Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra botaniky a fyziologie rostlin

Tvorba výnosu u barevných odrůd pšenice seté

Bakalářská práce

Autor práce: Natálie Terschová

Obor studia: Rostlinná produkce

Vedoucí práce: Ing. Jiří Kudrna
Konzultant: doc. Ing. František Hnilička, Ph.D.

© 2022 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Tvorba výnosu u barevných odrůd pšenice seté" jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího a konzultanta bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autorka uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob. Elektronická verze bakalářské práce je totožná s verzí tištěnou.

V Praze dne 22.4. 2022 _____

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala panu Ing. Jiřímu Kudrnovi a panu doc. Ing. Františku Hniličkovi, Ph.D. za pomoc, ochotu a trpělivost při vedení mé bakalářské práce.

Tvorba výnosu u barevných odrůd pšenice seté

Souhrn

Pšenice setá (*Triticum aestivum* L.) je nejpěstovanější obilninou světa. V dějinách pěstování kulturních plodin mají nejdůležitější postavení obiloviny. Počátky pěstování pšenice jsou spojeny s počátky zemědělství jako takového. Především z dietetického hlediska má zásadní postavení právě díky zdrojům sacharidů a celé řadě proteinů. Tato surovina se využívá k výrobě potravin, ale i jako krmivo, pro výrobu škrobu, slámy nebo její zbytky jako energetická biomasa. Pšenice je spolu s rýží nejrozšířenější zemědělskou komoditou a mezi největší producenty patří Čína, Indie, Rusko a USA.

Současné šlechtitelské trendy se ubírají směrem vyšších výnosů, kterých lze dosáhnout např. změnami morfotypu klasu. Při vyhledávání zdrojů nových vlastností lze využít i jiné alternativní metody a jednou z nich je genotyp se změněným zbarvením zrna. Zbarvení zrna způsobuje purpurový perikarp (purpurová obilka), modrý aleuron (modrá obilka) a žlutý endosperm (žlutá obilka).

V bakalářské práci byl u osmi vybraných genotypů pšenice seté sledován vliv genotypu a ontogenetického vývoje na utváření základních výnosotvorných prvků a dále byl stanoven výnos hlavního a vedlejšího produktu. Pokus se uskutečnil ve skleníku v částečně řízených podmínkách se zachováním přirozeného světelného režimu. Celkem se uskutečnilo pět odběrů v hlavních vývojových fázích: BBCH 47; 55; 65; 75; 89.

Výsledky ukazují, že výnos zrna a slámy byl ovlivněn ontogenetickým vývojem rostlin, kdy do počátku kvetení je výnos tvořen pouze slámou, od fáze plného kvetení se začínají tvořit generativní orgány. Na konci vegetace je zaznamenána změna poměru generativních a vegetativních, kdy dochází k vyšší tvorbě. Ve většině případů dochází k vyšší tvorbě generativních orgánů na úkor vegetativních. Byly potvrzeny rozdíly v tvorbě výnosu u genotypů s barevným endospermem, kdy nižších výnosů zrna dosahovala odrůda ANDW 20A s modrým endospermem, oproti tomu genotyp ANK-1B s červeným endospermem měla výnos zrna nejvyšší. V případě slámy byl tento trend opačný.

Klíčová slova: pšenice setá, genotypy, barevné zrno, výnos

Yeld formation of colored varieties of wheat plants

Summary

Common wheat (Triticum aestivum L.) is the most cultivated cereal in the world. Cereals have the most important role in the history of crop production. The beginnings of wheat cultivation are linked to the beginnings of agriculture as such. Especially from a dietary point of view, it has a crucial position thanks to its carbohydrate sources and a wide range of proteins. This raw material is used for food production, but also as feed, for the production of starch, straw or its residues as energy biomass. Wheat, along with rice, is the most widespread agricultural commodity and the largest producers are China, India, Russia and the USA.

Current breeding trends are moving towards higher yields, which can be achieved, for example, by changes in the morphology of the ear. Other alternative methods can be used to search for sources of new properties, and one of them is the genotype with the changed grain colour.

In the bachelor's thesis, the influence of genotype and ontogenetic development on the formation of basic yield-generating elements was monitored for eight selected genotypes of common wheat, and the yield of the main and by-product was also determined. The experiment was performed in a greenhouse under partially controlled conditions while maintaining a natural light regime. A total of five samples were taken in the main development phases: BBCH 47; 55; 65; 75; 89.

The results show that the yield of grain and straw was influenced by the ontogenetic development of plants, when by the beginning of flowering the yield is formed only by straw, from the phase of full flowering generative organs begin to form. At the end of vegetation, a change in the ratio of generative and vegetative is recorded, when to higher production. In most cases, higher generative organ production at the expense of vegetative yield differences were confirmed in genotypes with colored endosperm, where ANDW 20A with blue endosperm achieved lower grain yields, while ANK-1B genotype with red endosperm had the highest grain yield. In the case of straw, this trend was the opposite.

Keywords: wheat, genotypes, colored grain, yeld

Obsah

1 Úvod 7

2 Cíle a hypotézy práce 8

3 Literární rešerše 9

3.1 Botanická charakteristika pšenice seté 9

3.1.1 Stavba obilky 10

3.2 Historie a současnost pěstování pšenice seté 11

3.3 Nové trendy ve šlechtění pšenice 14

3.3.1 Vodní deficit 16

3.3.2 Barevná obilka 22

3.4 Tvorba výnosu 23

3.4.1 Velikost asimilační plochy 24

3.4.2 Vliv trvání příznivých podmínek 25

3.4.3 Rychlost fotosyntézy 26

3.4.4 Vliv činnosti kořenového systému na fotosyntézu 27

3.5 Výnosotvorné prvky 28

3.6 Výnos a jeho kvalita 30

4 Metodika 32

4.1 Použitý rostlinný materiál 32

4.2 Založení pokusu 32

4.3 Měření fyziologických charakteristik 33

4.3.1 Příprava vzorku 33

4.3.2 Stanovení biomasy 33

4.3.3 Stanovení výnosu 33

5 Výsledky 34

6 Diskuse 38

7 Závěr 40

8 Literatura 41

9 Samostatné přílohy I

1 Úvod

V dějinách pěstování kulturních plodin mají nejdůležitější postavení obiloviny. Pěstování pšenice je spojeno s počátky zemědělství jako takového. Především z dietetického hlediska má pšenice zásadní postavení právě díky zdrojům sacharidů a celé řadě proteinů. Tato surovina se využívá k výrobě potravin, ale i jako krmivo, pro výrobu škrobu, slámy nebo její zbytky jako energetická biomasa. Pšenice je spolu s rýží nejrozšířenější zemědělskou komoditou a mezi její největší producenty se řadí Čína, Indie, Rusko a USA.

Stejně jako ostatní rostlinné komodity, tak i pšenice je závislá na průběhu počasí a dalších faktorech, které ovlivňují její výnos a kvalitu. Jsou období, kdy cena pšenice roste nebo naopak padá, to nasvědčuje tomu, že pšenice je sezónní komodita. Značné množství zemí si ji pěstuje samo, proto je její cena víceméně odolná proti různým obchodním válkám.

S migrujícími národy se plodiny dostávaly do jiných oblastí a vytvářely se tak nové a lepší formy. V posledních stu letech nastalo zefektivnění šlechtitelské práce s ohledem na Mendelovy zákony, principy evoluce a rozvoj genetiky. Současné šlechtění pšenice se zaměřuje především na vysoké výnosy spojené se změnami morfotypu klasu nebo využitím dlouhých plev, a především na suchovzdornost. Cílem je najít výraznější znaky s vyšší dědivostí, které by současně korelovaly s výnosem. Pro vytvoření odrůd s dobrou adaptací na dané půdně klimatické podmínky se obvykle šlechtění pšenice uskutečňuje v místech, kde se předpokládá i uplatnění vytvořených odrůd.

Lepší výkon pšenice a produktivita porostu je výsledek stále se vyvíjející šlechtitelské práce. Spolehlivým způsobem pro zvyšování výnosů je zvyšování genetického potenciálu odrůd. V posledních letech je vyhledávanou alternativou genotyp se změněnou barvou zrna, který s sebou mimo jiné nese i celou řadu zdravotních benefitů.

2 Cíle a hypotézy práce

Existuje mnoho alternativních cest zvýšení výnosotvorného potenciálu a jednou z nich je pěstování pšenic s barevným endospermem. Zbarvení pšenice způsobuje purpurový perikarp (purpurová obilka), modrý aleuron (modrá obilka) a žlutý endosperm (žlutá obilka). Specifické genotypy se mohou lišit v reakci na podmínky vnějšího prostředí.

Cílem práce je sledovat vliv genotypu na výši výnosu hlavního a vedlejšího produktu.

Na základě stanoveného cíle byly navrženy následující vědecké hypotézy:

1. Ovlivňuje genotyp výši výnosu.
2. Existují genotypové rozdíly v utváření základních výnosotvorných parametrů.

Pšenice setá (*Triticum aestivum* L.) byla vybrána jako modelová plodina, protože má široké spektrum využití a je nejpěstovanější plodinou světa.

3 Literární rešerše

3.1 Botanická charakteristika pšenice seté

Rod pšenice náleží do čeledi lipnicovitých (*Poaceae*). Jedná se o jednoletou trávu (Dostál 1989).

Podle Dostála (1989) se zástupci rodu *Triticum* rozdělují do tří skupin, které pochází z Blízkého východu:

1. Diploidní pšenice (2n=14) – *Triticum boeticum* (Boiss.), *Triticum monoccocum* L. – pšenice jednozrnka
2. tetraploidní pšenice (2n=28) – *Triticum polonicum* – pšenice polská, *Triticum durum* – pšenice tvrdá
3. hexaploidní pšenice (2n=42) – *Triticum spelta* L. – pšenice špalda, *Triticum aestivum* L. – pšenice setá

Existují dvě formy pšenice, které jsou u nás nejrozšířenější – ozimá a jarní. Pro vyšší výnosy se v konvenčním zemědělství pěstuje především pšenice ozimá. V jarních měsících se začíná pěstovat pšenice jarní, která v letních měsících vyžaduje dostatek srážek a vyšší teploty, což se projevuje vyšším obsahem bílkovin (Francis 1999). Vysévá se v situacích, kdy nebylo možné včas zasít ozimou pšenici pro nepříznivé počasí nebo jejím špatném přezimování (Petr 2002). Pozdní výsevy pšenice jsou v produkčních oblastech Evropy řešeny přesívkami. Přesívkové formy se vyznačují odolností k chladu a vymrzají až při teplotách dosahujících -12 °C. Obecně jsou tedy vhodné pro velmi pozdní a velmi brzký jarní výsev. Na rozdíl od ozimé pšenice mají malé nároky na jarovizaci. Obdobím jarovizace se rozumí potřeba rostliny projít nízkými teplotami (3–5 °C) pro přechod do generativní fáze. Délka tohoto období je pro každou odrůdu rozdílná, například odrůdám pocházejícím z východu (Rusko) období trvá 30–40 dní. Odrůdy západního typu potřebují obvykle 40–60 dní (Horčička et al. 2018). Jarovizace je tedy významnou vlastností související se stupněm ozimosti a délkou vegetační doby, raností odrůdy a v neposlední řadě s průběhem fází růstu a formováním, výnosových prvků. Byl založen pokus ve vegetačních nádobách po 20 rostlinách, který sledoval potřeby jarovizace registrovaných odrůd pšenice ozimé kolem roku 1990 a 2000. Naklíčené obilky byly vystavovány teplotě 3-5 °C v sedmidenních intervalech od 0 do 56-63 dní. Uskutečnily se dvě opakování za dlouhého dne 15-16 hodin a hlavním kritériem byla doba metání (50 % rostlin ve variantě), podle které se učinila příslušná délka plné jarovizace. Okolo roku 1990 převažovaly odrůdy s jarovizací 40-50 dní, a vedle nich ve stejném poměru (21,7 %) byly odrůdy s jarovizací 30-40 dní a 50-60 dní. V roce 2000 se rozrostl sortiment o mnoho zahraničních odrůd a zvětšil se podíl odrůd s delší jarovizací, tj. 50-60 dní, a dokonce i více než 60 dní. Po roce 1960 nastal odklon od původních odrůd pšenice s krátkou jarovizací (jarovizací jen za krátkého dne a obecně se silnou reakcí na krátký den) (Petr & Hnilička 2002).

Němečtí šlechtitelé vyšlechtili odrůdy tzv. přesívkového typu (Anemos, Thasos, Naxos, Velos, Kalistos, Tinos, Quattro a Melon od firmy Saatenunion, a odrůdy Triso a Perdix firmy Lochow-Petkus, Fasan (BAYWA) a další. Jedná se však o jiný charakter odrůd než české přesívky, které tvořily v oblasti Čech hlavní skupinu krajových odrůd od 17. století. Podle dosavadního třídění výše uvedených odrůd bylo zjištěno, že se jedná o jarní odrůdy. V

některých oblastech Německa jsou tyto odrůdy používány k pozdnímu, prosincovému setí, např. po kukuřici na zrno, a to v oblastech, kde přichází brzy obnovení jarní vegetace. Tuto možnost měla také odrůda z NDR Remo – Peko, kterou bylo možno sít také tak pozdě jako jařinu s větší fotoperiodickou citlivostí a dávala přitom podstatně vyšší výnos než setá jako jařina koncem března a začátkem dubna (Petr 2002).

Těmto odrůdám setým, např. po kukuřici, se přisuzuje odolnost k fuzariózám klasu, případně vyhnutí se infekci těmito chorobami, s ohledem na odlišnou dynamiku metání a kvetení. Jejich výnosnost je založena na produktivitě klasu a dosahuje úrovně až 7,5 t/ha. Mrazuvzdornost se liší dle dané odrůdy, kdy výsledky mrazových testů byly v rozmezí od -12 až -15 °C, tyto hodnoty odpovídají charakteru mírných zim posledních let (Petr 2002).

Rostlina pšenice seté dosahuje výšky 60–120 cm. Stéblo je duté a tvořené články, které jsou rozděleny kolénky. List nemá řapík, je plochý a čárkovitý. Krátký vroubkovaný jazýček se nachází na rozhraní listové pochvy a čepele, ouška jsou malá řídce obrvená nebo lysá (Zimolka 2005). U nadzemní části stébla rozeznáváme kolénka a články. Kolénka se nacházejí v místě nasazení listové pochvy (Hrouda 2010). Nelámavý, čtyřhranný klas se skládá z článkovaného vřetene a z 2–5 květých klásků. Plevy a osinaté nebo bezosinaté pluchy mají vejčitý a podlouhle vejčitý tvar (Kubát et al. 2002). V zrnu je uzavřené embryo a nutriční látky potřebné k prví fázi klíčení. Snížená klíčivost se přisuzuje výskytu neživých a dormantních semen (Hosnedl 2008). Kořeny jsou svazčité, složené z adventivních kořínků (Dostál 1989).

3.1.1 Stavba obilky

Obilka (*caryopsis*) se skládá ze čtyř základních částí: embryo, endosperm, testa a pericarp. Embryo je tvořeno parenchymatickým pletivem. Obsahuje cukry, tuky, bílkoviny, skupinu vitamínů rozpustných v tucích a je bohatý na enzymy. Triploidní endosperm se vyvíjí z diploidního jádra zárodečného vaku. Tato část nazývaná také jako vnitřní bílek je ze ¾ tvořena škrobem a tvoří největší část zrna (Kučerová 2010). Jeho další částí je aleuronová vrstva, která vzniká vysycháním vakuol a je složená buď z jedné nebo více vrstev buněk. Buňky se v určité fázi zrání diferencují od buněk endospermu. Od vnitřních buněk se oddělí obvodové buňky a následně dojde k přeměně na pravidelné buňky se ztloustlými stěnami. Skládají se především z proteinů. Rozdíl mezi endospermem a aleuronovou vrstvou je v buňkách (Houba & Hosnedl 2002).

Endosperm nese mrtvé buňky se zásobními látkami (především škrob, v menší míře proteiny), naopak aleuronová vrstva má buňky živé. Přeměnou vaječných obalů vzniká testa (osemení), které slouží jako přechodné zásobní pletivo, pomocí něhož je zprostředkován tok živin z mateřské rostliny. Osemení se tedy podílí na určení kvality semene, jako je například velikost, složení semene, propustnost pro vodu a hormonální regulaci. Některé další vrstvy mají schopnost bobtnat a vázat vodu, tím přispívají k udržení vlhkosti zrna v rovnováze. Díky určitému stupni nepropustnosti testa ovlivňuje klíčení semen. Dále ovlivňuje růst orgánů semen a vnitřních pletiv. Přeměnou stěn semeníku a květních částí se vytvoří pletivo zvané pericarp (oplodí), které srůstají (Houba & Hosnedl 2002).

Na chemické složení zrna mají značný vliv půdní, klimatické a agrotechnické podmínky, které v některých případech ovlivňují vlastnosti jednotlivých složek. Sacharidy tvoří nejvyšší podíl obilného zrna, z nichž je podstatnou částí škrob (Kopáčová 2007).

Mono- a oligosacharidy se vyskytují pouze v nepatrném množství (1-3 %). Zrno obsahuje další polysacharidy, hemicelulózy, které jsou uloženy z větší části v podobalových vrstvách a tvoří nestravitelnou vlákninu potravy. Její hlavní složkou jsou pentosany heterogenního složení, které obsahují arabinózu a xylózu (Kopáčová 2007).

Značnou aktivitu vázání vody a schopnost tvořit vysoce viskózní roztoky má rozpustná část hemicelulóz. Mezi polysacharidy patří i celulóza, která je součástí obalových vrstev, vykazuje příznivé účinky na fyziologii trávení. Význam nestravitelných látek v poslední době vzrůstá. K těmto látkám se řadí pentosany, β-glukany obsažené v cereáliích a pektiny (Kopáčová 2007).

Bílkoviny zrna mají z technologického hlediska velký význam. Nejvyšší podíl technologicky významných bílkovin je v endospermu. Vypráním pšeničné mouky vodou se získá lepek (pružný a tažný hydratovaný gel), který je tvořen z 80-95 % v sušině tvořen pšeničnou bílkovinou. Mokrý lepek obsahuje cca 66 % hm. vody, po vysušení se získá tzv. suchý lepek. Obsah mokrého lepku je jedním z hlavních kritérií pekařské jakosti pšeničné mouky. Pšeničný lepek není jednotná bílkovina, a proto se na základě rozpustnosti dělí na gliadin (rozpustný ve zředěném etanolu) a glutenin (glutein pšenice), rozpustný v 0,2 % roztoku KOH. Vysoký obsah kyseliny glutamové neboli glutaminu (až 35 % veškerých aminokyselin v obilce) a prolinu (více než 10 %) charakterizuje lepkovou bílkovinu, která má ale nízký obsah esenciální aminokyseliny lyzinu (1-2 %) (Kopáčová 2007).

3.2 Historie a současnost pěstování pšenice seté

Charmet (2011) uvádí, že zhruba před 8–10 tisíci lety se z lovců a sběračů stávali chovatelé a pěstitelé. Jednalo se o první známky domestikace. U rostlin došlo k vytvoření kulturních rostlin z planých forem, viz obr. 1. Zemědělství té doby umožňovalo usedlý způsob života, jež napomohl ke vzniku civilizací.

Informace o prvním pěstování pšenice na našem území jsou již z doby neolitu, jak dokládá práce Muška et al. (2012). Podle těchto autorů se zrno sklízelo srpem a následně ručně mlelo na drtidlech. Ve středověku patřila pšenice mezi základní plodiny. Vlivem horší agrotechniky, kdy se pole osívalo do hrubé brázdy, docházelo k nevyrovnanosti porostu. Plevele a nutnost ruční práce situaci nezlehčovaly. Od 13. století se zlepšilo zpracování půdy. Technologie setí se do 19. století nezměnila a selo se ručně.

Zemědělství 19. století bylo ovlivněno zapojením cukrové řepy a brambor do osevních postupů. Ve druhé polovině 19. století tehdejší zemědělci přešli z trojpolního ke střídavému polnímu hospodaření. Díky tomu se lépe obnovovala půdní úrodnost a výnosy se zvýšily. Zavedla se podmítka a předseťová příprava půdy. Dále se zavedly nové předplodiny (okopaniny a jeteloviny). Rozvíjelo se šlechtění nových odrůd pšenice. Pole se od 2. pol. 19. století začala ve větším rozsahu hnojit minerálními hnojivy. Setí se uskutečnilo pomocí řádkovacích trakařů nebo prvními řádkovacími stroji. Podíl lidské práce byl snížen za pomoci strojů, kterým byla mlátička (Strnadová 2001). Nutné zmínit, že se u nás rozvíjelo systematické šlechtění rostlin (Pařízek & Horáková 2014).

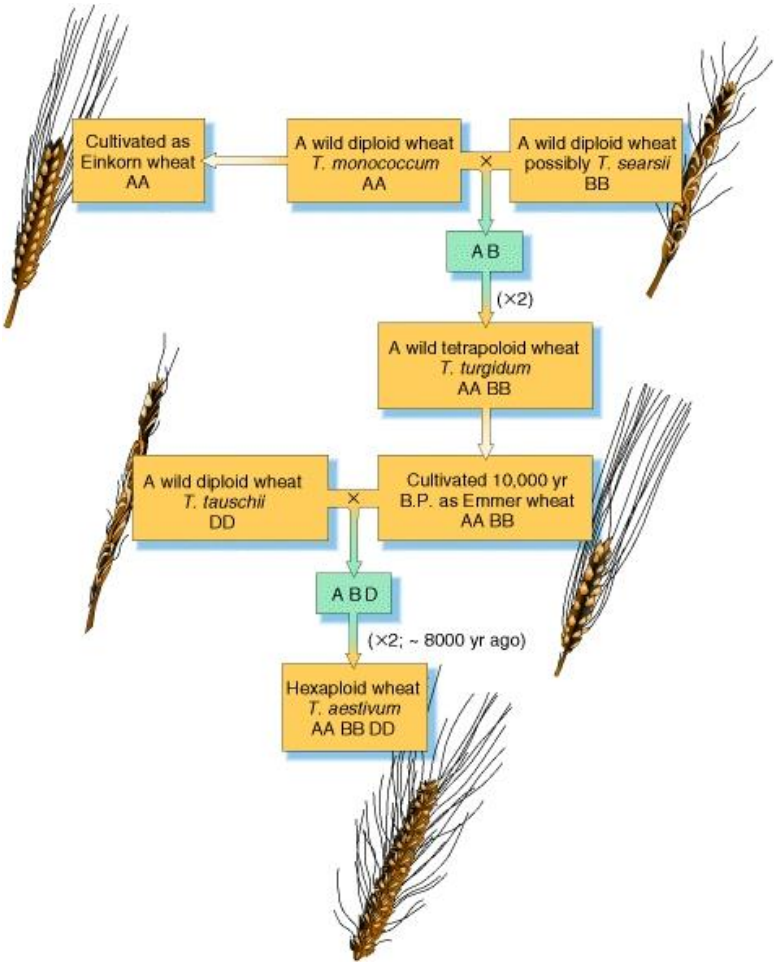
Uvedení autoři konstatují, že na přelomu 19. a 20. století probíhaly první srovnávací pokusy s pšenicí, jejichž cílem bylo vybrat nejvhodnější odrůdy. Na trhu bylo možno vybrat jednak z desítek krajových odrůd majících původ například v Českých červených pšenicích a přesívkách nebo z odrůd pocházejících z Německa, Anglie či Uher.

Po druhé světové válce se začala zhoršovat výživa rostoucí lidské populace především v Indii, Pákistánu a Mexiku. V polovině čtyřicátých let přišel do Mexika Norman Borlaug. Měl pracovat pro tamější ministerstvo zemědělství na šlechtění pšenice. Cílem Mexika bylo snížit závislost na dovozu pšenice, ale pšenice měla nízké výnosy a trpěla rzí. Po deseti letech práce se Borlaugovi podařilo vyšlechtit odrůdu nezávislou na délce dne a odolné ke rzi, bohužel měla nízké výnosy a porost poléhal v důsledku těžkých klasů. V roce 1961 použil ke křížení polotrpasličí japonskou odrůdu Norin. Výsledkem byla bohatě odnožující pšenice s krátkým nepoléhavým stéblem. Zde začala etapa zemědělství rozvojových zemí zvaná „Zelená revoluce“ (Drobník 2009).

Zvýšení výnosu pšenice během Zelené revoluce na konci 20. století bylo dosaženo zavedením trpasličích genů (Rht). Lokality Rht-B1 a Rht-D1 zajišťovaly krátký vzrůst omezením reakce na růst podporující giberelin a jsou nyní rozšířeny prostřednictvím mezinárodních šlechtitelských programů (Würschum et al. 2017).

V současnosti se pšenice jarní využívá pro výsev v období, kdy je nevhodné zasít pšenici ozimou. Na trhu existuje mnoho odrůd, které se svým výnosem mohou rovnat pšenicím ozimým. Další výsevy uskutečněné na konci října jsou realizovány mrazuvzdornými přesívkami. Ze všech výrobních oblastí se výnosnost potravinářské pšenice nejvíce projevuje v řepařské a obilnářské výrobní oblasti (Petr 2002).

Situační a výhledová zpráva z roku 2019 uvádí, že osevní plocha všech obilovin v tomto období dosáhla výměry 1 353,6 tis. ha. Pšenice ozimá překročila hranici zastoupení ve struktuře osevních ploch na 60,2 %. Nárůst zaznamenaly všechny druhy ozimých obilnin. U jařin byl zaznamenám pokles, konkrétně u pšenice jarní o 1,6 %. Celkově se sklidilo 7 646,2 tis. tun obilovin. Oproti předchozímu roku došlo k navýšení o 675,3 tis. tun, jednalo se o zastavení meziročního poklesu produkce obilovin (Kůst & Záruba 2020). Ze statistik FAO se za rok 2019 sklidilo celkem ve světě přes 215 mil. ha pšenice s průměrným výnosem 3,5 t/ha.



Obr 1: Schéma evoluce pšenice. X2 označuje zdvojení chromozomového komplementu, které dává vznik plodným hybridům (upraveno podle The Bristol Wheat Genomics Website).

Centra původu kulturních rostlin podle Vavilova (1926) jsou:

1. Malá Asie a Blízký východ – pšenice, ječmen, žito, oves, len, vojtěška, mák, salát, bob, čočka, hrách, ovocné druhy.
2. Střední Asie – pšenice, některé luskoviny, len, bavlník, cibule, mrkev, ovoce, vinná réva.
3. Středozemí – pšenice, ječmen, některé brukvovité, řepa, hořčice, olivovník, chmel, některé pícniny, koření, zeleniny a ovoce.
4. Indie – rýže, proso, některé luskoviny, lilek, okurka.
5. Čína – rýže, některé obiloviny, proso, pohanka, sója, mák, konopí, vigna, citrusy, čajovník.
6. Indomalajská oblast – cukrová třtina, kokosová palma, banán, některé další druhy ovoce.
7. Etiopie – ječmen, čirok, káva, některé luskoviny, koření.
8. Střední Amerika a Mexiko – kukuřice, fazole, tykve, quinoja, amarant, batáty, kakaovník, některé druhy koření, ovoce, přadné rostliny.
9. Andy – brambory, některé kořenové plodiny, rajčata, tabák, chinin, kokain, některé druhy zeleniny.
10. Brazílie a Paraguay – fazole, maniok, podzemnice, ananas, kaučukovník, maté (Smýkal 2009).

Z výše uvedeného vyplývá, že Malá Asie a Blízký východ jsou centra původu planých forem pšenice. Změny během domestikace a jejich variabilita v rámci druhu byla inspirací pro evoluční teorii a přirozený výběr (Smýkal 2009). V těchto oblastech podle Brown et al. (2008) nastává hlavní vztah mezi lidmi a jedlými rostlinami, a proto existují hypotézy vnímající domestikaci jako výsledek přirozeného evolučního procesu.

Jedním z hlavních center domestikace byl „Úrodný půlměsíc" s řekami Eufrat, Tigris a Nil. Do oblasti patří dnešní území Egypta, Turecka, Iráku, Íránu, Izraele a Sýrie. Území bylo bohaté na úrodnou půdu, zahrnovalo sladkovodní a brakické mokřady. Lidé museli vybudovat odvodňovací systém, aby mohli v období sucha zavlažovat. Tehdejší zemědělci nemuseli řešit hnojení polí, každý rok přinesly záplavy potřebné živiny. To zajišťovalo hojnost planých rostlin a sklízelo se i dvakrát do roka. Na tomto místě před 10 000 lety př.n.l. začaly první experimenty s pěstováním obilnin. Lidé přecházeli z lovců a sběračů do stálé zemědělské společnosti (Brown et al. 2008).

3.3 Nové trendy ve šlechtění pšenice

Historie šlechtění rostlin započala jejich domestikací, tedy první cílenou pěstitelskou manipulací, která se odehrávala ve starší době kamenné. V Byzantské zemědělské encyklopedii z 10. stol. je doporučováno používat k setí velká, tvrdá a hladká semena, která mohou zajistit dobrý výnos. Již *Plinius* a *Columella* a další starověcí myslitelé doporučovali vybírat zrna z největších klasů. K vytvoření nových a lepších forem, než byly přirozené populace docházelo s migrujícími národy, plodiny se dostávaly do jiných oblastí. Populace rostlin vznikaly přírodním a instinktivním neuvědomělým výběrem člověka. Při popisu historie semenářství je nutno se obrátit na světová centra vzniku plodin, kde se především spoléhalo na výběr spojený s přesevem pro dané lokality (Bláha 2021). V posledních stech letech došlo k výraznému zefektivnění šlechtitelské práce. Přispěl k tomu zejména objev Mendelových zákonů, principů evoluce a rozvoj genetiky (Leišová-Svobodová 2020).

V dnešní době se pro šlechtění rostlin využívají informace z planých předků současných rostlin. Genomické postupy umožňují identifikaci genů, které jsou odpovědné za adaptaci na měnící se prostředí. Kombinují se zde dva vědní obory, archeobotanika a genetika. V budoucnu bude záviset především na přístupu ke zdrojům biologické rozmanitosti nesoucí mutace pro adaptaci na nové prostředí (Brown et al. 2008).

Rostlina ztratila během šlechtění některé cenné látky a také u ní došlo ke snížení odolnosti k chorobám. Serra et al. (2021) uvádí, že byl hledán gen Ph2, který je zodpovědný za správné párování chromozomů během tvorby pohlavních buněk. Pšenice má 124 tisíc genů, což je téměř šest krát více než má lidský genom.

Podmínky prostředí jsou podle Rozbicki et al. (2014) hlavními faktory ovlivňující šlechtění. Důležitou roli hraje ročník a místo pěstování. Zrno je tímto ovlivněno, jak z hlediska obsahu bílkovin, tak i dalších kvalitativních parametrů. Využít plný potenciál odrůd lze správnými postupy pěstování a hnojení.

V současnosti jsou trendy šlechtění zaměřené na změny morfotypu klasu. Toho lze docílit pomocí genů, které řídí výskyt nadpočetných klásků klasu. To znamená, že z jednoho nodu klasového vřetene může vyrůstat více než jeden klásek. Například pšenice s mnohořadým klasem se vyznačuje vyšším podílem klásků vyrůstajících z jednotlivých nodů klasového vřetene. Jev je podmíněn recesivním genem WFZP-D (*Wheat Frizzy Panicle*) řídícím větvení květenství u vyšších rostlin. To by mohlo zvýšit produkční kapacitu klasu. Dalším znakem je dlouhá pleva. Dlouhá pleva by mohla podporovat asimilační kapacitu klasu díky většímu povrchu. Mohla by také podpořit i transpiraci rostliny. Na konci dozrávání by mohla pozitivně působit na tvorbu obilek. Tento znak se vyskytuje u tetraploidních pšenic *(Triticum polonicum* L.*, Triticum ispahanicum)* a u hexaploidní pšenice (*T. petropavlovskyi)* (Hnilička et al. 2020).

Agrotest fyto, s.r.o. v Kroměříži vytváří linie pšenice seté s dlouhými plevami. V roce 2018 dosáhla jedna linie s dlouhou plevou 108 % ve srovnání s nejvýnosnější kontrolou Rebell. Problémem těchto linií je zatím snížená odolnost ke rzi plevové (Martinek 2018).

Hlavním požadavkem každého šlechtitelského programu je tedy produkovat genetickou variabilitu znaků, které mají být vylepšeny. Jakmile je genetická variabilita vytvořena, je nutné vybrat rostliny, které mají lepší vyjádření jednotlivých znaků nebo jejich kombinací. Po identifikaci je třeba vybrané rostliny stabilizovat a šířit/násobit pro komerční využití (Caligari & Brown 2003). Výzkum zaznamenal obrovský pokrok, který se zaměřuje na morfologické struktury klasu. Například od běžné pšenice může z jednoho klasového vřetene vyrůst více než jeden klásek. Zemědělský výzkumný ústav v Kroměříži již pracuje se změněnými morfotypy klasu a přináší tím naději pro další využití pro šlechtění a semenářství (Hnilička et al. 2020).

Jedním z trendů je i snižování obsahu bílkovin a zvýšení obsahu škrobu v zrnu. Tento šlechtitelský cíl mohl přispět ke zvyšování koncentrace CO_2 v atmosféře. Biosyntéza škrobu vyžaduje menší množství metabolické energie než syntéza bílkovin. Souvislost by mohla být propojena s globálním oteplováním (Nátr 2000; Tian et al. 2015). Trendem je zvýšit hmotnost zrna v klasu při zkracování délky stébla. To je doprovázeno stagnací i snižováním počtu klasů na jednotce plochy. Rozdíly mezi starými a novými odrůdami se nevyznačují podstatnými rozdíly v sušině nadzemní biomasy porostu na jednotku jeho plochy. Dlouhodobě šlechtění výrazně ovlivnilo proporce mezi klasem a stéblem. V posledním čtvrtstoletí se tento trend zastavuje. Podle Hniličky et al. (2020) lze pozorovat, že je malý až žádný délkový rozdíl mezi souborem odrůd pěstovaných zhruba před 30 lety a současnými odrůdami. Délka stébla u současných odrůd zřejmě dosáhla ekologického limitu, což by znamenalo, že další zkracování stébla by vedlo ke zhoršení rostlin vůči abiotickým stresům, zejména k suchu.

Ve víceletém trendu se sklizňové plochy pšenice ozimé spíše zvyšují, viz příloha graf I. Z uvedeného grafu vyplývá, že meziroční výkyvy v osévaných plochách se pohybují v desítkách tisíc hektarů, v případě nepříznivého průběhu počasí při zakládání porostů (září, říjen) nebo po silných mrazech mohou přesahovat i 100 tis. ha (např. v ročníku 1998/1999). Nárůst výnosů byl od počátku sedmdesátých až do devadesátých let analogický situaci v západoevropských zemích. Meziroční přírůstek průměrného výnosu činil 0,098 t/ha v období 1960–1990 a 0,106 t/ha v období 1970-1990. Konec osmdesátých let nepřinesl výrazné rozdíly mezi zeměmi západní Evropy a Českou republikou. Nové technologie a odrůdy umožnily v západoevropských zemích v letech 1992–1998 zvyšovat meziročně výnos o 0,139 t/ha. V posledním roce tohoto období (1998) bylo dosaženo průměrného výnosu 6,88 t/ha. V ČR došlo na počátku devadesátých let ke snížení průměrných výnosů pšenice ozimé (i ostatních obilnin kromě kukuřice) a jejich stagnaci v letech (1992–2000) na úrovni kolem 4,5 t/ha (Křen 2001).

To se projevovalo zvyšováním rozdílů mezi potenciálním a aktuálním výnosem u nás, a naopak snižováním tohoto rozdílu v zemích EU. K hlavním příčinám patřilo: snížení dotací, transformace zemědělství včetně odchodu kvalifikovaných agronomů z prvovýroby, využití intenzifikačních opatření (omezeno finančními možnostmi zemědělských podniků, a především kvalita zakládání porostů (Křen 2001). Situační a výhledová zpráva Obiloviny z října 2002 uvedla pro ČR odhad sklizňové plochy ozimé pšenice 788,8 tis. ha s průměrným výnosem 4,72 t/ha, u jarní pšenice 51,8 tis. ha výnos 3,74 t/ha. Podle odhadu k 30.11. 2002 bylo oseto ozimými obilovinami o 12 % méně ve srovnání s plochou ke sklizni roku 2002. Tato skutečnost byla způsobena u ozimé pšenice nepříznivým extrémně deštivým podzimním počasím. Dále holomrazy v průběhu prosince a první poloviny ledna roku 2003 způsobily značné poškození porostů (Martinek 2003).

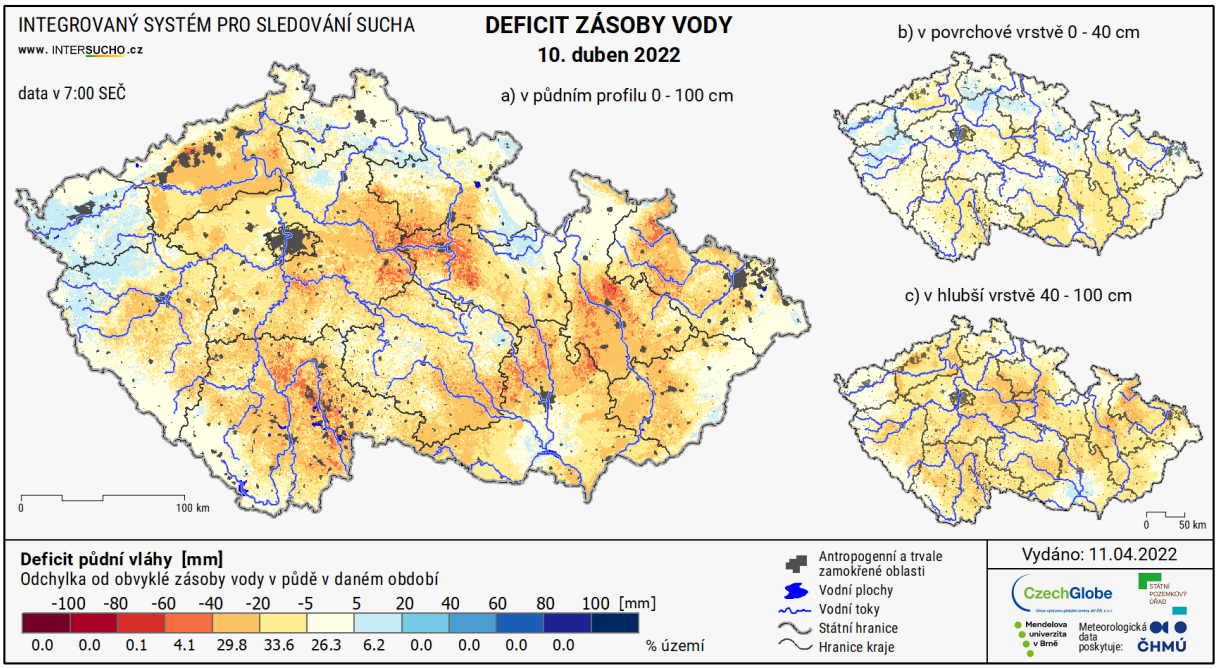
3.3.1 Vodní deficit

Obilky představují nejdůležitější zdroj energie pro většinu lidské populace, přesto je jejich produkce značně ovlivněna suchem. Předpokládá se, že s výjimkou Spojených států dojde u hlavních producentů kukuřice (Čína, Brazílie, Francie) a pšenice (Čína, Indie, Rusko) k poklesu produkce v důsledku klimatických změn (Daryanto et al. 2016).

Rostlina může být odolná vůči stresorům postupnou adaptací. To lze pouze v určitých podmínkách a u některých druhů. Běžné polní plodiny nejsou na sucho adaptovány tak dobře, jako je tomu u pouštních rostlin, které se během dlouhého vývoje dokázali přizpůsobit. Mezi obranné mechanismy patří krátký životní cyklus nebo zamezení odpařování vody z listů. Reakce rostlin na sucho je pro každý druh odlišná. Výrazně ovlivňuje enzymatickou aktivitu, dochází k denaturací bílkovin a vyšší tvorbě kyseliny abscisové a antioxidantů. Dalšími projevy z hlediska fyziologického jsou: ztráta vody, nepoměr mezi fotosyntézou a dýcháním atd. (Prášil et al. 2018).

Podle Prášila et al. (2018) mají velké přívalové deště negativní vliv na kořenový systém a znemožňují mu přístup ke kyslíku. Vyšší teploty v létě spolu s menším množstvím srážek způsobují horší rozklad posklizňových zbytků a tím i zhoršují kvalitu půdy. Ke snížení výnosu plodin dochází, pokud je nedostatek vody v půdě. V našich podmínkách je velká část území odkázána na atmosférické srážky. Sucho jako takové se vyvíjí pozvolna a může trvat i roky. V České republice je výskyt sucha nepravidelný. Může se objevit kdykoliv během vegetace.

Výskyt sucha je popisován prostřednictvím standardizovaného srážkového evapotranspiračního indexu (SPEI) a hodnotami fAPAR, které jsou používány jako ukazatel stavu a vývoje vegetace. Hodnota fAPAR je část slunečního záření ve fotosynteticky aktivní radiační spektrální oblasti (400 až 700 nm), které je absorbováno rostlinami v procesu fotosyntézy. Index SPEI definuje Vicente-Serrano et al. (2010) jako klimatický index sucha založený na počítání odchylek mezi srážkou a potenciální evapotranspirací (tj. výparem z volných ploch i z vegetace) od normálu. Mimořádné sucho se na celorepublikové úrovni vyskytlo v letech 1971-2020 jen pětkrát, a to v srpnu 2003, v červenci a v srpnu 2015 a v srpnu a listopadu 2018. Dále byla zjištěna statisticky významná korelace mezi indexem SPEI a fAPAR především v letních měsících, na jaře je tato vazba výrazně slabší. Zemědělské plodiny pravděpodobně rychleji překonávají negativní následky jarního sucha (pouze v případě dostatečného množství srážek po ukončení suché epizody) než sucha v létě (Oušková et al. 2021). Deficit zásoby vody k 10.4. 2022 viz obr. 3.



Obr. 3: Deficit zásoby vody v půdě (Zdroj: Intersucho.cz).

Jak uvádí Prášil et al. (2018), tak pro vytvoření 1 kg sušiny potřebuje porost pšenice 250 až 450 litrů vody. Klas v době před a po kvetení je nejcitlivější z hlediska dopadu sucha. Při dlouhotrvajícím suchu nebo při jeho dlouhém trvání může v tuto dobu docházet k redukci výnosu až o 70 %. V nejcitlivějších vývojových fázích (duben–červen) rostlina potřebuje dostatek vláhy. V pozdějších fázích vývoje (zrání), je sucho příznivé pro sklizeň a zdravotní stav pšenice. Snahou šlechtitelů je při šlechtění na suchovzdornost najít výraznější znaky s vyšší dědivostí, které by současně kladně korelovaly s výnosem. Šlechtění pšenice se zpravidla uskutečňuje v místech, kde se předpokládá i uplatnění vytvořených odrůd. To umožňuje vytváření odrůd s dobrou adaptací na dané půdně-klimatické podmínky. Znaky a vlastnosti rostlin pšenice, které mají vztah k suchovzdornosti je celá řada, lze je rozdělit podle mechanismu, jak uvádí Prášil et al. (2018) následovně:

1. únik před obdobím sucha – urychlení vývoje, rychlost a dynamika růstu, doba kvetení a následující přežití v metabolicky neaktivním stadiu (semena);

2. udržení dostatku vody při působení sucha - např. hluboké kořeny, hromadění osmoticky aktivních látek (osmotické vyrovnání) umožňující déle čerpat vodu z půdy, nižší vodivost průduchů, voskový povrch a ochlupení pokožky zamezující ztráty vody a přehřívání;

3. snášení nedostatku vody a rychlé obnovení růstu po působení sucha- např. hromadění ochranných látek v buňkách, rychlé využití zásobních látek ze stébel, omezení stárnutí asimilačních orgánů a jejich uchování pro regeneraci rostlin (tzv. stay-green linie).

Rostlina mimo jiné reaguje na sucho vytvořením kyseliny abscisové a tím začne šetřit vodou, listy uzavírají průduchy, aby zastavily ztrátu vody. Zpomalují svůj růst (Nishimura et al.2009). Pokud je dostatek vody, tak se většina vodních ztrát děje přes otevřené průduchy, oproti tomu za sucha, které vyvolává uzavření průduchů se většina vody ztrácí kutikulární

transpirací. Míra ztrát vody je při stresu suchem vymezena primárně propustností kutikuly (Goodwin & Jenks 2005).

Křížení elitních pšenic mezi sebou redukuje genetickou diverzitu, která přináší lepší adaptaci na měnící se prostředí. Použitím syntetických hexaploidních odrůd lze vnést požadované geny do moderních odrůd pšenice. Syntetické odrůdy vznikly křížením původních předků, které je možné použít při křížení s elitními odrůdami pšenice. Tyto vzniklé linie nesou vyšší toleranci k suchu (Ginkel & Ogbonnaya 2007).

Rostlinné hormony neboli tzv. fytohormony (regulátory růstu) ovlivňují genovou expresi a úroveň transkripce, buněčné dělení a růst (Srivastava 2002). Rostlinné buňky jsou naprogramovány tak, aby reagovaly na působení regulátorů růstu v určitých vývojových fázích jejich životního cyklu. Rostliny používají různé cesty k regulaci vnitřních množství hormonů a zmírnění jejich účinků. Mohou regulovat množství chemikálií používaných k biosyntéze hormonů a také je mohou ukládat v buňkách, inaktivovat je nebo katabolizovat již vytvořené hormony. Rostliny dokážou hormony rozkládat i chemicky, čímž je deaktivují (Swarup et al. 2007). Koncentrace hormonů je nízká (10^{-6} až 10^{-5} M/l), bylo tedy velmi obtížné je studovat. Teprve od konce 70. let 20. století byli vědci schopni začít chápat jejich účinky a vztah k fyziologii rostlin (Srivastava 2002). Fytohormony lze rozdělit do pěti hlavních tříd: kyselina abscisová, auxiny, cytokininy, ethylen a gibereliny (Weier & Rost 1979). Tento seznam byl později dále rozšířen na brassinosteroidy, jasmonáty, kyselinu salicylovou a strigolaktony (Feurtado et al. 2004).

Kyselina abscisová (ABA): Snižuje citlivost k nedostatku vody a umožňuje suchozemským rostlinám přežít. Ovlivňuje otevírání a zavírání průduchů a nepatrně zvýšené množství ABA způsobuje zavírání průduchů. Její množství klesá po zálivce a průduchy se opět otevírají. Déletrvající sucho, zasolení či chlad způsobí aktivaci řady genů a specifických antistresových proteinů (Seidlová 2008). V reakci na různé environmentální stresy si rostliny vyvinuly širokou škálu obranných mechanismů, což vede k nadměrné expresi řady genů reagujících na stres. Mezi nimi existuje určitá sada genů, které kódují vnitřně neuspořádané proteiny (IDP), které opravují a chrání rostliny před poškozením způsobeným environmentálními stresy. Proteiny skupiny II LEA (late embryogenesis abundant, neboli proteiny pozdní embryogeneze) tvoří nejhojnější skupinu IDP; hromadí se v pozdních fázích vývoje semen a jsou exprimovány v reakci na dehydrataci, slanost, nízkou teplotu nebo ošetření kyselinou abscisovou (ABA) (Abdul Aziz et al. 2021).

ABA je v embryogenezi dodávána mateřskou rostlinou, později ji produkuje i embryo. V některých růstových projevech se ABA jeví jako antagonista giberelinů (Seidlová 2008). Obecně platí, že ABA negativně koreluje s obsahem chlorofylu a rychlostí fotosyntézy v praporcovém listu, zatímco cytokininy pozitivně korelují s oběma atributy. Snížené koncentrace ethylenu a kyseliny 1-aminocylopropan-1-karboxylové (ACC) a zvýšená koncentrace ABA ve fázi vývoje obilek pšenice za mírného sucha zvýšily rychlost jejich plnění. Nicméně za velkého sucha byly koncentrace ethylenu, ACC a ABA příliš vysoké, což snižovalo rychlost plnění obilek. To ukazuje, že rovnováha mezi ABA a ethylenem ve vyvíjejících se obilkách řídí rychlost jejich plnění, přičemž zvýšení poměru ABA k ethylenu tuto rychlost zvyšuje (Yang et al. 2006).

1. Auxin: Poznání základní role bílkoviny označované zkratkou PIN. Bílkoviny PIN usměrňují toky auxinu v rostlině. Činnost auxinových přenašečů PIN řídí dvě kinázy, které pracují v kaskádě (první kináza aktivuje druhou a druhá následně aktivuje bílkoviny PIN). První z uvedených kináz funguje jako jakýsi „centrální přepínač“, mají ji nejen rostliny, ale i živočichové, včetně lidí. Obě zúčastněné kinázy jsou propojené s biochemickými pochody v membráně na povrchu rostlinné buňky. Jejich

aktivitu ovlivňuje jak chemické složení membrány, tak specializované sloučeniny, které na membránách vznikají (Olivová 2020).

2. Cytokininy: Často je jeho funkce spojena s funkcí zejména auxinu anebo ethylenu (Frébort et al. 2011). Skrývají tedy potenciál širokého spektra aplikací nejen v zemědělství a rostlinných biotechnologiích, ale také v lékařství nebo kosmetologii (Doležal & Strnad 2017).

3. Etylen: Rostliny umí zjistit míru zhutnění půdy pomocí etylenu. Pokud kořen narazí na zhutnělou půdu, zpomalí růst do délky a jeho špička ztloustne. Buňky v kořenové špičce stále vytvářejí malé množství etylenu, pokud je půda dobře nakypřená, odchází póry pryč. V opačném případě se hromadí v buňkách, vysoká hladina zpomaluje prodlužování kořene a podporuje jeho tloustnutí (Pančíková 2021). Tento hormon se dále podílí i na reakcích rostlin na biotické stresy (napadení patogeny) a abiotické stresy (mráz, sucho atd.) (Wang et al. 2007).

4. Gibereliny jsou skupinou rostlinných hormonů řídících růst a vývoj rostlin, prodlužování stonku a přechod z vegetativní fáze růstu do fáze kvetení (Thomas et al. 2005).

Byly identifikovány stovky genů, které jsou vyvolávány suchem. Pro výzkum specifických funkcí těchto genů a jejich role při aklimatizaci rostlin nebo adaptaci na nedostatek vody se používá řada nástrojů, od vzorů genové exprese po použití transgenních rostlin. Reakce rostlin na stres jsou složité a funkce mnoha genů jsou stále neznámé. Mnohé z rysů, které vysvětlují adaptaci rostlin na sucho – jako je fenologie, velikost a hloubka kořenů, hydraulická vodivost a ukládání zásob, jsou spíše konstitutivní než vyvolané stresem. Nové nástroje, které fungují na molekulární, rostlinné a ekosystémové úrovni, mění naše chápání reakce rostlin na sucho a naši schopnost ji monitorovat. Techniky, jako jsou nástroje pro celý genom, proteomika, stabilní izotopy a tepelné nebo fluorescenční zobrazování, mohou umožnit překlenutí mezery mezi genotypem a fenotypem, což je nezbytné pro rychlejší pokrok ve výzkumu biologie stresu (Chaves et al. 2003).

Abiotický stres snižuje produktivitu plodin v důsledku vážných poruch v růstu a vývoji rostlin, a proto si rostliny vyvinuly složité regulační mechanismy. Všechny mechanismy jsou založeny na proteinech, které přímo fungují v abiotické toleranci a které regulují různé signální dráhy, aby nepřímo zlepšily abiotickou toleranci. Důležitou skupinou funkčních proteinů jsou LEA geny, které snižují poškození buněk a chrání je v nepříznivých podmínkách (Liu et al. 2019).

LEA proteiny se hromadí během pozdního embryonálního vývoje a mohou být indukovány různými abiotickými stresy. Oproti jiným proteinům zapojeným do tolerance abiotického stresu nemají proteiny LEA žádnou významnou enzymatickou aktivitu, avšak jsou vysoce hydrofilní a vnitřně nestrukturované v hydratovaném stavu, ale částečně se skládají do převážně alfa helikálních struktur za podmínek dehydratace. Tato jedinečná vlastnost jim umožňuje fungovat jako chaperony prostřednictvím zabránění agregaci proteinů během abiotického stresu (Liu et al. 2019).

Chaperony jsou proteiny, které skládají většinu bílkovin v buňce do správného prostorového uspořádání (Lennarz & Lane 2013). LEA proteiny přispívají ke stabilizaci membrán, vazbě iontů vápníku a kovů, interakcím mezi DNA a RNA a ochraně funkčních proteinů proti agregaci. Dále jsou klasifikovány do osmi skupin LEA_1, LEA_2, LEA_3, LEA_4, LEA_5, LEA_6, dehydrin (DHN) a protein maturace semen (SMP) (Liu et al. 2019).

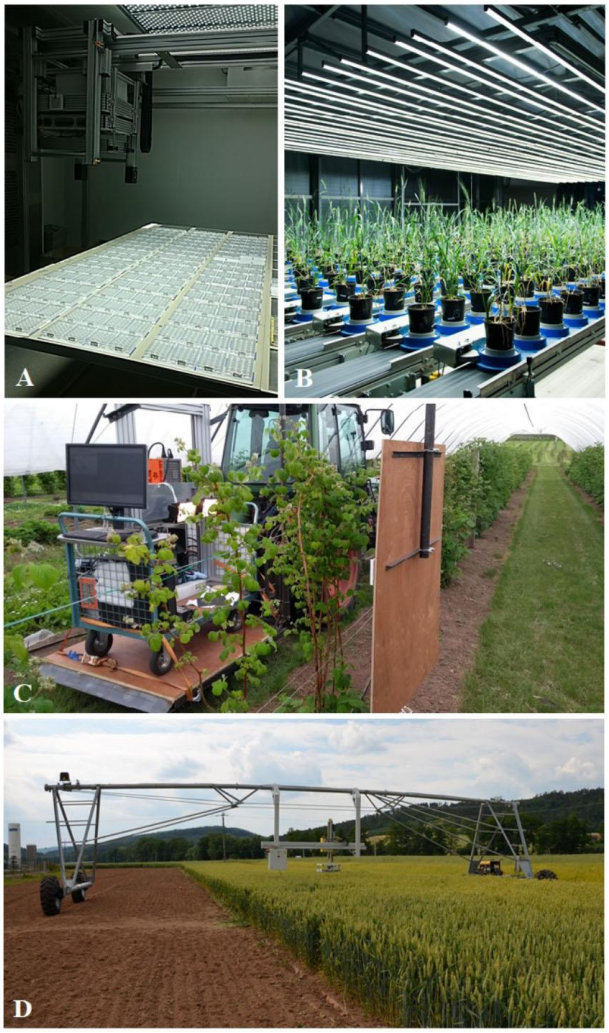
Potřeba urychlit konvenční šlechtitelský program s sebou nese doplňování o přidružené molekulární markery. Kvantitativní lokusy související se suchem (QTL)/genová identifikace pro zlepšení odolnosti odrůd pšenice vůči suchu byla již popsána. Přesto byla identifikována QTL mapa znaků reagujících na sucho v zavlažovaném a deštivém prostředí. Tato analýza má mnoho omezení, např. omezenou rozlišovací schopnost jednotlivých technik. Selekce pomocí markerů (MAS) založená na markerech spojených s QTL má omezený úspěch pro zlepšení vlastností, to je způsobeno malým počtem účinných QTL, které mají vliv na fenotypové variace. Pro úspěšné použití QTL v selekčním programu vyžaduje identifikaci specifického polymorfismu, který je pozorovatelný, proto musí být QTL rozštěpeno na kvantitativní znakový nukleotid (QTN) (Iquebal et al. 2019).

Zajímavou aminokyselinou je prolin, jeho akumulace je běžnou fyziologickou reakcí mnoha rostlin na širokou škálu biotických a abiotických stresů. Je také součástí vývojového procesu v generativních orgánech, jako je například pyl (Verbruggen & Hermans 2008, Mattioli et al. 2009). Chiang a Dandekar (1995) uvedli, že v reprodukčních pletivech *Arabidopsis* sp. představuje prolin až 26 % z celkového množství aminokyselin, zatímco ve vegetativních pletivech tvoří pouze 1-3 %. Schwacke et al. (1999) pozorovali, že obsah volného prolinu v květech rajčat byl 60krát vyšší než v jakémkoli jiném analyzovaném orgánu. Podobné fyziologické akumulace prolinu byly zaznamenány v reprodukčních orgánech i dalších rostlin a ve většině případů se zdají být koncentrace příliš vysoké na to, aby mohly být vysvětleny pouze zvýšenou potřebou syntézy proteinů (Mattioli et al. 2009). Prolin je součástí metabolismu glutamové kyseliny a glutaminu. Snadnou migraci přes biologické membrány buněk a organel mu umožňuje schopnost dobře se pohybovat ve vodných i nevodných médiích. Žádná jiná aminokyselina takové schopnosti nemá (Vašáková & Hradecká 2005).

Tolerance k suchu je složitá vlastnost, protože je řízena mnoha geny. Rostliny se šlechtí na výšku a kratší vegetační dobu. Dále na vlastnosti kořenového systému (hustota, délka) s cílem efektivního příjmu vody. K měření vlastností rostlin slouží metoda automatické fenotypizace (Mwadzingeni 2016). Tato metoda popisuje vlastnosti a znaky rostlin v závislosti na prostředí, pomáhá rychleji a snadněji zjistit mechanismy, pomocí kterých se rostliny vyrovnávají se stresem (Pieruschka & Schurr 2019). Fenotypizace rostlin je důležitým nástrojem k řešení a pochopení interakcí mezi rostlinou a vnějším prostředím a její převedení do praxe. Dále se podílí na vývoji nových biostimulantů, které zahrnují bioaktivní látky (huminové kyseliny, proteinové hydrolyzáty a extrakty z mořských řas) a mikroorganismy, především mykorrhizní houby (*Azospirillum* , *Azotobacter* a *Rhizobium* spp.) podporující růst rostlin. Zhang a Schmidt (1997) poprvé představili termín „biostimulant“, který je dle nich „materiál, který v nepatrném množství podporuje růst rostlin“. Bylo přijato označení „látky a/nebo mikroorganismy aplikované na rostliny se záměrem zvýšit účinnost výživy, toleranci vůči abiotickému stresu a/nebo vlastnosti kvality plodin, bez ohledu na obsah živin“ (du Jardin 2015). Podle Basak (2008) by mohly být biostimulanty klasifikovány v závislosti na jejich účinku a původu účinné látky; zatímco Bulgari et al. (2015) je klasifikují spíše na základě jejich působení v rostlinách nebo na základě fyziologických reakcí rostlin než na základě jejich složení. Du Jardin (2015) zmiňuje, že by se definice biostimulantů měla zaměřit na jejich funkce v zemědělství, buď na povahu složek nebo na způsoby působení.

Vysoce výkonné fenotypové platformy viz obr. 2 pro hodnocení biostimulační aktivity se rozdělují na: 1) malé screeningové platformy (založené na poloautomatickém nebo automatizovaném biologickém testování, umožňují testování velkého množství vzorků, výhoda spočívá i v miniaturizaci testů a využití jednoduchých a rychlých hodnocení biologické odpovědi (De Diego et al. 2017). 2) středně velké screeningové platformy jsou plně automatizované robotické systémy obvykle instalované v kontrolovaném prostředí nebo v polořízených skleníkových podmínkách, u rostlin lze monitorovat mnoho morfologických a fyzikálních rysů souvisejících s růstem, výnosem a výkonem během vývoje nebo nástupu,

progrese a zotavení z abiotického stresu (Rodriguez-Furlán et al. 2016), 3) automatizovaný fenotypový systém ve velkém měřítku, V posledních letech došlo k působivému pokroku ve vývoji přístupů pro fenotypizaci na poli a přesnost snímacích systémů se zvyšuje. Použití takových systémů otevírá cestu ke zvýšení schopnosti screeningu velkého počtu genotypů v terénu s nedestruktivním, opakovaným, objektivním pozorováním, bez potřeby rozsáhlé pracovní síly (Naito et al. 2017).



Obr. 3: Platformy pro fenotypování rostlin: (A) platforma pro fenotypování v malém měřítku sestávající z růstové komory XYZ PlantScreen ™ s automatickým zobrazením RGB shora (Photon System Instruments, Česká republika) pro screening biostimulačních látek na základě změn růstu rozety *Arabidopsis* (Huseníček rolní) na Univerzitě Palackého v Olomouci, Česká republika; (B) platforma pro fenotypování ve středním měřítku PlantScreen ™Modulární systém (Photon System Instruments, Česká republika) s integrovaným RGB s vysokým rozlišením, fluorescencí chlorofylu, termálními a hyperspektrálními zobrazovači VNIR a SWIR pro vysoce přesnou digitální fenotypizaci rostlin a kultivaci rostlin střední velikosti až po velké rostliny ve skleníku nebo poloskleníku -řízené prostředí; (C) Fenomobil pro ovocné stromy a keře vyvinutý v James Hutton Institute (Skotsko, Spojené království) s hyperspektrálními snímači VNIR a SWIR (Williams et al., 2017; foto se svolením HG Jones); (D) Automatizovaný fenotypový systém ve velkém měřítku. PlantScreen ™ Field System je autonomní mobilní platforma s multifunkční senzorovou platformou namontovanou na XZ-robotickém rameni s vysokým rozlišením, viditelnou, chlorofylovou fluorescencí, tepelným infračerveným, hyperspektrálním zobrazovačem a 3D laserovým senzorem (Photon System Instruments, Česká republika).

3.3.2 Barevná obilka

Velké rozšíření pšenice vede k potřebě kvalitativní pestrosti této plodiny, a to se odráží v poptávce po geneticky odlišných odrůdách. Pšenice s netradičním zbarvením obilek obsahují prospěšné látky s antioxidačními účinky a zároveň mají pekařské vlastnosti pšenice seté. Mezi látky s antioxidačními účinky patří flavonoidy (především antokyany), fenolické kyseliny a karotenoidy (především lutein). Výnos barevných odrůd pšenice je nižší než u běžných odrůd pšenice seté, ale vyšší než u pšenice špaldy (*T. spelta* L.), pšenice tvrdé (*T. durum* Desf.), dvouzrnky (*T. dicoccum* (Schrank) Schuebl) nebo u jednozrnky (*T. monococcum* L.) (Urešová 2021).

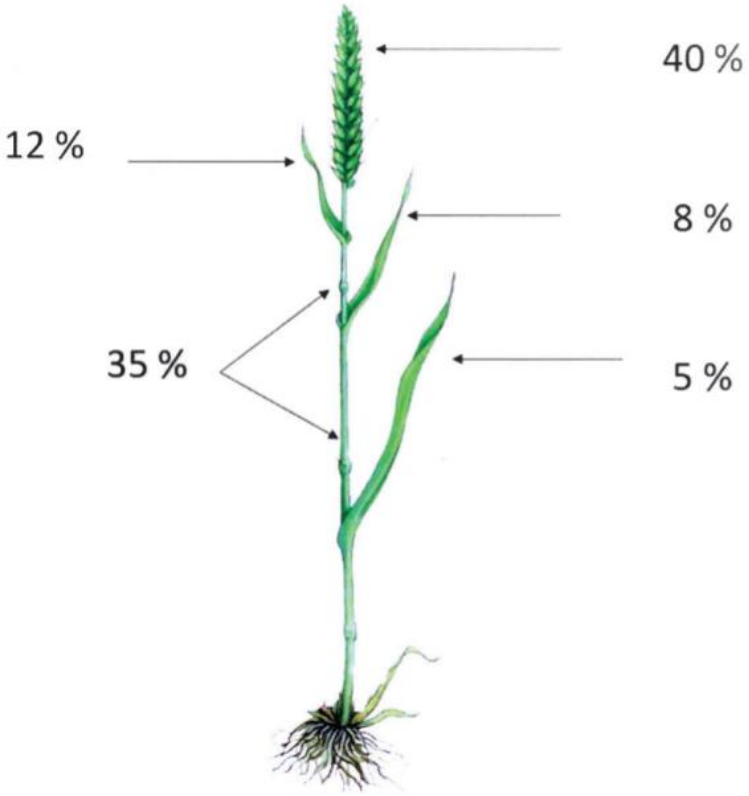
Obr. 4: Odrůdy pšenice s barevným zrnem (Urešová 2021).

Antokyany jsou běžnými složkami ovoce a zeleniny, kde působí jako antioxidanty. Pomáhají také při prevenci kardiovaskulárních onemocnění, cukrovky, zánětů, rakoviny, obezity a stárnutí. Kultivary běžné pšenice po celém světě mají bílou barvu. Barevná pšenice, bohatá na antokyany, je poměrně neobvyklá (Sharma et al. 2018). Odrůdy s purpurovým perikarpem a modrým aleuronem obsahují větší množství barviv. Otruby jsou složeny z polysacharidů, které řadíme mezi nerozpustnou vlákninu a nepodléhají tedy fermentaci v tlustém střevě. Dále mají schopnost udržet v pekařských výrobcích vlhkost díky absorpci vody, zvyšují retenci vzduchu a těsto lépe zraje. Přítomnost sloučenin cukru ve zdroji vlákniny hraje klíčovou roli v lepší barvě výrobků (Bagheri & Seyedein 2011). V našich podmínkách mají běžné odrůdy pšenice (*Triticum aestivum* L.) obsah antokyanů kolem 8 $mg.kg^{-1}$ (Martinek et al. 2012). Abdel-Aal a Hucl (2003) zjistili, že mouka purpurového zrna obsahuje 157 $mg.kg^{-1}$ antokyanů a v otrubách 458 $mg.kg^{-1}$ a u zrna s modrým zbarvením 104 $mg.kg^{-1}$ v mouce a 251 $mg.kg^{-1}$ v otrubách.

3.4 Tvorba výnosu

Růst a vývoj rostlin provází složité pochody od zakládání, diferenciace až po redukce vegetativních a generativních orgánů. Pro dosažení všech cílů pěstitele, je nutné znát veškeré faktory, procesy a souvislosti mezi nimi. Je již známo, že podmínky prostředí ovlivňují výnos zrna (Lipavský 2000). Především je nutný celkový pohled z různých hledisek od anatomického, fyziologického až po ekologické a další (Novák et al. 1987).

Intenzita fotosyntézy se liší v rámci orgánů, jejichž velikost se v průběhu růstu rovněž mění. Klas včetně osin vytvoří až 40 %, horní internodium, stéblo 35 %, čepel a pochva praporcového list 12 % a druhého listu shora 8 % a spodní část rostliny zbývající 5 % asimilátů (obr. 5). Ve fázi metání a kvetení dosahuje nejvyššího bodu. V rámci jednotlivých rostlinných orgánů probíhá transport asimilátů rozdílnými směry, oproti tomu nárůst sušiny nadzemní biomasy trvá až do raně voskové zralosti a současně následuje během dozrávání intenzivní přesun asimilátů do zrna. Do fáze konce kvetení narůstá rychlost fotosyntézy a tvorba energeticky bohatých látek. Poté vlivem senescence listů a transportu asimilátů do obilek dochází k poklesu obsahu energeticky bohatých látek v sušině. Neleze opomenout to, že závislost mezi fotosyntézou a tvorbou energeticky bohatých látek je dynamický proces. Jedná se o otevřený systém ovlivňovaný řadou vlivů (Hnilička et al. 2020).



Obr. 5: Vliv jednotlivých částí rostlin na tvorbu asimilátů (upraveno dle Petr 2001).

Rosslerová (2010) uvádí, že z pokusů prof. Hans-Joachima Weigela vyplývá, že rostliny vystavené vyšší koncentraci oxidu uhličitého v atmosféře vykazují vyšší přírůstky a lépe hospodaří s vodou. Již dříve bylo prokázán vliv oxidu uhličitého na přírůstky biomasy. Ve sklenících se používal jako živina ke „hnojení“. Rostlina jej prostřednictvím fotosyntézy přeměňuje na organické látky sloužící k výstavbě jejího těla. Prostředí obohacené o oxid uhličitý omezilo transpiraci a přispělo k nárůstu biomasy o 10–15 % a v závislosti na ročníku a vytranspirovaly o 5–20 % méně vody. Zvýšila se také vlhkost půdy. Byl sledován stres ze sucha a snížená koncentrace CO_2 u kukuřice (C4 rostlina), která za vysokých teplot rychleji roste. Na

podmínky s nynější koncentrací CO_2 rostliny reagovaly na stres ze sucha poklesem produkce nadzemní biomasy o 28 %. Oproti tomu v podmínkách zvýšené koncentrace CO_2 to bylo jen 11 %, sucho tedy bylo kompenzováno. C4 rostliny efektivněji přijímají oxid uhličitý a jsou méně závislé na jeho koncentraci. C3 rostliny na něj reagují výrazněji.

Primárním zdrojem uhlíku u C4 rostlin na počátku cyklu je hydrogenuhličitan (HCO_3^-), který reaguje s PEPkarboxylázou, jejíž výhodou je schopnost využívat nižší koncentrace CO_2 než Rubisco, proto tyto rostliny nereagují na zvýšenou koncentraci CO_2, tak jako C3. Z toho vyplývá, že C4 rostliny mají nižší ztráty vody transpirací a nižší ztráty fotosyntézy fotorespirací oproti C3 (Ryšlavá & Doubnerová 2010).

Základem hospodářského výnosu jsou organické látky, které se nachází v rostlině zhruba v 10 %. Řadíme mezi ně sacharidy, bílkoviny, tuky a minerální látky. Cílem zemědělců je vysoká produkce organických látek a obsah vody v rostlině pro ně není tak důležitý (Nátr 2005).

Výsledky ÚKZÚZ dokazují že, pšenice s potravinářskou kvalitou mají nižší výnosy a v průměru vyšší obsah bílkovin v zrnu. Oproti tomu odrůdy s nepotravinářskou kvalitou měly obsah bílkovin nižší. Z pokusů vyplývá, že vyšší výnos může být snadněji dosažitelný, pokud je v zrnu dostatečný obsah polysacharidů a nižší obsah bílkovin. Biosyntéza škrobu v zrnu vyžaduje zřejmě menší množství metabolické energie. Naopak syntéza bílkovin vyžaduje energie více (Hnilička et al. 2020). Tian et al. (2015) uvádějí souvislost trendu zvyšování obsahu bílkovin s vyšší koncentrací CO_2 v atmosféře a se souvisejícím globálním oteplováním.

Petr et al. (1987) uvádí že, fotosyntéza je hlavním zdrojem asimilátů pro tvorbu biologického výnosu. Produktivitu fotosyntézy ovlivňuje:

1. velikost asimilační plochy,
2. délka trvání příznivých podmínek pro fotosyntézu,
3. rychlost fotosyntézy,
4. činnost kořenového systému.

3.4.1 Velikost asimilační plochy

Prostřednictvím fotosyntézy dokáže rostlina ze základních látek vytvářet jednoduché cukry, které jsou později zabudovány s ostatními minerálními látkami a živinami, které rostlina přijímá kořenovým systémem, do složitějších cukrů, ze kterých poté sestává rostlinné tělo (Vodrážka 1993). Rostlina ke svému životu potřebuje komplexní soubor vhodných podmínek. Jedná se konkrétně o (Wilsson 1988):

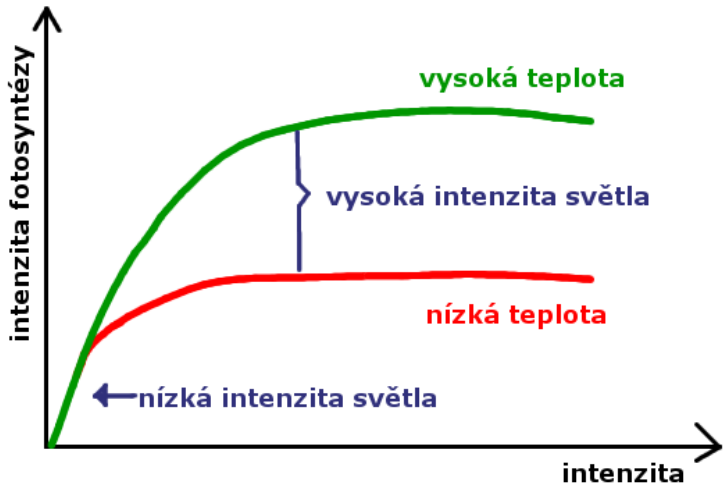
1. Dostatek dopadajícího světelného záření na rostlinné tělo, především listy a stonek.
2. Ideální teplotu okolního prostředí, jelikož přílišné teplo způsobuje intenzivní vypařování, a nízká teplota brzdí rostoucí procesy v rostlinném těle.
3. Dostatečné množství vody přijímané kořenovým systémem rostliny. Bez vody nemůže fotosyntéza vůbec probíhat, rostlina neroste, schne a hyne.
4. Přísun minerálních látek a živin, které jsou mimo základních sloučenin zapotřebí a rostlina je přijímá kořenovým systémem.

Jednou z hlavních podmínek pro intenzivní fotosyntézu představuje množství dopadajícího světelného záření na povrch rostlinného těla viz obr. 6. Čím vyšší množství

světelného záření ze slunce na rostlinu dopadá, tím lépe a intenzivněji je rostlina schopna asimilovat. Sluneční záření totiž představuje jednu z hlavních proměnných, která je zapotřebí, aby vůbec fotosyntéza mohla probíhat (Bláha et al. 2004). Na rozdíl od živočichů, jsou rostliny po celý svůj život a vývoj fixovány na jedno konkrétní místo, a nejsou schopné pohybu. Proto, chce-li rostlina získávat sluneční záření, musí investovat do asimilačních orgánů, které jsou schopné absorbovat světelné záření (Monk 1966).

Rozhodujícím faktorem je tedy velikost asimilačního aparátu rostlin neboli asimilační plochy rostlin (především listů, ale i stonků) (Monk 1966). Kostrej (1992) uvádí, že nejen počet listů, ale i jejich postavení na stonku hraje významnou roli. To, jakou asimilační plochou konkrétní rostlina disponuje, pak ovlivňuje i kompetiční souboj s jinými rostlinami o světelné záření. V hustém porostu, kde rostlina není schopná zachytit potřebné množství slunečního záření svou asimilační plochou, část jejich listů předčasně odumře, čímž dochází současně k tomu, že se snižuje i využití možného slunečního záření. Výhodou není ani řídký porost, kde dochází k tomu, že je využívána pouze malá část slunečního záření, a velké množství energie dopadá bez využití na půdu (Monk 1966).

Rozvoj porostu má vliv na rychlou změnu pater funkčního asimilačního aparátu rostlin i změnu v mikroklimatu. Listová plocha dosahuje maxima od metání až do kvetení, je nutné, aby si ji porost udržel co nejdéle z hlediska tvorby biomasy. Následně dochází k postupnému odumírání spodních pater. Význam má i prostorové uspořádání listové plochy. Erektoidní postavení listů umožňuje využít větší lisovou plochu s vyšším ozářením a pronikáním světla do nižších pater (Lipavský 2000).



Obr. 6: Vztah mezi množstvím dopadajícího slunečního záření (neboli asimilační plochou) a intenzitou fotosyntézy. Zdroj: wikipedia.org

3.4.2 Vliv trvání příznivých podmínek

Pokud dlouhodobě trvají příznivé podmínky, které jsou pro fotosyntézu zásadní (intenzivní sluneční záření, ideální teplota, dostatek vody a výživná půda plná minerálních látek

a živin), v rostlině probíhá fotosyntéza intenzivně, a rostlina roste. Pokud dlouhodobě převládají nepříznivé podmínky, zejména podnebné (nízká nebo přílišná teplota, přílišné sucho nebo dlouhodobě zamračené počasí), pak v rámci rostliny fotosyntéza nemůže probíhat intenzivně. Klasickým příkladem toho, jaký vliv má dlouhodobé trvání příznivých podmínek na intenzitu fotosyntézy, je střídání ročních období. Na jaře, kdy jsou povětšinou podmínky pro fotosyntézu a zároveň růst rostliny ideální, v rámci rostliny dochází k intenzivní fotosyntéze. Stejné podmínky pro rostlinu panují i během léta, kdy je však rostlině nutné občas v případech sucha dodávat vodu (Wilsson 1988).

3.4.3 Rychlost fotosyntézy

Rychlost fotosyntézy je limitována řadou faktorů. Faktory, které ovlivňují intenzitu a rychlost fotosyntézy, a tím i růst rostliny, rozlišujeme na vnitřní a vnější. Důležité je si uvědomit, že tyto faktory nepůsobí na fotosyntézu rostliny samostatně, jako nezávislí činitelé, ale jedná se o komplexní soubor faktorů, které pracují souběžně a vzájemně podmíněně (Bláha et al. 2004).

Mezi vnitřní faktory řadíme zejména množství chlorofylu, stáří, množství a plochu asimilačních orgánů konkrétní rostliny (zejména listů) a dostatek nebo nedostatek minerálních látek a živin v rostlině, které jsou přiváděny kořenovým systémem rostliny (Bláha et al. 2004). Mezi vnější faktory, které ovlivňují rychlost fotosyntézy podle Wilsson (1988) patří:

1. Množství světelného záření, kdy fotosyntézu a její rychlost ovlivňuje světlo, jak vhodným spektrálním složením, tak i intenzitou. Je však dobré mít na paměti, že zvyšující se intenzita světelného záření ovlivňuje fotosyntézu pouze do určité úrovně.
2. Koncentrace oxidu uhličitého v ovzduší – Začátkem 19. století zkoumal botanik N. T. Saussure význam CO_2 pro výživu rostlin a všiml si, že při vyšší koncentraci CO_2 rostliny více rostou. Na počátku 20. století se zmíněný jev začal využívat v zahradnických sklenících. Pozitivní účinek zvýšené koncentrace oxidu uhličitého na růst souvisí i s teplotou, intenzitou ozáření, obsahem vody v půdě a dostatečnou zásobou dusíku a fosforu (Plhák 2004).
3. Vhodná teplota okolního prostředí – Teplota představuje jeden za zásadních faktorů, které ovlivňují rychlost fotosyntézy, i její samotné uskutečnění. Pro rostliny i českém prostředí se ideální teplota pohybuje v rozmezí 15–25 °C. Pokud teploty přesáhnou 30 °C, nebo poklesnou pod 10 °C, nastává výrazný pokles rychlosti fotosyntézy.
4. Dostatečné množství vody – Role vody je v celém procesu fotosyntézy nejpodstatnější, jakož i v celém životě rostliny. Pokud rostlině chybí voda, nedochází k fotosyntéze vůbec. Dochází totiž v uzavření rostlinných průduchů, kterými by se zbytečně vypařovala chybějící voda, čímž dojde i k zastavení přijímání oxidu uhličitého ze vzduchu.

Současným cílem je zvýšení rychlosti fotosyntézy. Lze toho docílit pomocí zvýšení obsahu mRNA pro malou i velkou podjednotku RUBISCO. Rostliny C4 (kukuřice, cukrová třtina atd.) ovládají rychlejší fixaci CO_2, oproti rostlinám C3 (pšenice, rýže atd.). Proto byly

snahy zavést tento efektivnější mechanismus fixace do rostlin C3. Podařilo se exprimovat enzymy podílející se na fixaci CO_2. Ovšem výsledky v polních podmínkách nebyly zatím příliš úspěšné. Nutné je počítat například s tím, že se rostliny v porostu zastiňují. To znamená, že enzym RUBISCO nebude plně využit. Na výnosu zrna závisí dostupnost dusíku. Samotný enzym představuje v období vegetativního růstu největší zásobu dusíku, která se při dozrávání rozkládá. Pokud se dusík nachází v přijatelné formě, výnos se může zvýšit až o 6 %. V opačném případě se může výnos snížit až o 6 %. Na navýšení hmotnosti obilek nemusí být využita zvýšená produktivita asimilátů, zvláště u vysoce produktivních odrůd. Důvodem je nenavýšení akumulační kapacity (sink) zásobních orgánů. Nedostatečná kapacita vodivých cest může být také jedním z faktorů (Nátr 2005).

Metabolismus rostlin označovaných jako C3 a C4 se liší svým metabolismem podle způsobu fixace CO_2. C4 rostliny mají rychlost fotosyntézy a tvorbu biomasy o 30-50 % vyšší než C3 rostliny, lépe hospodaří s vodou a fotosyntéza probíhá i při částečně uzavřených průduchových štěrbinách. Předpokládá se, že kořenový systém těchto rostlin by mohl být velmi dobře využit z hlediska příjmu vody a odolnosti vůči půdním stresům (Bláha et al. 2017). Výzkum poukazuje i na možnosti využití C4 systému u pšenice. Systém C4 byl detekován ve vyvíjejícím se zrnu pšenice (Rangan et al. 2016).

3.4.4 Vliv činnosti kořenového systému na fotosyntézu

Ačkoliv se kořenový systém přímo fotosyntézy neúčastní, a v rámci něj k fotosyntéze dochází, hraje zásadní roli v přivádění vody a živin. O tom, jak je kořenový systém pro rostlinu i následnou fotosyntézu podstatný hovoří i skutečnost, že právě do kořenového systému investuje rostlina nejvíce energie již po samotném vyklíčení. Při klíčení semene vzniká primární kořínek, který zakoření v půdě a začne rostlinu zásobovat nezbytnými látkami (vodou a živinami). Poté je veškerá energie, která se v rostlině nachází, investována právě do rozvoje kořenového systému. Až v okamžiku, kdy je vytvořen dostatečný kořenový systém, rostlina začne energii investovat do rozvoje svých nadzemních zelených částí, které jsou podstatné a nezbytné pro uskutečňování fotosyntézy a růst rostliny (Monk 1966). Větší kořenový systém umožňuje lepší využití živin, a tudíž menší kontaminaci prostředí nevyužitými živinami, hlavně dusíkem a fosforem.

Větší kořenový systém může zajišťovat dostupnost vody z hlubších vrstev během suchých období, nicméně vyšší velikost kořenového systému není výhodou, pokud sucho nenastane. Pro rostlinu je zbytečnou investicí na úkor jiné translokace produktů fotosyntézy. Nutno dále zmínit, že větší kořenový systém umožňuje lépe využívat živiny. Tím dochází k menší kontaminaci prostředí nevyužitými živinami, především dusíkem a fosforem (Středa et al. 2013).

Z pohledu výživy rostlin mají odnože příznivý vliv, díky tvorbě adventivních kořenů. Z toho vyplývá, že rostliny silně odnožující vytvářejí mohutný kořenový systém. Pokud dojde k přehnojení, kořenový systém se zmenšuje (Lipavský 2000).

Většina suchozemských plodin tvoří mykorhizu. Arbuskulární mykorhiza byla pozorována zkoumáním hyf v kořenech kosatce již v polovině 19. století švýcarským botanikem Karlem Wilhelmen von Nägeli. V 50. letech 20. století prokázala britská badatelka Barbara Mosse spojení mezi touto symbiózou a konkrétní houbou. Mycelium, které vyrůstá ze spór nebo z již kolonizovaného jedince je tenčí než kořenové vlásky (Konvalinková 2017).

Závislost na příjmu živin pomocí mykorhizních hub se liší mezi druhy plodin a v rámci druhu i mezi odrůdami. Mezi odrůdami pšenice jsou významné rozdíly s trendem k nižší závislosti u moderních odrůd, které byly vyšlechtěny pro vysoké výnosy v podmínkách intenzivního zemědělství, a to s mykorhizou nepočítá a jejich schopnost spolupracovat s houbou může být potlačena. V mnoha intenzivních zemědělských systémech lze prospěch plodin z mykorhizy zvýšit pouze změnou agronomických postupů. Cílem je zlepšit podmínky

pro její rozvoj a fungování (snížení dávek hnojiv, zejména fosforu, vynechání plodin, které netvoří mykorhizu (např. řepka olejka), z osevních postupů, přechod na minimalizační technologie zpracování půdy, použití vhodných odrůd a meziplodin. Pokud je v půdě nedostatek arbuskulárně mykorhizních hub, tak by tyto změny umožnily jejich přirozené namnožení včetně ustanovení funkčně bohatších společenstev bez nutnosti dodávat houby do půdy inokulací. Intenzivní zemědělství si klade za cíl vysoké výnosy. Hnojení, pesticidy a závlahy jsou jakousi pojistkou pro jejich dosažení, oproti tomu funkčnost mykorhizy jakožto biologického systému závisí na mnoha faktorech. Jejím hlavním potenciálem je dlouhodobá udržitelnost zemědělských systémů obecně. Dále snížení znečištění životního prostředí, obnovení funkčnosti krajiny, zvýšení kvality půdy a potravin (Janoušková 2017).

3.5 Výnosotvorné prvky

Faměra (1993) uvádí, že výnos se tvoří po celou dobu vegetace. Obilniny mají tři základní výnosotvoré prvky:

1. Počet klasů na jednotku plochy.
2. Počet zrn v klasu.
3. Hmotnost tisíce zrn.

Podle Petra et al. (1997) jsou doporučeny optimální parametry porostu ozimé pšenice pro 1 m²: 300-450 vzešlých rostlin, 550–700 klasů, 14 000-16 000 zrn.

Podle Lipavského (2000) lze shrnout, že na úroveň výnosotvorných prvků působí:

1. Vlivy vnějšího prostředí.
2. Agrotechnika (hnojení, ochrana rostlin a další).
3. Kompenzační vztahy (například nižší počet klasů je nahrazen vyšším počtem zrn v klasu).

Pro nejlepší výkon pšenice při předpokládané změně klimatu byl navržen tzv. ideotyp pšenice. Výnosový potenciál pšenice může být podstatně zvýšen u nových ideotypů ve srovnání se současnými odrůdami pšenice. Hlavními faktory přispívajícími ke zvýšení výnosu jsou: zlepšení účinnosti přeměny světla, prodloužení doby plnění zrna, což vedlo k vyššímu indexu sklizně a v neposlední řadě optimální fenologie (Semenov & Stratonovitch 2013).

Pět klíčových znaků identifikovaných pro ideotyp šlechtění pšenice jsou podle Furbank et al. (2019) tyto:

1. Velká ouška, mnoho kvítků, velká zrna (vysoký sklizňový index),
2. krátké vzpřímené listy (efektivní zachycení světla),
3. silné, krátké stéblo (snížení poléhání/snížená strukturální biomasa, vysoký sklizňový index),
4. vysoká vitalita/biomasa (pokud je sklizňový index maximalizován),
5. nízké odnožování (méně neplodných odnoží, pokud jsou limitovány nedostatkem vody).

Pro výpočet počtu klasů na jednotku plochy je zásadní hloubka, načasování, hustota výsevu a kvalita setí. V neposlední řadě také vzcházivost osiva. Ta je ovlivněna jak vnějším prostředím, tak kvalitou osiva. Jedna rostlina pšenice vytváří 3–6 odnoží. Po dosažení maximálního počtu odnoží, nastává redukce vytvořených odnoží. Závisí to na vláze, živinách, tlaku chorob a škůdců a na konkurenci mezi rostlinami (Diviš et al. 2010).

Přechod z vegetativní do generativní fáze je podmíněn geneticky a vnějším prostředím, které mají vliv na diferenciaci vzrostného vrcholu (Diviš et al. 2010). Produktivita klasu je rozdílná v závislosti na ročníku a odrůdě. Obvykle se počet zrn v klasu pohybuje okolo 25–36 obilek (Petr & Lipavský 2002). Dlouhé klasy s nejlépe třemi kvítky v klásku jsou žádoucí pro dosažení optimálního výnosu (Graman & Čurn 1998).

Objem a hmotnost obilky se zvyšuje obvykle od 15–35 dní po fázi kvetení. Pro vyšší hmotnost obilek je lepší delší doba jejich plnění. U obilovin se HTZ (hmotnost tisíce zrn) nejčastěji pohybuje od 30–50 g (Diviš et al. 2010). V současné době se v podmínkách střední a západní Evropy rozšířil trend šlechtění na zvýšenou hmotnost zrna klasu. Naopak odrůd, které tvoří vysoký počet klasů ubývá (Bezdíčková & Kryštof 2010).

Produktivity porostu lze dosáhnout pomocí kvalitního a vitálního osiva, které zajistí rychlé vzejití a vyrovnaný porost. Takový porost je celkově odolnější k chorobám a abiotickým stresům. Nízká vitalita osiva se nejvíce projeví při pozdním setí nebo zvolení nevhodné hloubky setí. Dalším projevem je redukce počtu rostlin na jednotce plochy. Toto může výrazněji ovlivnit biologický a hospodářský výnos. Kladen je důraz na namoření osiva. Například špatné partie osiva jsou ty s vysokým podílem nenamořených obilek (nad 10 %). Dále přemořené osivo s nadměrnou koncentrací účinné látky a další. Špatné moření nemůže zajistit zdravý porost po založení. Navíc jsou tu i mnohá další rizika z hlediska následného využití pšenice (Hosnedl 2008).

K dispozici je pouze preventivní ochrana proti původcům chorob přenosných půdou nebo na posklizňových zbytcích. Ideálním řešením je střídání plodin, kdy jednotlivé plodiny nejsou na pozemku pěstovány po sobě dříve než za tři až čtyři roky. Je třeba soustředit se i na jiná opatření mezi, než patří zpracování půdy. Mělké zpracování půdy není z hlediska chorob kořenů a bází rostlin nejšťastnější řešení. Důležitou roli hrají posklizňové zbytky a z hlediska fytopatologie je nejhorším řešením ponechání velkých částí na povrchu půdy nebo jen mělce zapravené, tím se množí původci chorob rostlin, kteří přežívají na mrtvé organické hmotě. Rozdrcením posklizňových zbytků na co nejmenší části a jejich hlubším zapravením se urychlí jejich rozklad. Důležitým bodem je dodání organické hmoty do půdu, ať už v podobě statkových hnojiv nebo pěstováním meziplodin s cílem dosažení bohatého osídlení půdy mikroorganismy (Prokinová et al. 2018).

Čím více druhů žije v půdě, tím je prostředí stabilnější a klesá potenciálně přemnožení fytopatogenních hub. Fungicidní ochrana během vegetace má na půdní organismy minimální účinek, k dispozici nejsou přípravky, které by byly rozváděny v rostlině směrem do kořenů. V případě používání uznaného osiva nelze zaručit, že se ani v/na jednom semenu v dané partii nevyskytne původce choroby. Řada mořidel obsahuje nejen látky potřebné k hubení škodlivých organismů přenosných osivem, ale i složky podporující růst a vitalitu na počátku vzcházení. Nejznámější a nejrozšířenější ošetření v ČR je chemickými přípravky, které má zatím nejvyšší účinnost, ta je dána kvalitou namoření. Dobře namořené semeno je chráněno jak proti patogenům přenosným osivem, tak v prvních zhruba čtyřech týdnech i proti půdním patogenům (např. *Rhizoctonia solani, Gaeumannomyces graminis* a některé druhy rodu *Fusarium*) (Prokinová et al. 2018).

Snadným způsobem, jak snížit riziko výskytu patogenů přenosných osivem u rostlin a omezit redukci výnosu je ošetření osiva chemickými přípravky. Členské státy EU se zavazují k omezení spotřeby pesticidních látek, které představují zátěž pro životní prostředí, v rámci Akčního plánu na setrvalé používání pesticidů. Podle vyhlášky č. 129/2012 Sb. je kvalita certifikovaného osiva zajištěna kontrolním procesem. Otázkou však je, zda osivo mořit či nikoli. Může se upustit od fungicidního moření, pouze v případě kvalitního, zdravého osiva vysévaného po vhodné předplodině na pozemek, který není kontaminován patogeny. Předpokládá se však, že je znám zdravotní stav množitelského porostu a úroveň výskytu závažných patogenů v osivu. Kvalitu osiva udávají tři základní prvky: stav odrůdy (záruka

pravosti a čistoty deklarované odrůdy a stupeň (generace) množení), fyziologický stav osiva (souhrn fyzikálních a biologických vlastností) a zdravotní stav (vše, co souvisí s výskytem škodlivých organismů u osiva, včetně množitelských porostů) (Křen et al. 2018).

V podmínkách ČR se ochrana osiva pšenice zaměřuje zejména na mazlavé sněti (*Tilletia* spp.), fuzariózy (*Fusarium* spp.), plíseň sněžnou (*Microdochium nivale*), popřípadě sněť prašnou (*Ustilago tritici*) a braničnatky (*Septoria* spp.) (Drahorád 2001). V současné době je na trhu řada mořidel, většina z nich obsahuje i další látky, které stimulují růst rostliny nebo zlepšují její polní odolnost. Důležité ovšem je, jaké patogeny se v konkrétní oblasti vyskytují. Platí pravidlo, že i osivo s předpokladem dobré klíčivost může hůře vzcházet. Pro osivo z vlhčích oblastí nebo osivo, u jehož z vyhlášky vyplývá povinnost mořit díky vyššímu výskytu fuzariózních zrn, by mělo být vybráno mořidlo s vysokou účinností na *Fusarium* ssp. apod. (Prokinová 2016).

Materiály vlastníků mořidel mohou pomoci při výběru vhodného přípravku, ale nezávislé testování není k dispozici. Registrace přípravku je poměrně komplikovaná a součástí jsou i tříleté zkoušky biologické účinnosti. Bohužel podrobnější hodnocení na jednotlivé patogeny bývá zpravidla problematické. Jednou z dalších chemických metod ošetření osiva je aplikace stimulátorů růstu. Účinné složky těchto přípravků bývají vyráběny synteticky, často na přírodní bázi (např. s obsahem fulvokyselin, huminových kyselin, extraktů z mořských řas atd.). Důležité je dbát na doporučení výrobce a nekombinovat přípravek s dalšími látkami. Zákon a vyhláška určují pravidla kombinací přípravků na ochranu rostlin. Nevhodné smíchání hnojiv a stimulátoru může mít negativní dopad na necílové organismy či vodní prostředí. Moření biologickými přípravky je další velmi dostupnou alternativou (Prokinová 2016).

Účinnou složkou je zde živý mikroorganismus. Přípravek Gliorex obsahuje výtrusy hub rodů *Trichoderma* a *Clonostachys*, které jsou významnými antagonisty mnoha fytopatogenních druhů. Tento přípravek a další mají poměrně široké využití, v případě obilnin jsou doporučeny k aplikaci na osivo v ekologickém zemědělství. Poslední možností ošetření osiva je fyzikální, kde se nejčastěji využívá ošetření teplem, proudem elektronů, anebo plazmou. Jedná se o okrajové metody, které jsou intenzivně studovány pro potřeby ekologického zemědělství, v případě obilnin zatím nejsou akceptovány jako dostatečné v případě, že partie osiva je v uznávacím řízení uznána s povinností osivo ošetřit (Prokinová 2016).

V současné době se používají přípravky ve formulaci FS (kapalný suspenzní koncentrát pro moření osiva), ředí se vodou a dobře se aplikují již v nízkých dávkách, jejich výhodou je i dobrá ulpívající schopnost. Mezi technologické podmínky lez řadit tzv. sypnost osiva, díky které lze osivo snadno vysévat a plnit semena do obalů (Křen et al. 2018).

Kořenomorka je choroba klíčních a vzcházejících rostlin představující největší riziko v podmínkách sucha, která může způsobit ztráty na výnosu dosahující třiceti a více procent. Před deseti lety se na trhu objevil přípravek Vibrance s účinnou látkou sedaxane. Jednalo se o první ošetření semen, které se kromě regulace osivem a půdou přenosných chorob zaměřuje na zdravotní stav kořenů. Technologie Rooting Power™ zajišťuje růst silnějších a zdravějších kořenů. Tato technologie získala v roce 2011 ocenění „Nejlepší produkt roku“ v soutěži Agro Award (nyní pod názvem Crop Science Awards). Do budoucna je Vibrance skvělým partnerem pro Good growth plan (Plán udržitelného rozvoje) (Syngenta Czech s.r.o. 2021).

3.6 Výnos a jeho kvalita

Půda, rostlina a klima vyjadřují vztah, od kterého se odvíjí výsledný výnos. Schopnost tvorby organických látek fotosyntézou je nejdůležitější vlastností zelených rostlin. Díky fotosyntéze rostlina vytvoří více než 95 % sušiny sklizně. Mezi další důležité životní funkce patří dýchání. Při trvale teplém počasí snižují látkovou produkci rostlin vyšší ztráty. Ty jsou způsobené prodýcháním zejména v noci (Špaldon et al. 1986). Z hlediska negativního dopadu

na výnos pšenice je nejdůležitější období od dubna do června, protože probíhají nejcitlivější fáze vývoje. Naopak pozitivní účinek sucha lze pozorovat ve fázi zrání, kdy má sucho pozitivní vliv na zdraví a sklizeň pšenice, ovšem za předpokladu, že předchozí vývoj a růst byl optimální (Prášil et al. 2018).

Pojem kvalita čili jakost je velmi subjektivní, protože je závislá na potřebách, zvyklostech a sklonech, dále na chuťovém zaměření a úrovni vědeckého poznání člověka. Pozitivní kvalitativní znaky sklizených produktů vyjadřují pro člověka zvýšení užitné hodnoty (Schwanitz 1969).

Faktorů ovlivňujících výnos je celá řada, a proto by měl zemědělec znát alespoň základní principy agronomie. Měl by sledovat změny počasí a reakce plodin. Mezi biologické faktory patří: šlechtění (produktivní odrůdy), minerální výživa, vodní režim (závlaha), ochrana rostlin, zpracování půdy a další (Nátr 2009).

Je důležité znát všechny souvislosti s faktory a procesy tvorby výnosu a jak změny jednotlivých složek ovlivní celkový produkční proces a v důsledku toho i výnos zrna. Odnožování je vlastnost přirozeně geneticky fixovaná. Nejvíce odnožování ovlivňuje světlo, teplota, půdní vláha a růstové látky. Dále intenzitu a následnou redukci počtu odnoží ovlivňuje hustota porostu. Se stoupající hustotou porostu vzrůstá redukce počtu odnoží. Odnožování podporují faktory, které zpomalují vývoj, tj. diferenciaci vzrostného vrcholu (vliv krátkého dne, hnojení především dusíkem v kombinaci s fosforem). Vývoj odnoží a jejich stárnutí je závislé na komplexní interakci mnoha faktorů. Rostlina tak reguluje hustotu porostu a částečně eliminuje nepříznivé důsledky počasí, patogenů a agrotechnických chyb během vegetačního období. Pozitivní vliv odnoží je především na tvorbu adventivních kořenů. Odrůdy více odnožující tvoří mohutný kořenový systém, který je důležitý pro příjem živin (Lipavský 2000).

4 Metodika

Byl založen skleníkový pokus v částečně řízených podmínkách se zachováním přirozeného světelného režimu. Pěstovanou rostlinou byla jarní pšenice ze Zemědělského výzkumného ústavu v Kroměříži. U osmi vybraných genotypů se sledoval vliv genotypu a ontogenetického vývoje na utváření základních výnosotvorných prvků. V dalších krocích byl stanoven výnos hlavního a vedlejšího produktu. Celkem se uskutečnilo pět odběrů v hlavních vývojových fázích.

4.1 Použitý rostlinný materiál

Jednotlivé genotypy pšenice seté poskytl Zemědělský výzkumný ústav v Kroměříži. Pro pokus bylo vybráno celkem osm genotypů jarních forem pšenice seté s odlišným zbarvením obilky a morfotypem klasu. Velká část testovaných genotypů je novošlechtění a nebylo předáno k odrůdovým zkouškám.

1. ANBW 6A/ANK-26B (bílé zrno, mnohořadý klas, nekompaktní klas, bez ojínění, *Triticum aestivum* L.)
2. ANBW 6A/ANK-38 (bílé zrno, mnohořadý klas, kompaktní klas, s ojíněním, *Triticum aestivum* L.)
3. ANBW2N (dlouhá pleva, *Triticum aestivum* L.)
4. ANDW 20A (modrý aleuron, *Triticum durum*)
5. ANK-1B (červené zrno, *Triticum aestivum* L.)
6. ANK-28A (purpurový perikarp, *Triticum aestivum* L.)
7. LD222 (recipient 01C0205346, *Triticum aestivum* L.)
8. Novosibirskaya 67 (bílé zrno, tetraploidní, *Triticum aestivum* L.)

4.2 Založení pokusu

Ve skleníku katedry botaniky a fyziologie rostlin FAPPZ ČZU v Praze, byl uskutečněn nádobový pokus v částečně řízených podmínkách se zachováním přirozeného světelného režimu. Do nádob o objemu 5 l byl vložen substrát Hawita profesional Uni 20 Substrát. Obsah živin substrátu: NH_4-N+NO_3^-N 50-300 mg/kg; P_2O^5 80-300 mg/kg; K^2O 80-400 mg/kg. Následně se do každé z nich vyselo 8 semen a zalilo 250 ml vody. Během vývoje byly aplikovány následující přípravky: Agri CCC (morforegulátor) v dávce 0,75 ml/l + hnojení NPK a MgO. Dne 28.6. a 4.7. proběhla aplikace přípravku Bayleton FLO (fungicid proti padlí) v dávce 1 g/l. Celkem se uskutečnilo 5 odběrů v nejdůležitějších vývojových fázích viz tab. 1.

Tab. 1: Data odběrů v rámci ontogenetického vývoje

Datum odběru	BBCH
20.05.2019	Založení pokusu
14.06.2019	47
25.06.2019	55
11.07.2019	65
24.07.2019	75
27.08.2019	89

Obr. 3: Založení pokusu (foto: autor)

4.3 Měření fyziologických charakteristik

4.3.1 Příprava vzorku

Podle metodických pokynů Nátra (1965) bylo odebráno v příslušném termínu odběru po osmi rostlinách z jednotlivých opakování sledovaných genotypů pšenice seté.

4.3.2 Stanovení biomasy

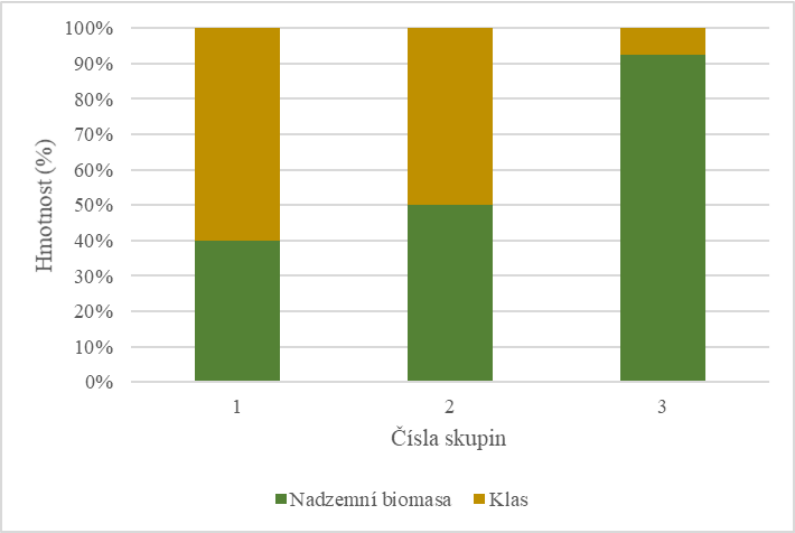
V příslušné vývojové fázi bylo odebráno po osmi rostlinách z jednotlivých opakování všech variant. Čerstvá biomasa byla rozdělena na jednotlivé orgány (kořen, stonek a list, klas s obilkami) a sušena při teplotě 80 °C do konstantní hmotnosti. Jednotlivé orgány byly poté váženy s přesností na 2 desetinná místa. Hmotnost byla měřena v g.

4.3.3 Stanovení výnosu

Skutečný výnos byl stanoven u každého sledovaného genotypu. Po sklizni biomasy a zrna byla zvážena na vahách s přesností na 2 desetinná místa a tímto způsobem byl zjištěn skutečný výnos.

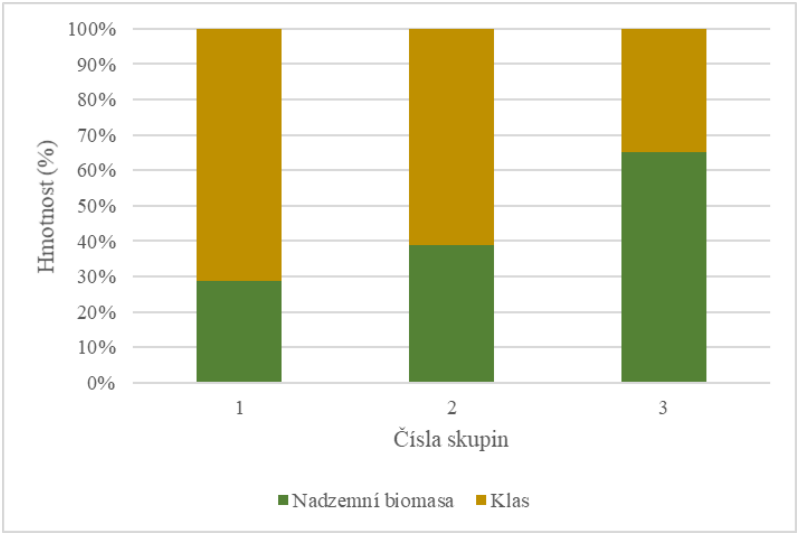
5 Výsledky

U osmi vybraných genotypů pšenice jarní byl sledován vliv genotypu a ontogenetického vývoje na utváření základních výnosotvorných prvků. Genotypy byly rozděleny do tří skupin podle výnosu zrna. První skupinou jsou genotypy s nejvyšším výnosem ve fázi 89. DC: ANK-1B, ANK-28A, NOVOSIBIRSKYA-67A. Skupina 2 zahrnuje ANBW2N, ANBW-6A/ ANK-26B, ANBW-6A/ ANK-38. Skupina 3 zahrnuje: ANDW-20A a LD222 s nejnižším výnosem.



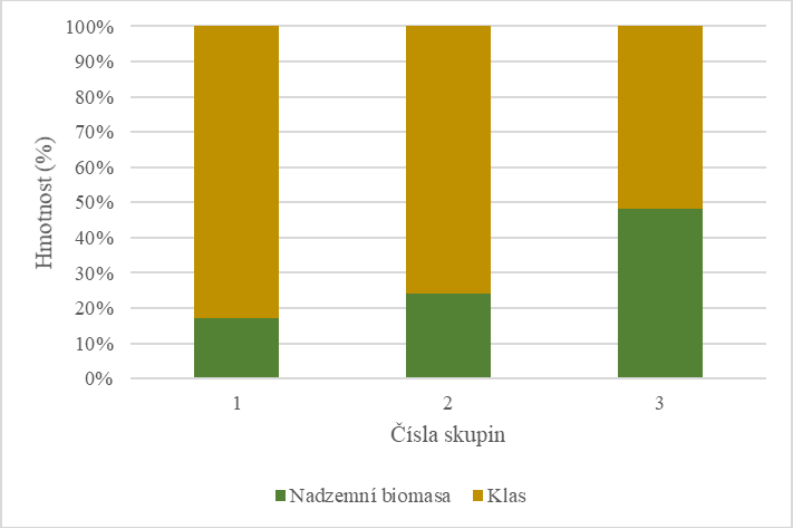
Graf 1: Poměr nadzemní biomasy a klasu (%) v rámci příslušné skupiny ve vývojové fázi 65.DC.

Graf 1 uvádí rozdíly v nárůstu nadzemní biomasy a klasů u všech tří zkoumaných skupin. Skupina 1 ve fázi kvetení soustředila nejvíce asimilátů do vývoje generativních orgánů. Oproti tomu skupina 3 měla nejvyšší poměr vegetativních orgánů ku orgánům generativním. Dle získaných relativních hodnot lze konstatovat, že u 1. skupiny byl podíl vegetativních orgánů na celkové produkci biomasy 40 %, kdežto u 3. skupiny byl výrazně vyšší, neboť dosahoval hodnot 95 %. Podíl generativních orgánů byl 60 %: 5 % ve prospěch 1. skupiny.



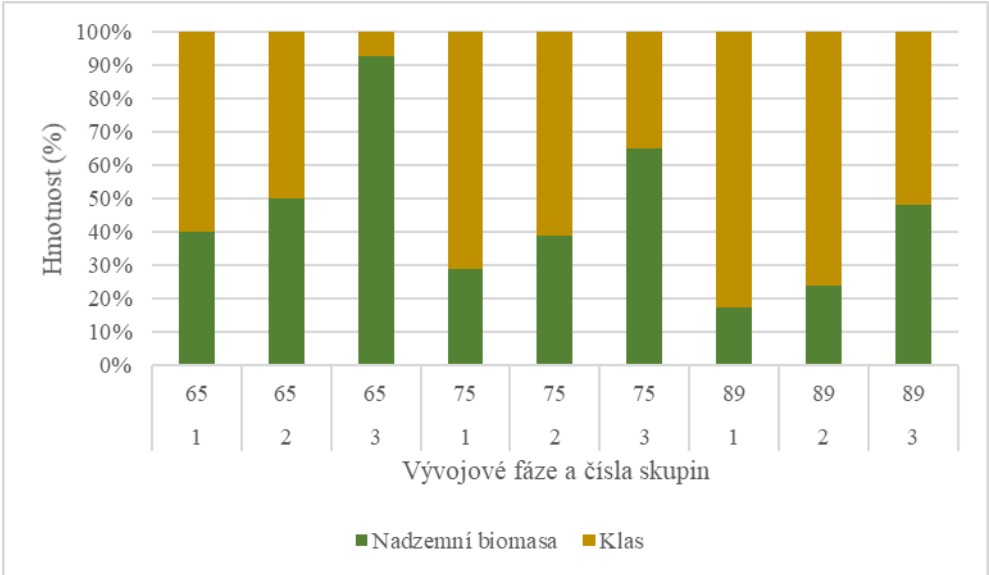
Graf 2: Poměr nadzemní biomasy a klasu (%) v rámci příslušné skupiny ve vývojové fázi 75.DC.

U skupin 1 a 2 je patrný téměř identický nárůst hmotnosti klasů, jak vyplývá z grafu 2. Z uvedeného grafu je patrné, že u všech sledovaných skupin pšenice se hmotnost klasu zvyšovala na úkor hmotnosti slámy. Nejnižší zastoupení slámy vykazovaly rostliny pšenice z 1. skupiny (29 %) a naopak nejvyšší ze skupiny 3 (65 %). V případě reprodukčních orgánů (klasů) je možné konstatovat, že nejvýraznější nárůst zastoupení klasů na celkové biomase byl zjištěn u 3. skupiny (z 9 % na 35 %) ve srovnání s předcházející vývojovou fází, a naopak nejnižší u skupiny 1 (z 60 % na 71 %). Mezi první a druhou skupinou nebyly zjištěny rozdíly v podílu mezi slámou a klasy.



Graf 3: Poměr nadzemní biomasy a klasu (%) v rámci příslušné skupiny ve vývojové fázi 89.DC.

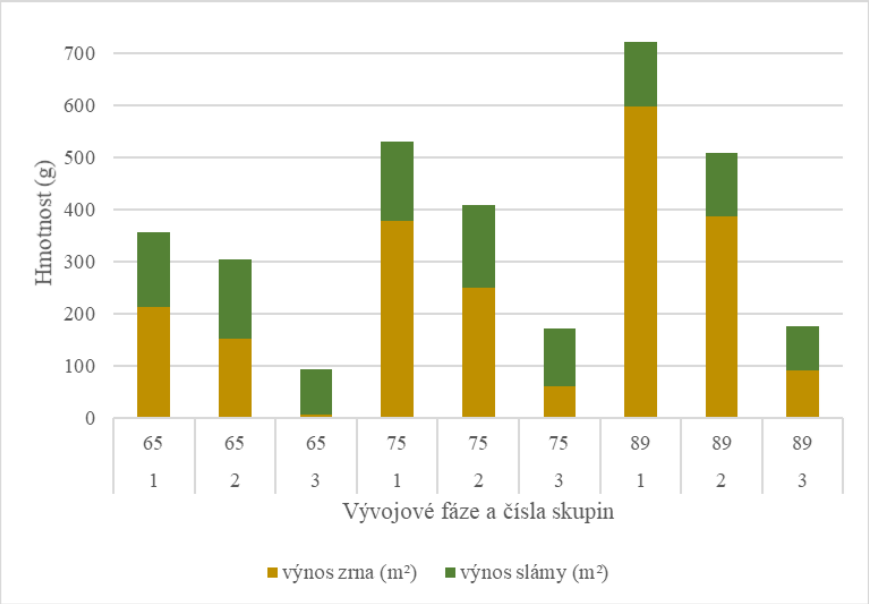
Ve vývojové fázi 89. DC se vlivem opadu a odumíráním listů snížil transport asimiláty do generativních orgánů. Z grafu 3 je dále patrné, že skupina 3 měla poměr vegetativní a generativní biomasy téměř 1:1. Toto patrně svědčí o vysokém biologickém výnosu a možnému pozdnímu nástupu do zralosti. Oproti tomu nejvyšší hospodářský výnos lze konstatovat u skupiny 1, kdy měla ze všech skupin nejvyšší podíl generativních orgánů (83 %).



Graf 4: Poměr nadzemní biomasy a klasu (%) v rámci příslušné skupiny v závislosti na ontogenetickém vývoji rostlin

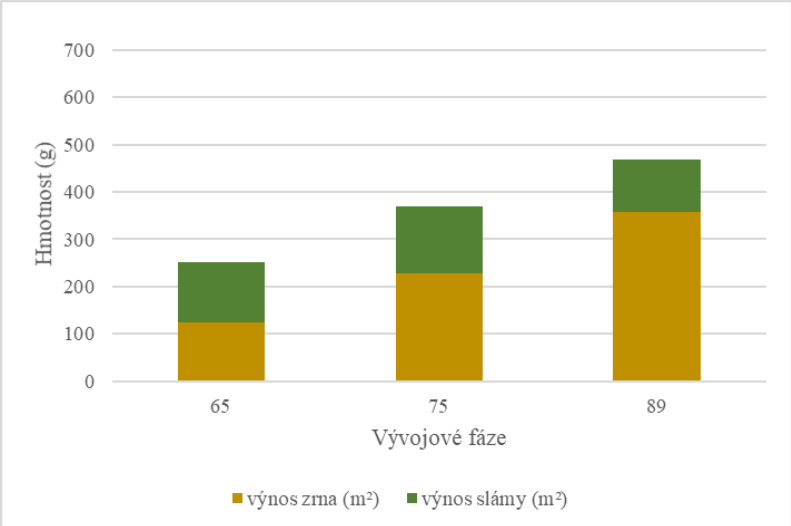
Jak je patrné z grafu 4, ve fázi kvetení byl nízký podíl generativních orgánů a vysoký podíl vegetativních orgánů u skupiny 3. Lze tedy usuzovat, že v tomto případě se bude také jednat o skupinu genotypů pozdnějších. Tento trend si uvedená skupina zachovala po celé sledované období. Dále je patrné, že skupina 1 rychleji transportuje asimiláty do klasů. Lze konstatovat, že skupina 1 je rannějšího typu.

Dále z grafu vyplývá postupný transport asimilátů od fáze 65. DC do fáze 89. DC u všech skupin podobně. Nejvyšší transport asimilátů lze pozorovat u skupiny 3, kdy se zvýšila hmotnost klasu o přibližně 30 % mezi fázemi 65-75. DC v poměru nadzemní biomasy ku klasu. Nejmenší nárůst byl zaznamenán také u skupiny 2, kdy tento nárůst činil přibližně 11 %.



Graf 5: Poměr výnosu zrna a výnosu slámy na jednotku plochy (m²) v dané vývojové fázi

Jak udává graf 5, skupina 3 pomaleji transportuje asimiláty do klasu (6,84 g) ve fázi 65. DC. Lze konstatovat, že se jedná o genotypy pozdního typu. Ve fázi 75. DC je patrný nárůst generativních orgánů, a to zejména u skupiny 1, kdy rostlina dosahuje i se slámou lehce přes 500 g, v procentickém vyjádření se jedná o vysoký biologický a nízký hospodářský výnos.



Graf 6: Poměr výnosu zrna a výnosu slámy na jednotku plochy (m²) v dané vývojové fázi

V grafu 6 jsou zaznamenány změny tvorby sušiny v rámci ontogenetického vývoje rostlin. Nejvýraznější změny byly zjištěny mezi fázemi 65. a 89. DC. Kdy v období plného kvetení byl výnos zrna 123 g a výnos slámy 126 g Ve fázi plné zralosti byl zaznamenán pokles hmotnosti slámy (109 g) a zvýšení hmotnosti zrna na 357 g.

6 Diskuse

Tvorba výnosu je ovlivněna řadou vnitřních a vnějších faktorů. Mezi vnitřní faktory je v souladu s prací Copeland & McDonald (1995) možné zařadit vývojovou fázi a genotyp. V rámci ontogenetického vývoje rostlin lze konstatovat, že v prvopočátku vegetativního růstu rostlin narůstá především hmotnost vegetativních orgánů, a to až do fáze plného kvetení. Tento trend je dán především s ohledem na transport vznikajících asimilátů a růstové procesy rostliny tak, aby byl zajištěn dostatek zásobních látek do budoucího klasu a tvořících se obilek. Uvedené závěry potvrzuje např. práce Hniličky et al. (2020).

Od fáze plného kvetení je část asimilátů již translokována do vznikajících generativních orgánů a tento trend je zachován až do doby sklizně. Transport asimilátů mezi vegetativními a generativními orgány potvrzuje Larcher (2003). Nicméně fyziologické reakce rostlin se mění vlivem měnícího se klimatu. Jak dokládá studie Wollenweber et al. (2003), kdy asimilace CO_2 se zvýšila s tepelným stresem ve fázi odnožování a tyto hodnoty byly po celé období vegetace zachovány. Potvrdilo se, že extrémní tepelné podmínky ve fázi odnožování neovlivňují následný růst nebo reakci pšenice na tepelný stres při kvetení. Účinky více než jedné vysokoteplotní epizody na růst a vývoj jarní pšenice jsou na sobě nezávislé. Ze získaných výsledků vyplývá, že rychlost transportu asimilátů mezi generativními a vegetativními orgány se liší v závislosti na genotypu. Uvedený závěr potvrzuje Flores et al. (2021)

Úložná kapacita (sink) klasu hraje významnou roli při tvorbě výnosu a stimuluje přísun asimilátů do zrna v období po antezi (Wang et al. 1998). Díky tomu jsou vyhledávány nové genové zdroje pro zvyšování počtu reprodukčních orgánů (Miralles & Slafer 2007). Uvedený trend byl potvrzen v bakalářské práci.

Jak dokládají práce Martinek & Váňová (2012) a Dobrovolskaya et al. (2015), linie s mnohořadým klasem se jeví jako šlechtitelsky méně využitelné vzhledem k nízkým výnosům. Jejich malá výnosová odezva na pěstební zásahy byla zřejmě způsobena nižší schopností reagovat změnami hustoty porostu. Předpokládá se, že vyšší plocha listů může být více ovlivňována vodním stresem. V rámci pokusu byl sledován vliv genotypu na výši výnosu hlavního a vedlejšího produktu. Závěry výše uvedených autorů byly potvrzeny, neboť u genotypů ANBW-6A/ ANK-26B a ANBW-6A/ ANK-38 měli poměr generativní biomasy lehce přes 50 % ve fázi plné zralosti.

Byly potvrzeny rozdíly v tvorbě výnosu u genotypů s barevným endospermem. Bílé a červené obilky patří do skupiny 1 s nejvyšším výnosem, kdežto do skupiny 3 byly zařazeny genotypy s barevným endospermem (především modrým), které se z pokusu jeví jako méně výnosné. Uvedený závěr potvrzuje práce Martinek et al. (2012), kdy odrůda Skorpion, která se vyznačuje modrým zbarvením zrna, má ve srovnání s většinou současných evropských odrůd nižší výnosy (podle tříletých výnosových výsledků z Rakouska dosáhla 4,53 t/ha).

Naopak práce Sharma et al. (2018) konstatují, že nebyly potvrzeny rozdíly v tvorbě výnosu mezi genotypy s barevným endospermem. Tento závěr byl potvrzen pouze částečně, neboť do sledovaného sortimentu genotypů byl zařazen pouze jeden genotyp s modrým endospermem (ANDW 20A).

Genotypy s barevným endospermem, především modrým, vytváří více slámy než zrna. Z tohoto pohledu se tento genotyp jeví jako méně perspektivní do oblasti sušších a do oblasti s častým výskytem přísušku. Vliv barvy endospermu jako ukazatele odolnosti vůči vodnímu deficitu ve své práci uvádí například Flores et al. (2021). Z jejich práce vyplývá, že flavonoidy mohou chránit rostliny před extrémními teplotami.

Zároveň na základě sklizňového indexu je možné konstatovat, že existují tři skupiny genotypů, které mění strukturu výnosu, a to následujícím způsobem: Kdy v první skupině převažuje zrno nad slámou, ve třetí skupině je tomu naopak, kdy je vysoký biologický výnos a nízký hospodářský. Druhá skupina má poměr zrna ku slámě přibližně 1:1.

Vyšší výnos slámy v porovnání s výnosem zrna je typický především pro krajové odrůdy, nebo odrůdy s low inputem či přesívkové formy. Uvedený závěr potvrzuje například Konvalina et al. (2010).

V současné době je šlechtění zaměřeno především na krátkostébelné genotypy s výraznou odolností vůči vodnímu deficitu a pro omezení dalších vstupů jako je například zkracování délky stébla regulátorem růstu. Jak dokládá práce Furbank et al. (2019).

Byly potvrzeny genotypové rozdíly v tvorbě výnosu jednotlivých odrůd, jak dokládají práce Martinek et al. (2012), Bradová & Hermuth (2014), Gregova et al. (1997).

7 Závěr

Bakalářská práce se zaměřila na sledování vlivu genotypu na výši výnosu hlavního a vedlejšího produktu. Ze získaných výsledků vyplývají následující závěry:

- Výnos zrna a slámy byl ovlivněn ontogenetickým vývojem rostlin, kdy do počátku kvetení je výnos tvořen pouze slámou, od fáze plného kvetení se začínají tvořit generativní orgány.

- Změna poměru generativních orgánů a slámy je zaznamenána na konci vegetace, kdy dochází k vyšší tvorbě. Ve většině případů (kromě genotypu LD222) dochází k vyšší tvorbě generativních orgánů na úkor vegetativních.

- Byly potvrzeny rozdíly v tvorbě výnosu u genotypů s barevným endospermem, kdy nižších výnosů zrna dosahovala odrůda ANDW 20A s modrým endospermem, oproti tomu genotyp ANK-1B s červeným endospermem měla výnos zrna nejvyšší.

- V případě slámy byl tento trend opačný, kdy nejvyšší výnos slámy měl vybraný genotyp LD222, oproti tomu genotyp ANK-28A s purpurovým perikarpem měl výnos slámy nejnižší.

- Genotyp ANDW-20A má nízký hospodářský výnos, ale vyšší biologický. Neboť vytváří více slámy než generativních orgánů (výnos zrna na m^2 42,64 g, výnos slámy 41,66 g).

- Na straně druhé genotyp ANK-1B má nižší biologický a vyšší hospodářský výnos (výnos zrna 254 g a 44,9 g slámy).

- Byla potvrzena hypotéza o vlivu genotypu na výši hospodářského výnosu.

- Byly potvrzeny genotypové rozdíly v utváření základních výnosotvorných prvků.

8 Literatura

Abdel-Aal ESM, Hucl P. 2003. Composition and stability of anthocyanins in blue-grained wheat. Journal of Agricultural and Food Chemistry **8**:2174–2180.

Abdul Aziz M, Sabeem M, Mullath SK, Brini F, Masmoudi K. 2021. Plant Group II LEA Proteins: Intrinsically Disordered Structure for Multiple Functions in Response to Environmental Stresses. Biomolecules. **11(11)**:1662. DOI: 10.3390/biom11111662.

Bagheri R, Seyedein SM. 2011. The Effect of Adding Rice Bran Fibre on Wheat Dough Performance and Bread Quality. World Applied Sciences Journal (Special Issue of Food and Environment) **14**:121–125.

Basak A. 2008. Biostimulators – definitions, classification and legislation. In: Gawronska H, editor. Monographs Series: Biostimulators in Modern Agriculture. General Aspects. Warsaw: Wieś Jutra.

Bezdíčková J, Kryštof Z. 2010. Nový pohled na tvorbu výnosu ozimé pšenice. Agromanual: Profesionální ochrana rostlin **4**:44–45.

Bláha L, Hermuth J, Salava J. 2017. Význam celistvosti rostlin pro šlechtění. Kurent, s.r.o., České Budějovice. Available from: https://www.agromanual.cz/cz/clanky/ochrana-rostlin-a-pestovani/osivo-a-sadba-1/vyznam-celistvosti-rostlin-pro-slechteni (accessed January 2022).

Bláha L, Kálalová S, Šimon T, Piva G. 2004. Evaluation of soybean root system –influence of different seed provenance. Scientia Agriculturae Bohemica **35**:21-27.

Bláha L. 2021. Historie semenářství. Pages 16-22 in Pazderů K. Osivo a sadba. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha.

Brown AT, Jones KM, Powell W, Allaby GR. 2008. The complex origins of domesticated crops in the Fertile Crescent. Trends in Ecology & Evolution **24**: 59-118.

Bradová J, Hermuth J. 2014. Genetická variabilita gluteinů krajových odrůd jarní pšenice českého a slovenského původu. Aktuální poznatky v pěstování, šlechtění, ochraně rostlin a zpracování produktů **12**:21-26.

Bulgari R, Cocetta G, Trivellini A, Vernieri P, Ferrante A. 2015. Biostimulants and crop responses: A review. Biological Agriculture and Horticulture **31**:1-17. DOI: 10.1080/01448765.2014.964649.

Caligari PDS, Brown J. 2003. CROP IMPROVEMENT | Plant Breeding, Practice, Pages 112-119 in Thomas B, Murphy DJ, Murray BG, editors. Encyclopedia of Applied Plant Sciences. Academic Press, Cambridge.

Copeland LO, McDonald MB. 1995. Principles of Seed Science and Technology. Seed Enhancements. Chapman and Hall, New York.

Daryanto S, Wang L, Jacinthe PA. 2016. Global Synthesis of Drought Effects on Maize and Wheat Production. PLoS ONE. Available from https://doi.org/10.1371/journal.pone.0156362 (accessed February 2021).

Diviš J, Jůza J, Moudrý J, Vondrys J, Bárta J, Štěrba Z. 2010. Pěstování rostlin. Jihočeská Univerzita v Českých Budějovicích, České Budějovice.

Dobrovolskaya OB, Pont C, Sibout R, Martinek P, Badeva E, Mura F, Chosson A, Watanabe N, Prat E, Gautier N, Gautier V, Poncet Ch, Orlov YuL, Krasnikov A, Berges H, Salina E, Laikova LI, Salse J. 2015. FRIZZY PANICLE drives supernumerary spikelets in bread wheat. Plant Physiology. **167**:189–199.

Doležal K, Strnad M. 2017. Cytokininy – regulátory růstu rostlin, které dokážou mnohem více než jen dělení buněk. Živa **4**:149-152.

Dostál J. 1989. Nová květena ČSSR 2. Academia, Praha.

Drahorád J. 2001. Moření osiva – první krok ke zdravým a výnosným porostům ozimé pšenice. Proffi Press, Praha. Available from: https://uroda.cz/moreni-osiva-prvni-krok-ke-zdravym-a-vynosnym-porostum-ozime-psenice/ (accessed January 2022).

Drobník J. 2009. Revoluční pšenice. Available from http://www.gate2biotech.cz/revolucni-psenice/ (accessed May 2009).

du Jardin P. 2015. Plant biostimulants: definition, concept, main categories and regulation. Scientia Horticulturae **196**:3–14.

Faměra O. 1993. Základy pěstování ozimé pšenice. Institut výchovy a vzdělávání ministerstva zemědělství České republiky, Praha.

FAOSTAT. 2021. Crop statistics. Available from http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC (accessed February 2021).

Feurtado JA, Ambrose SJ, Cutler AJ, Ross AR, Abrams SR, Kermode AR. 2004. Dormancy termination of western white pine (Pinus monticola Dougl. Ex D. Don) seeds is associated with changes in abscisic acid metabolism. Planta **4**:630–9.

Flores PC, Yoon JS, Kim DY, Y.W. Seo YW.2021. Effect of chilling acclimation on germination and seedlings response to cold in different seed coat colored wheat (Triticum aestivum L.). BMC Plant Biology **21**:252.

Francis FJ. 1999. Wiley Encyclopedia of Food Science and Technology. Wiley-Interscience, Hoboken.

Frébort I, Kowalska M, Hluska T, Frébortová J, Galuszka P. 2011. Evolution of cytokinin biosynthesis and degradation, Journal of Experimental Botany **8**:2431–2452.

Furbank RT, Jimenez-Berni JA, George-Jaeggli B, Potgieter AB, Deery DM. 2019. Field crop phenomics: enabling breeding for radiation use efficiency and biomass in cereal crops. New Phytologist **223**:1714–1727.

Goodwin SM, Jenks MA. 2005. Plant Abiotic Stress. Blackwell Publishing Ltd, Oxford.

Graman J, Čurn V. 1998. Šlechtění zemědělských plodin: (obiloviny, luskoviny). JU ZF České Budějovice, České Budějovice.

Gregova E, Tisova V, Kraic J. 1997. Genetic variability at the Glu-1 loci in old and modern wheats (Triticum aestivum L.) cultivated in Slovakia Genetic Resources and CropEvolution **44**:301–306.

Hnilička F, Martinek P, Hniličková H. 2020. Zvyšování výnosu pšenice a hodnocení bilance energie s využitím spalné kalorimetrie. Obilnářské listy **2**:38-4.

Horčička P, Veškrna O, Bížová I, Chrpová J, Hanzalová A, Štěrbová L, Dašková L, Parchanská P, Jirásková K, Vohradníková M, Bláha T, Ježek S, Zrcková M. 2018. Rádce pěstitele jarní pšenice. Kurent s.r.o., České Budějovice.

Hosnedl V. 2008. Pšenice – od genomu po rohlík: Aktuální poznatky doktorandů získané ve výzkumných laboratořích a na pokusných pozemcích. Kurent, s.r.o., České Budějovice.

Houba M, Hosnedl V. 2002. Osivo a sadba, Praha.

Charmet G. 2011. Wheat domestication: Lessons for the future. C. R. Biologies **334**:212-220.

Chaves MM, Maroco JP, Pereira JS. 2003. Understanding plant responses to drought — from genes to the whole plant. Functional Plant Biology **3**:239-264.

Chen H, Bullock DA, Alonso JM, Stepanova AN. 2021. To Fight or to Grow: The Balancing Role of Ethylene in Plant Abiotic Stress Responses. Plants **11**:33. MDPI AG. Available from http://dx.doi.org/10.3390/plants11010033.

Chiang HH, Dandekar AM. 1995. Regulation of proline accumulation in Arabidopsis during development and in response to dessication. Plant Cell Environ **18**:1280–1290.

Iquebal MA, Sharma P, Jasrotia RS, Jaiswal S, Kaur A, Saroha M, Angadi UB, Sheoran S, Singh R, Singh GP, Rai A, Tiwari R, Kumar D. 2019. RNAseq analysis reveals drought-

responsive molecular pathways with candidate genes and putative molecular markers in root tissue of wheat. Scientific Reports 9 (e13917) DOI: 10.1038/s41598-019-49915-2.

Janoušková M. 2017. Může arbuskulární mykorhiza pomoci v zemědělské produkci? Živa **5**:237-240.

Konvalina P, Capouchová I, Stehno Z, Moudrý J jr., Moudrý J. 2010. Volba druhu a odrůdy pšenice v ekologickém zemědělství. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, České Budějovice.

Konvalinková T. 2017. Symbióza, kam se podíváš. O arbuskulárně mykorhizních houbách a soužití s rostlinami. Živa **5**:233-236.

Kopáčová O. 2007. Trendy ve zpracování cereálií s přihlédnutím zejména k celozrnným výrobkům. Ústav zemědělských a potravinářských informací, Praha.

Kostrej A. 1992. Fyziológia porastu poľných plodín. VŠP Nitra, Nitra.

Křen J, Smutná P, Matušinský P. 2018. Pravidla použití mořeného a nemořeného osiva při pěstování obilnin. Vydavatelství Mendelovy univerzity v Brně, Brno.

Křen J. 2001. Pěstování ozimé pšenice v České republice. Profi Press, Praha. Available from: https://uroda.cz/pestovani-ozime-psenice-v-ceske-republice/ (accessed January 2022).

Křen J. 2002. Agrotechnika jarní pšenice. Profi Press, Praha. Available from https://www.uroda.cz/agrotechnika-jarni-psenice/ (accessed February 2021).

Kucera B, Cohn M, Leubner-Metzger G. 2005. Plant hormone interactions during seed dormancy release and germination. Seed Science Research **15(4)**:281-307.

Kučerová J. 2010. Technologie cereálií. Mendelova univerzita v Brně, Brno.

Kůdela V, Ackermann P, Prášil IT, Rod J, Veverka K. 2013. Abiotikózy rostlin: poruchy, poškození a poranění. Academia, Praha.

Kůst F, Záruba J. 2020. Situační a výhledová zpráva obiloviny 2017. Ministerstvo zemědělství, Praha.

Larcher W. 2003. Physiological plant ecology: ecophysiology and stress physiology of functional groups. Springer Science & Business Media.

Leišová-Svobodová L, Chrpová J, Hermuth J, Dotlačil L. 2020. Quo vadis československé šlechtění pšenice. Pages 3-4 in Šlechtitelský seminář: Pšenice 2020.

Lennarz W, Lane M. 2013. Encyclopedia of Biological Chemistry. Academic Press, Massachusetts.

Lipavský J. 2000. Tvorba výnosu obilnin a možnosti modelování těchto procesů. Výzkumný ústav rostlinné výroby, Praha. Available from http://www.agris.cz/clanek/106805 (accessed February 2021).

Liu H, Xing M, Yang W, Mu X, Wang X, Lu F, Wang Y, Zhang L. 2019. Genome-wide identification of and functional insights into the late embryogenesis abundant (LEA) gene family in bread wheat (Triticum aestivum). Scientific Reports 9 (e13375) DOI: 10.1038/s41598-019-49759-w.

Martinek P, Škorpík M, Chrpová M, Fučík P. 2012. Skorpion–odrůda ozimé pšenice s modrým zrnem. Obilnářské listy **3**:78–79.

Martinek P. 2003. K situaci v odrůdové skladbě ozimé pšenice. Obilnářské listy **11**:3–9.

Martinek P. 2018. Genové zdroje pšenice. Pages 8-12 in Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i., Praha Českomoravská šlechtitelská a semenářská asociace Komise genetiky, šlechtění a semenářství ČAZV Výzkumné centrum SELTON, s. r. o., editors. Pšenice 2018: šlechtitelský seminář 2018: Praha 6.-7. prosince 2018. Výzkumný ústav rostlinné výroby, Praha.

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 **4**:90-97.

Mattioli R, Costantino P, Trovato M. 2009. Proline accumulation in plants. Plant Signaling & Behavior **4(11)**:1016-1018.

Miralles DJ, Slafer GA. 2007. Sink limitations to yield in wheat: how could it be reduced? Journal of Agricultural Science **145(2)**:139–149.

Monk C. 1966. Ecological importance of root/shoot ratios. Bulletin of the Torrey Botanical Club **6**:402–406.

Muška F, Lampíř L, Vinařství Sádek, Muška A. 2012. Střípky z historie pěstování pšenice. Úroda **8**:4-7.

Mwadzingeni L, Shimelis H, Dube E, Laing MD, Tsilo TJ. 2016. Breeding wheat for drough tolerance: Progress and technologies. Journal of Integrative Agriculture **15**:935-943.

Naito H, Ogawa S, Valencia MO, Mohri H, Urano Y, Hosoi F, Shimizu Y, Chavez AL, Ishitani M, Selvaraj MG, Omasa K. 2017. Estimating rice yield related traits and quantitative trait loci analysis under different nitrogen treatments using a simple tower-based field phenotyping system with modified single-lens reflex cameras. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing **125**:50–62.

Nátr L. 2000. Koncentrace CO_2 a rostliny. ISV publishing house, Praha.

Nátr L. 2005. Rychlejší fotosyntéza nemusí zajistit vyšší výnosy. Vesmír **84**:156-158.

Nátr L. 2009. Jak polní plodiny vytvářejí výnos. Farmář: časopis všech zemědělců **15**:15-17.

Nishimura N, Hitomi K, Arvai AS, Rambo RP, Hitomi C, Cutler SR, Schroeder JI, Getzoff ED. 2009. Structural mechanism of abscisic acid binding and signaling by dimeric PYR1. Science **326(5958)**:1373–1379.

Novák J, Rovenská B, Volfová A. 1987. Strukturální biologie významných obilnin. Vysoká škola zemědělská Praha v Čs. Redakci VN MON, Praha.

Olivová J. 2020. Biologové odhalili vztah klíčového rostlinného hormonu a buněčných membrán. Akademie věd České republiky, Praha. Available from: https://www.avcr.cz/cs/veda-a-vyzkum/biologie-a-lekarske-vedy/Biologove-odhalili-vztah-klicoveho-rostlinneho-hormonu-a-bunecnych-membran/ (accessed January 2022).

Oušková V, Možný M, Vlach V, Hájková L. 2021. Meteorologické sucho v letech 1971–2020 v České republice vymezené kombinovaným indexem sucha SPEIc. Meteorologické zprávy **74**:136-140.

Pančíková J. 2021. Podle výzkumu umí rostliny zjistit míru zhutnění půdy. Proffi Press, Praha. Available from https://uroda.cz/podle-vyzkumu-umi-rostliny-zjisti-miru-zhutneni-pudy/ (accessed February 2022).

Pařízek P, Horáková V. 2014. Historie a současnost doporučování odrůd pšenice. Pages 28-34 in Pšenice 2014: Rez nikdy nespí, Praha.

Petr J, Hnilička F. 2002. Changes in requirements on vernalization of winter wheat varieties in the Czech Republic in 1950-2000. Rostlinná výroba **4(48)**:148-153.

Petr J. 1987. Počasí a výnosy. Státní zemědělské nakladatelství, Praha.

Petr J. 2001. Pěstování pšenice podle užitkových směrů. Ústav zemědělských a potravinářských informací, Praha.

Petr J. 2002. Postavení jarní pšenice v českém obilnářství. Profi Press, Praha. Available from: https://www.uroda.cz/postaveni-jarni-psenice-v-ceskem-obilnarstvi/ (accessed February 2020).

Petr J, Húska J. 1997. Speciální produkce rostlinná. Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů ČZU, Praha.

Pieruschka R, Schurr U. 2019. Plant Phenotyping: Past, Present, and Future. Plant Phenomics. Available from https://doi.org/10.34133/2019/7507131 (acessed February 2021).

Plhák F. 2004. Dusíkatá výživa rostlin a oxid uhličitý v atmosféře. Vesmír **83**:227-229.

Prášil TI, Musilová J, Kosová K, Vítámvás P. 2018. Sucho a reakce pšenice. Kurent, s.r.o., České Budějovice. Available from https://www.agromanual.cz/cz/clanky/technologie/sucho-a-reakce-psenice (accessed February 2021).

Prokinová E, Doubková J, Ort P. 2018. Osivo jako možný zdroj původců chorob obilnin. Bayer s.r.o., Praha.

Prokinová E. 2016. Význam ošetření osiva obilnin. Kurent, s.r.o., České Budějovice. Available from: https://www.agromanual.cz/cz/clanky/ochrana-rostlin-a-pestovani/choroby/vyznam-osetreni-osiva-obilnin (accessed January 2022).

Rangan P, Furtado A, Henry RJ. 2016. Commentary: New evidence for grain specific C4 photosynthesis in wheat. Scientific Reports 6 (e31721) DOI: 10.1038/srep31721.

Rodriguez-Furlán C, Miranda G, Reggiardo M, Hicks GR, Norambuena L. 2016. High throughput selection of novel plant growth regulators: assessing the translatability of small bioactive molecules from Arabidopsis to crops. Plant Science **245**:50–60.

Rosslerová J. 2010. Oxid uhličitý rostlinám prospívá. Profi Press, Praha. Available from: https://uroda.cz/oxid-uhlicity-rostlinam-prospiva/ (accessed January 2022).

Rozbicki J, Ceglińska A, Gozdowski D, Jakubczak M, Cacak–Pietrzak G, Mądry W, Golba J, Piechociński M, Sobczyński G, Studnicki M, Drzazga T. 2015. Influence of the cultivar, environment and management on the grain yield and bread-making quality in winter wheat. Journal of Cereal Science **61**:126-132.

Ryšlavá H, Doubnerová V. 2010. Enzymy Hatchova-Slackova cyklu v C3 rostlinách. Chemické listy **104**:1175-1180.

Seidlová F. 2008. Jak s rostlinami cvičí hormony. Vesmír **87**:532.

Semenov MA, Stratonovitch P. 2013. Designing high-yielding wheat ideotypes for a changing climate. Food and Energy Security **2(3)**:185-196.

Seo M, Hanada A, Kuwahara A, Endo A, Okamoto M, Yamauchi Y, North H, Marion-Poll A, Sun T, Koshiba T, Kamiya Y, Yamaguchil S, Nambara E. 2006. Regulation of hormone metabolism in Arabidopsis seeds: phytochrome regulation of abscisic acid metabolism and abscisic acid regulation of gibberellin metabolism. The Plant Journal **48**:354-366.

Serra H, Svačina R, Baumann U, Whitford R, Sutton T, Bartoš J, Sourdille P. 2021. Ph2 encodes the mismatch repair protein MSH7-3D that inhibits wheat homoeologous recombination. Nature comminications **12**:1-10.

Sharma S, Chunduri V, Kumar A, Kumar R, Khare P, Kondepudi KK, Bishnoi M, Garg M. 2018. Anthocyanin bio-fortified colored wheat: Nutritional and functional characterization. PLoS ONE. Available from: https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0194367 (accessed January 2022).

Schwacke R, Grallath S, Breitkreuz KE, Stransky H, Frommer WB, Rentsch D. 1999. LeProT1, a transporter for proline, glycine betaine and γ-amino butyric acid in tomato pollen. Plant Cell **11(3)**:377-391.

Schwanitz F. 1969. Vývoj kulturních rostlin. Státní zemědělské nakladatelství, Praha.
Smýkal P. 2009. Domestikace rostlin z pohledu současné genetiky. Živa **1**:6-9.

Srivastava LM. 2002. Plant growth and development: hormones and environment. Academic Press, Oxford.

Strnadová D. 2001. Letmé nahlédnutí do historie kulturních plodin. Úroda. Profi Press s.r.o., Praha. Available from https://www.uroda.cz/letme-nahlednuti-do-historie-kulturnich-plodin/ (accessed March 2021).

Středa T, Hajzler M, Chloupek O. 2013. Kořenový systém jako faktor tvorby výnosu a kvality polních plodin. Pages 55-60 in Hnilička F, editor. Vliv abiotických a biotických stresorů na vlastnosti rostlin 2013. Výzkumný ústav rostlinné výroby, v. v. i. Praha - Ruzyně Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha.

Swarup R, Perry P, Hagenbeek D, Van Der Straeten D, Beemster GT, Sandberg G, Bhalerao R, Ljung K, Bennett MJ. 2007. Ethylene upregulates auxin biosynthesis in Arabidopsis seedlings to enhance inhibition of root cell elongation. The Plant Cell **7**:2186–96.

Syngenta Czech s.r.o. 2021. Úspěšný Vibrance slaví deset let. Úroda **7**:27.

Špaldon E. 1982. Rostlinná výroba. Státní zemědělské nakladatelství, Praha.

Šroller J, Švachula V, Úlehla J, Valter J, Vašák J, Věchet L, Wiche HJ, Zámečník J. 1987.

The Bristol Wheat Genomics. Available from: cerealsdb.uk.net/cerealgenomics/WheatBP/Documents/DOC_Evolution.php (accessed January 2022).

Thomas SG, Rieu I, Steber CM. 2005. Gibberellin Metabolism and Signaling. Vitamins & Hormones **72**:289-338.

Tian YL, Zheng CY, Chen J, Chen CQ, Deng AX, Song ZW, Zhang BM, Zhang, WJ. 2015. Climatic warming increases winter wheat yield but reduces grain nitrogen concentration in East China. PLoS ONE 9(4) (e95108) DOI: 10.1371/journal.pone.0095108.

Urešová D. 2021. Odrůdy pšenice s barevným zrnem a jejich nutriční hodnota. Profi Press, Praha. Available from: https://uroda.cz/odrudy-psenice-s-barevnym-zrnem-a-jejich-nutricni-hodnota/ (accessed January 2022).

Van Ginkel M, Ogbonnaya F. 2007. Novel genetic diversity from synthetic wheats in breeding cultivars for changing production conditions. Field Crops Research **1–3**:86–94.

Vašáková L, Hradecká D. 2005. Vliv vybraných biologicky aktivních látek na aktivitu enzymu glutamátkinázy v listech jarní pšenice. Agris. Available from: http://www.agris.cz/Content/files/main_files/64/141799/vasakova.pdf (accessed January 2022).

Verbruggen N, Hermans C. 2008. Proline accumulation in plants: a review. Amino Acids **35**:753–759.

Vicente-Serrano SM, Beguería S, López-Moreno JI. 2010. A Multiscalar Drought Index Sensitive to Global Warming: The Standardized Precipitation Evapotranspiration Index. Journal of Climate. Available from https://doi.org/10.1175/2009JCLI2909.1 (Accessed January 2022).

Vodrážka Z. 1993. Biochemie 3. Academia Praha, Praha.

Wang Y, Liu C, Li K, Sun F, Hu H, Li X, Zhao Y, Han Ch, Zhang W, Duan Y, Liu M, Li X. 2007. Arabidopsis EIN2 modulates stress response through abscisic acid response pathway. Plant Molecular Biology **64**:633–644.

Wang ZL, Yin YP, He MR, Cao HM. 1998. Source-sink manipulation effects on postanthesis photosynthesis and grain setting on spike in winter wheat. Photosynthetica **35(3)**:453–459.

Weier TE, Rost TL. 1979. Botany: a brief introduction to plant biology. Wiley, New York.

Williams D, Britten A, McCallum S, Jones HG, Aitkenhead M, Karley A, Loades K, Prashar A, Graham J. 2017. A method for automatic segmentation and splitting of hyperspectral images of raspberry plants collected in field conditions. Plant Methods. Available from https://link.springer.com/article/10.1186/s13007-017-0226-y#citeas (accessed January 2021).

Wilsson JB. 1988. A review of evidence on the control of shoot:root ratio, in relation to models. Annals of Botany **4**:433–449.

Wollenweber B, Porter JR, Schellberg J. 2003. Lack of Interaction between Extreme High-Temperature Events at Vegetative and Reproductive Growth Stages in Wheat. Journal of Agronomy and Crop Science **189**:142-150.

Würschum T, Langer MS, Longin HFC, Tucker RM, Leiser LW. 2017. A modern Green Revolution gene for reduced heigh in wheat. The plant journal **92**:757-975.

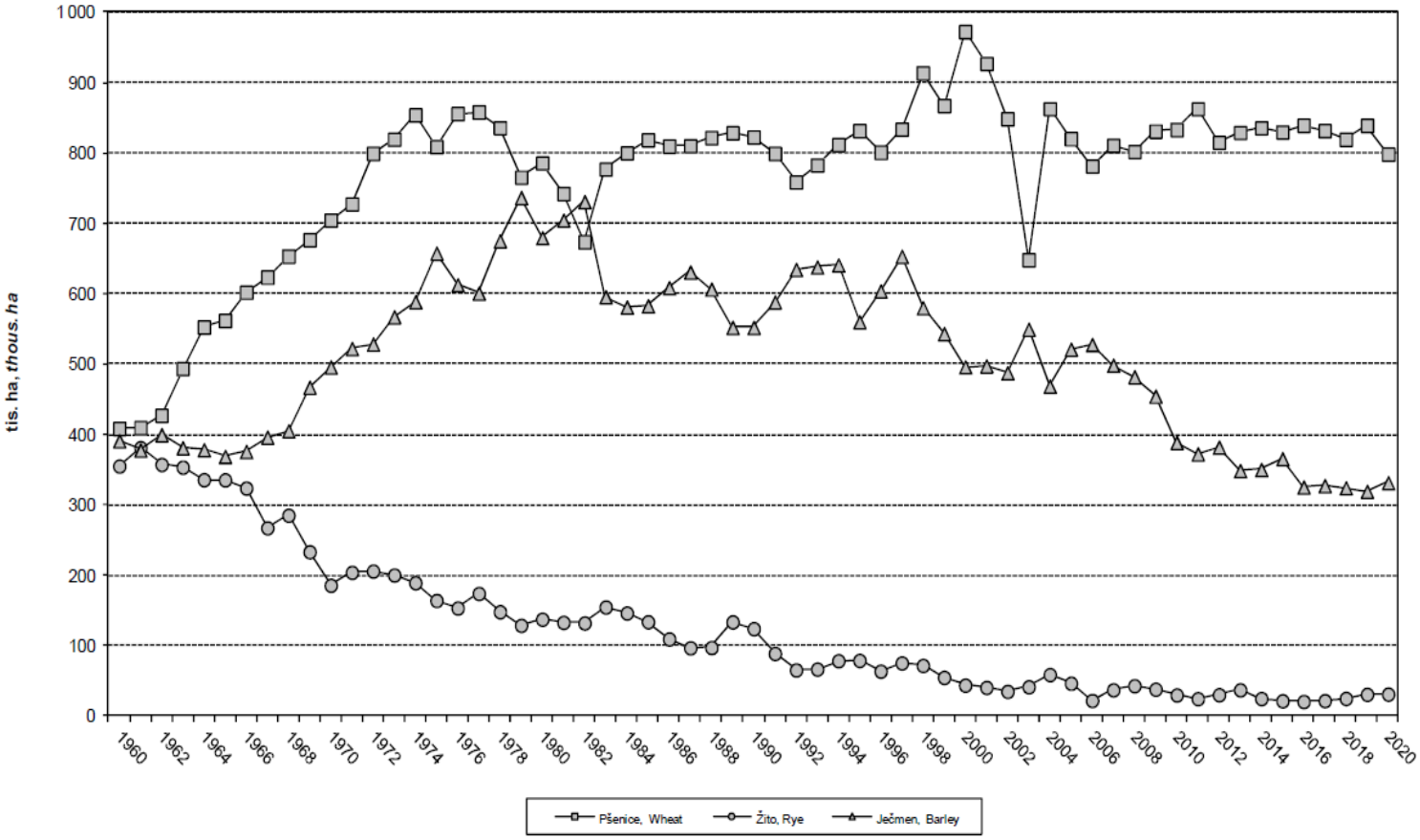
Yang J, Zhang J, Liu K, Wang Z, Liu L. 2006. Abscisic acid and ethylene interact in wheat grains in response to soil drying during grain filling. New Phytol **2**: 293–303.

Yang J, Zhang J. 2005. Grain filling of cereals under soil drying. New Phytologist **169**: 223–236.

Zhang X, Schmidt RE. 1997. The impact of growth regulators on alpha-tocopherol status of water-stressed Poa pratensis L. Inernational Turfgrass Society Resesearch Journal **8**:1364–2137.

Zimolka J. 2005. Pšenice: pěstování, hodnocení a užití zrna. Profi Press, Praha.

9 Samostatné přílohy



Graf I. Plochy osevů zemědělských plodin 1960-2020 (ČSÚ, 2021)