	57,5	9,0	2,7	0,6
linie 30/5 tm	10	0,5	0,0	11,5	1,4	3,8	0,9	20,7	2,5	11,3	1,6	23,1	2,6	53,3	14,4	2,6	0,9
linie 30/6 sv	10	6,5	0,6	9,2	1,1	2,4	0,5	15,9	1,9	9,8	1,2	18,5	1,7	31,5	5,3	1,7	0,4
linie 30/6 tm	10	0,5	0,0	9,6	1,0	2,2	0,4	14,5	3,7	9,3	1,4	18,8	2,7	26,6	4,4	1,5	0,3
linie 31/2	10	7,1	0,8	10,7	1,1	2,4	0,4	15,3	1,1	10,7	0,7	17,0	1,7	33,1	6,2	1,7	0,3
linie 42	10	5,0	0,8	8,5	1,7	2,1	0,6	15,0	2,7	9,8	1,9	18,9	2,8	25,0	7,0	1,2	0,4
linie 45/2	10	6,0	0,8	9,0	1,9	2,2	0,8	15,5	3,7	9,0	2,2	17,4	3,9	36,7	11,7	1,6	0,5
linie 45/4	10	6,1	0,9	9,8	0,9	2,6	0,4	17,8	2,9	9,7	1,1	19,5	1,6	38,5	5,5	1,8	0,3
linie 46/4	10	1,3	0,4	9,9	1,1	1,9	0,3	15,7	2,3	9,4	1,0	18,8	1,3	26,1	4,8	1,2	0,3
linie 46/5	10	6,0	1,0	10,3	2,6	3,1	1,3	13,5	5,0	9,4	2,2	16,5	4,3	37,0	15,7	2,2	1,1
linie 46/9	10	6,4	0,6	10,3	0,9	2,4	0,5	15,0	1,6	9,4	0,9	18,3	1,3	33,7	5,8	1,8	0,3
linie 46/10	10	7,2	0,7	10,4	1,5	2,6	0,7	18,1	1,8	10,2	1,5	20,2	2,3	45,9	9,0	2,0	0,5
linie 46/15	10	6,9	0,9	11,5	1,8	3,9	1,1	17,8	2,3	11,3	1,3	18,4	1,8	51,8	13,4	2,9	0,9
linie 46/16	8	7,5	0,5	11,9	1,4	3,9	1,2	18,0	2,9	12,0	1,2	23,4	1,3	46,0	17,0	2,5	0,9
linie 46/17	10	6,4	0,4	10,6	1,7	2,5	0,5	17,1	1,7	10,2	1,4	18,7	1,7	42,0	9,5	1,8	0,5
linie 46/18	10	6,9	0,5	11,5	1,5	3,4	0,8	17,3	2,6	11,3	1,5	20,4	2,0	50,5	10,6	2,5	0,6
linie 46/22	10	5,9	0,7	9,0	1,7	2,3	0,3	14,5	2,0	10,4	1,3	18,3	2,0	33,6	3,0	1,6	0,2
linie 46/23	10	5,6	0,5	9,3	1,0	1,9	0,3	14,6	1,9	8,8	0,7	17,5	1,2	31,8	5,1	1,4	0,3
linie 46/25	10	0,5	0,0	9,5	1,2	2,4	0,3	15,2	1,7	9,3	0,8	20,8	0,8	32,7	4,3	1,8	0,3
linie 47/2	10	0,5	0,0	9,3	0,6	2,8	0,3	19,9	0,9	9,1	0,7	20,7	1,2	48,1	3,4	2,3	0,2
linie 47/3	10	5,2	1,2	8,6	1,4	2,1	0,7	15,2	2,2	8,1	1,1	16,2	1,6	33,0	9,4	1,6	0,5
linie 47/5	10	5,9	0,8	8,4	0,9	2,3	0,3	15,6	1,7	9,0	1,3	17,1	1,9	39,1	4,9	1,7	0,2
linie 47/6	10	0,5	0,0	7,4	0,8	2,3	0,5	16,4	2,3	7,6	1,4	17,7	2,9	36,5	9,7	1,8	0,5
linie 51/1	10	0,5	0,0	12,1	1,5	2,1	0,3	18,8	1,9	12,7	1,6	21,4	2,6	35,3	7,0	1,4	0,3
linie 53/1	10	0,5	0,0	9,1	1,2	2,9	0,7	18,9	2,0	8,9	1,0	20,0	1,6	43,2	8,9	2,3	0,6
linie 53/2	10	7,6	0,7	9,4	1,1	3,7	1,2	17,2	1,5	9,7	0,8	18,9	1,7	56,2	14,1	2,7	0,9

linie 53/3	10	1,1	0,3	11,6	2,0	2,0	0,6	17,4	2,3	12,7	3,1	17,6	2,5	28,2	8,0	1,2	0,4
linie 53/4	10	0,5	0,0	10,5	1,7	1,9	0,7	19,8	3,5	11,1	1,7	20,7	3,2	30,7	10,9	1,1	0,4
linie 53/6 tm	10	6,6	1,3	9,4	1,8	3,3	1,1	17,9	1,9	8,7	1,7	17,5	2,3	46,6	12,2	2,5	0,9
linie 53/6 sv	10	5,8	0,7	9,2	0,5	1,8	0,7	16,5	2,5	9,1	1,0	18,9	1,6	25,5	12,4	1,0	0,6
linie 53/8	10	7,1	0,5	11,6	1,6	2,8	0,5	19,1	3,0	11,7	1,4	23,6	2,6	43,6	9,0	1,9	0,4
linie 53/8 os	10	6,4	0,9	8,8	1,2	2,2	0,7	16,0	2,3	8,3	1,0	17,9	1,9	31,4	8,9	1,3	0,5
Vš.skup.	458	4,3	2,8	9,8	1,8	2,6	0,9	16,6	3,2	9,8	1,8	19,0	2,8	38,0	13,1	1,9	0,7