

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů**

**Katedra botaniky a fyziologie rostlin**



**Česká zemědělská  
univerzita v Praze**

**Vliv ontogenetického vývoje rostlin pšenice seté na tvorbu  
sušiny**

**Bakalářská práce**

**Jan Kozel**

**Obor: 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 "Vliv ontogenetického vývoje rostlin pšenice na tvorbu sušiny" jsem vypracoval 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 autor 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**

Rád bych touto cestou poděkoval panu Ing. Jiřímu Kudrnovi a panu doc. Ing. Františku Hniličkovi, Ph.D. za cenné rady a pomoc při zpracování mé bakalářské práce a v neposlední řadě také panu Dr. Ing. Pavlu Horčíčkovi za důležité poznatky k mé práci.

# Vliv ontogenetického vývoje rostlin pšenice na tvorbu sušiny

## Souhrn

Pšenice setá (*Triticum aestivum*) jakožto jedna ze tří nejpěstovanějších plodin na světě, společně se sójou a kukuřicí, má vysoký šlechtitelský potenciál. Počátky záměrného pěstování pšenice lidmi jsou datovány od doby Neolitu, cca 10 tisíc let před naším letopočtem, a to v oblastech tzv. úrodného půlměsíce. Současné šlechtění se zaměřuje především na vysoké výnosy, odolnost rostlin k suchu a klade si za cíl minimalizovat použití pesticidů. Velké rozšíření této plodiny vede k potřebě kvalitativní pestrosti, a tím i k poptávce geneticky odlišnějších odrůd. Šlechtění odrůd s vysokým obsahem flavonoidů, které jsou významnými látkami s antioxidačními účinky, přináší pozitivní vlivy lidskému zdraví.

Cílem této bakalářské práce bylo sledovat vliv ontogenetického vývoje rostlin pšenice seté na tvorbu sušiny ve vybraných vývojových fázích. Skleníkový pokus byl založen v částečně řízených podmínkách při zachování přirozeného světelného režimu. Schéma pokusu zahrnovalo osm vybraných genotypů: ANBW 6A/ANK-26B (bílé zrno, mnohořadý klas, nekompaktní klas, bez ojínění), ANBW 6A/ANK-38 (bílé zrno, mnohořadý klas, kompaktní klas, s ojíněním), ANBW2N (dlouhá pleva), ANDW 20A (modrý aleuron, *Triticum durum*), ANK-1B (červené zrno), ANK-28A (purpurový perikarp), LD222 (recipient 01C0205346), Novosibirskaya 67 (bílé zrno, tetraploidní). Pokus byl zahájen 20.5.2019 a uskutečnilo se 5 odběrů v následujících vývojových fázích: BBCH 47; 55; 65; 75; 89.

Ze získaných výsledků vyplývá, že během ontogenetického vývoje došlo ke změnám zastoupení jednotlivých rostlinných orgánů v rámci sušiny. Na počátku vegetace převažují především kořeny a nadzemní orgány. Ve fázi kvetení je taktéž pozorovatelný úbytek kořenové hmoty. Naopak v období sklizně tvoří nejvyšší podíl na celkové sušině kořenový systém a nejvyšší klasy. Byla potvrzena hypotéza o vlivu ontogenetického vývoje. V případě tvorby sušiny, byl potvrzen rozdíl mezi jednotlivými genotypy. Jako perspektivní vůči vodnímu deficitu se jeví genotyp ANDW-20A a nejméně perspektivní ANBW-6A/ ANK-38. Hmotnost listového aparátu se v rámci genotypů lišila, kdy ve fázi 75. DC měl nejvyšší hmotnost praporcového listu genotyp LD222 (0,026 g) a nejvyšší hmotnost měl genotyp NOVOSIBIRSKAYA-67A (0,109 g).

**Klíčová slova:** pšenice setá; genotypy, barevné zrno; sušina

# Influence of ontogenetic development of wheat plants on dry matter formation

## Summary

Wheat (*Triticum aestivum*), as one of the three most cultivated crops in the world, together with soybeans and corn, has a high breeding potential. The beginnings of the deliberate cultivation of wheat by humans date back to the Neolithic period, about 10,000 BC, in the so-called fertile crescent. Current breeding is being focused primarily on high yields, drought resistance of plants and aims to minimize the use of pesticides. The great spread of this crop leads to the need for qualitative diversity, and thus to the demand for more genetically diverse varieties. Breeding varieties with a high content of flavonoids, which are important substances with antioxidant effects, bring benefits to human health.

The aim of this bachelor thesis was to monitor the effect of ontogenetic development of wheat seten plants on dry matter formation in selected developmental stages. The greenhouse experiment was established in partially controlled conditions while maintaining the natural light regime. The experimental scheme included eight selected genotypes: ANBW 6A / ANK-26B (white grain, multi-rowed ear, non-compact ear, without frosting), ANBW 6A / ANK-38 (white grain, multi-rowed ear, compacted ear, frosted), ANBW2N (long chaff), ANDW 20A (blue aleurone, *Triticum durum*), ANK-1B (red grain), ANK-28A (purple pericarp), LD222 (recipient 01C0205346), Novosibirskaya 67 (white grain, tetraploid). The experiment was launched on May 20, 2019 and 5 samples were taken in the following development phases: BBCH 47; 55; 65; 75; 89.

The obtained results show that during the ontogenetic development there were changes in the representation of individual plant organs within the dry matter. At the beginning of the vegetation, the roots and aboveground organs predominate. In the flowering phase, there is also an observable loss of root mass. On the contrary, during the harvest season, the root system and the highest ears form the lowest share of the total dry matter. In the case of dry matter formation, the difference between the individual genotypes was confirmed. The ANDW-20A genotype and the least promising ANBW-6A / ANK-38 appear to be promising against water deficit. The weight of the leaf apparatus differed within the genotypes, when in phase 75. DC had the lowest weight of the flag leaf genotype LD222 (0.026 g) and the highest weight had the genotype NOVOSIBIRSKYA-67A (0.109 g).

The hypothesis of the influence of ontogenetic development was confirmed.

**Keywords:** common wheat, genotypes, colored grain, dry matter

# Obsah

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1 Úvod .....</b>                                     | <b>7</b>  |
| <b>2 Cíle a hypotézy práce.....</b>                     | <b>8</b>  |
| <b>3 Literární rešerše.....</b>                         | <b>9</b>  |
| <b>3.1 Botanická charakteristika pšenice seté .....</b> | <b>9</b>  |
| <b>3.2 Historie a současnost pěstování .....</b>        | <b>11</b> |
| <b>3.3 Nové trendy ve šlechtění rostlin.....</b>        | <b>16</b> |
| 3.3.1 Šlechtění na suchovzdornost.....                  | 16        |
| 3.3.2 Barevný endosperm .....                           | 17        |
| 3.3.3 GMO .....   | 18        |
| 3.3.4 Choroby .....                                     | 20        |
| <b>3.4 Tvorba sušiny u rostlin .....</b>                | <b>20</b> |
| <b>3.5 Poměr root:shoot.....</b>                        | <b>24</b> |
| <b>4 Metodika .....</b>                                 | <b>29</b> |
| <b>4.1 Použitý rostlinný materiál .....</b>             | <b>29</b> |
| <b>4.2 Založení pokusu.....</b>                         | <b>29</b> |
| <b>4.3 Měření fyziologických charakteristik.....</b>    | <b>30</b> |
| 4.3.1 Stanovení sušiny .....                            | 30        |
| 4.3.2 Výpočet poměru R:S.....                           | 30        |
| 4.3.3 Vyhodnocení výsledků .....                        | 30        |
| <b>5 Výsledky.....</b>                                  | <b>31</b> |
| <b>6 Diskuse .....</b>                                  | <b>36</b> |
| <b>6.1 Tvorba sušiny .....</b>                          | <b>36</b> |
| <b>6.2 Poměr R:S.....</b>                               | <b>37</b> |
| <b>7 Závěr .....</b>                                    | <b>38</b> |
| <b>8 Literatura.....</b>                                | <b>39</b> |
| <b>9 Samostatné přílohy .....</b>                       | <b>I</b>  |

# 1 Úvod

Záměrné pěstování pšenice seté započalo již před deseti tisíci lety před naším letopočtem v oblastech tzv. úrodného půlměsíce. Tato plodina se právoplatně řadí mezi nejpěstovanější plodiny světa. V České republice má taktéž dominantní zastoupení právě pšenice ozimá. Především z nutričního hlediska ji lze řadit mezi významné obiloviny pro lidskou výživu, je důležitým zdrojem sacharidů a bílkovin. Dále se využívá pro průmyslové zpracování k výrobě škrobu, lihu atd.

S narůstající lidskou populací rostou i požadavky na pěstování stále většího množství plodin, s tím jsou úzce propojeny i požadavky na kvalitu a výnos. Cíle šlechtění se ubírají směrem k nalezení nových vlastností a samozřejmě také alternativních možností. V posledním desetiletí je záměrem řady šlechtitelů zlepšit nutriční vlastnosti pšenice, které by disponovaly přidanou hodnotou v jídelníčku člověka. Nově vyšlechtěné odrůdy pšenice obsahují celou řadu barviv (především antokyany, karotenoidy), které vykazují pozitivní účinek na lidské zdraví, především kvůli svým antioxidačním účinkům.

Výzkum se v neposlední řadě také zabývá různými stresovými faktory, mezi které patří například suchovzdornost. Sucho je velmi specifické, protože vzniká pomalu a postupně, a období sucha může trvat po dobu dnů, ale i let.

Významným ukazatelem reakce rostlin na vnější podmínky je poměr root:shoot, tedy poměr kořene ku nadzemní biomase. Tato hodnota je velice variabilní v čase. To, kam rostlina investuje energii, závisí na ontogenetickém vývoji a konkrétní rostlině.

## 2 Cíle a hypotézy práce

Potřeba dosahování dostatečného výnosu zrna pšenice a jakosti je zřejmá, proto zvyšování genetického výnosového potenciálu odrůd je dosud efektivním způsobem nezbytným pro akceleraci zvyšování výnosů v praxi. Vyhledávání zdrojů nových vlastností, které by mohly splňovat tuto potřebu je zásadní, přičemž lze využívat i alternativní možnosti. Jednou z alternativních cest je pěstování pšenic s barevným endospermem. Specifické genotypy pšenice s purpurovým zabarvením obilky (purpurový perikarp), modrým zrnem (modrý aleuron) a žlutým zrnem (se žlutým endospermem) se mohou lišit v reakci na podmínky vnějšího prostředí.

Cílem práce je sledovat vliv genotypu na tvorbu sušiny ve vybraných růstových fázích pšenice seté.

Navržené hypotézy jsou:

- a) ovlivňuje genotyp tvorbu sušiny jednotlivých orgánů;
- b) existují rozdíly v tvorbě sušiny listového aparátu mezi genotypy;
- c) je ovlivněna tvorba sušiny a poměr root:shoot vývojovou fází.

Pšenice setá (*Triticum aestivum* L.) patří mezi tři nejpěstovanější plodiny světa, společně se sójou a kukuřicí. Má široké spektrum využití, od pekařství až po krmivo pro hospodářská zvířata.



## 3 Literární rešerše

### 3.1 Botanická charakteristika pšenice seté

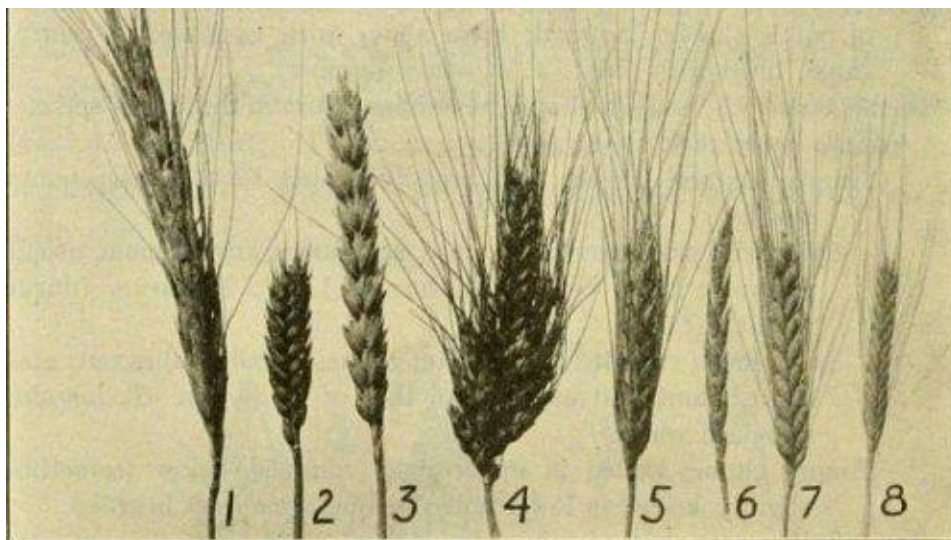
Pšenice setá (*Triticum aestivum*) je jednoletá tráva patřící do rodu pšenice (*Triticum*) (Dostál 1989). Vysoký obsah škrobu cca 60-70 %, znamená, že pšenice je považována za bohatý zdroj energie. Obsah bílkovin se pohybuje od 8-15 % (Shewry 2009). Kuchčík et al. (2005) zmiňují, že obsah tuků se pohybuje okolo 1,7 %, dále zrno obsahuje vitaminy skupiny B, E a minerální látky (P, K).

Všeobecně jsou jednoděložné rostliny bylinami, tedy i pšenice, u nichž obvykle chybí schopnost druhotného tloustnutí. Květy jednoděložných rostlin bývají trojčetné, které však mohou být různým způsobem redukovány, ale i zmnožené. U této skupiny rostlin se také nevyskytuje hlavní kořen, ale pouze kořeny adventivní, které nahrazují funkci hlavního kořene. I u listů jednoděložných rostlin lze najít jistou podobnost. U jednoděložných rostlin se totiž v drtivé většině případů vyskytují listy dlouhé, úzké a se souběžnou žilnatinou (Byng et al. 2016).

Jak lze z výše uvedeného odvodit, skupina jednoděložných rostlin je, až na několik výjimek, velice dobře morfologicky vymezena, a u jejích zástupců lze najít velice podobné znaky. Z toho důvodu byla tato skupina rostlin již v dávné historii vyčleněna, a nazvána monofyletickou skupinou neboli evolučně příbuznou a samotně se vyvíjející skupinou rostlinných druhů (Byng et al. 2016).

Všeobecně rod pšenice (*Triticum*) v současné době obsahuje 20 různých druhů, a to jak zcela přirozeně se vyskytujících, tak i geneticky šlechtěných. Přirozeně se vyskytující se pšenice pak představuje jednu z nejstarších kulturních plodin, která pochází z jihozápadní Asie. Druhy rodu pšenice jsou v současné době děleny do tří základních kategorií, jejichž dělení je na základě jejich *diploidie*. U pšenice lze podle Diviše et al. (2010) nalézt následující kategorie:

- Diploidní pšenice obsahující 14 chromozomů (např. pšenice planá jednozrná);
- tetraploidní pšenice obsahující 28 chromozomů (např. pšenice dvouzrnka, pšenice tvrdá);
- hexaploidní pšenice obsahující 42 chromozomů (např. pšenice setá), viz obr. 1.



Obr. 1: Srovnání klasů vybraných druhů pšenice: (1) pšenice polská (*Triticum polonicum*) (2) pšenice shloučená (*Triticum compactum*) (3) pšenice setá (*Triticum aestivum*) (4) pšenice naduřelá (*Triticum turgidum*) (5) pšenice tvrdá (*Triticum durum*) (6) Špalda (*Triticum spelta*) (7) pšenice dvouzrnka (*Triticum dicoccon*) (8) pšenice jednozrná (*Triticum monococcum*).

Zdroj: hokr.cz

Pšenice setá (*Triticum aestivum*) představuje v současné době jednu z nejvýznamnějších světových kulturních plodin, která je pěstována v různých oblastech světa. Tento druh pšenice patří mezi tzv. hexaploidní druhy pšenice se 42 chromozomy v jedné buňce. Z botanického hlediska rozeznáváme další 4 poddruhy pšenice seté, a to na základě barvy a osinatosti klasů (poddruh bílé pšenice *lutescens*, poddruh červené pšenice *milturum*, poddruh červené pšenice *ferrugineum* a poddruh bílé pšenice *erythrosperrum*), (Charmet 2011).

Celý genom pšenice, konkrétně druhu pšenice setá, byl přitom přečten až před několika lety. Ve světově proslulém vědeckém časopisu Science vyšel v roce 2018 článek, který shrnoval výsledky 13 let trvajících výzkumu, na němž se podílelo více než 200 vědců ze 73 institucí ve 20 zemích světa včetně České republiky. Genom pšenice seté je pětikrát větší než genom člověka, skládá se ze tří subgenomů a navíc je z více než 85 % tvořen repetitivními sekvencemi (opakujícími se úseky DNA), (Černý 2018).

Po rýži a kukuřici představuje pěstování pšenice seté třetí celosvětově nejrozšířenější zemědělskou plodinou. Pšenice setá pochází z oblastí Blízkého východu, z oblastí tzv. úrodného půlměsíce, odkud se již před tisíci lety rozšířila do celého světa (Špaldon et al. 1982).

Pšenice setá představuje jednoletou nebo dvouletou travu, která dorůstá výšky cca 50 cm až 1,5 m. Zárodečné (primární) kořínky, které vznikají po vyklíčení semen, jsou opatřeny nejčastěji 2-4 drobnými kořínky. Adventivní (sekundární) kořínky jsou již povětšinou svazčitého charakteru a k jejich zakládání dochází již v rámci ornice. Sekundární kořeny pšenice vznikají během období odnožování. Stéblo pšenice je hladké a duté opatřené 4-6 kolénky, které rostlinné tělo rozdělují do jednotlivých mezičlánků (Diviš et al. 2010).

Vznik stébla signalizuje přechod pšenice z jejího vegetativního období do generativního období, kdy dochází na vzrostném vrcholu k vytváření kláskových hrbolků. Po vzniku prvních listů dochází pod povrchem půdy ke vzniku odnožovacího uzlu, který představuje velice citlivý orgán rostlinného těla. Listy pšenice seté jsou přisedlé, a složené z čepele a pochvy, mezi kterými se nachází tzv. jazýček (Zimolka 2005).

Květenství pšenice představuje složený klas disponující osou neboli vřetenem, na které nasedají jednotlivé klásky. Na každý článek vřetene klasu připadá jeden klásek. Klásek sestává ze dvou bezosinných plev a příslušného počtu květů (nejčastěji 2-5). Jednotlivé květy jsou z vnější strany obalené tzv. pluchou, a z vnitřní strany tzv. pluškou. U klasů s osinami z pluch vyrůstají jednotlivé osiny. Nezbytnými součástmi květů pšenice jsou rozmnožovací orgány neboli pestíky a tyčinky. Vznikající plod představuje obilka, která opět sestává z několika částí (z obalu, endospermu a zárodku) (Zimolka 2005).

Jako každá rostlina, i rostlina pšenice seté si během svého ontogenetického života prochází celou řadou změn, které lze všeobecně pojmenovat jako jednotlivá růstová a vývojová stadia. Ontogenetický vývoj rostliny v sobě zahrnuje období od vyklíčení obilky, až po tvorbu nové obilky. Změny, které se týkají růstu pšeničné rostliny, zahrnují hmotnostní a velikostní nárůst organické hmoty, vznik a rozvoj jednotlivých rostlinných orgánů i změny v rámci jejich prostorového uspořádání. Uvedené změny řadíme do vegetativní fáze rostliny, která předchází v generativní období, kdy dochází ke vzniku a růstu rozmnožovacích orgánů rostliny (Zimolka 2005).

Z pěstitelského hlediska vyžaduje pšenice pro svůj optimální růst a vysoký výnos hlubší, hlinité nebo jílovitohlinité půdy, s neutrálním až slabě kyselým pH. Půdy by navíc měly být výživově hodnotné, nejvhodnější se proto jeví černozem a hnědozem, které jsou bohaté na živiny. Nejvhodnějšími klimatickými podmínkami pro pěstování pšenice jsou teploty 15–18 °C během vývoje a růstu rostlinných těl, a nízké srážky 250–350 mm, jelikož pšenicí škodí přemokření (Zimolka 2005).

Poměrně náročné podmínky na pěstování dělají z pšenice seté jednu z nejnáročnějších pěstovaných obilovin. Všechny druhy pšenice disponují stejně jako všechny jednoděložné rostliny velice slabým, řídkým a mělkým kořenovým systémem, a pro její růst je typický pomalý jarní vývoj. Na základě toho si nedobře vede v kompetičním boji s rychle rostoucími jarními pleveli, oproti kterým vyžaduje i výživnější půdy (Zimolka 2005).

### 3.2 Historie a současnost pěstování

První historické zmínky o pšenicí pocházejí z období zhruba před 23 tisíci lety, avšak v tomto případě se nejedná o její záměrné pěstování, nýbrž pouze o její existenci jako volně rostoucí plodiny. Počátky záměrného pěstování pšenice lidmi mohou být datovány do doby 10 tisíc let před naším letopočtem, a to v oblastech tzv. úrodného půlměsíce, jenž znázorňuje obr. 2 (Špaldon et al. 1982).

Patrně již před 10 000 lety před naším letopočtem docházelo k systematickému pěstování prvních a původních druhů pšenice, konkrétně důkazy svědčí o pěstování pšenice jednozrnky plané (*Triticum boeoticum*) a kulturní (*Triticum monococcum*) i pšenice dvouzrnky (*Triticum dicoccum*). V té době se tyto přirozené a plané druhy pšenice vzhledem podobaly spíše drobnějším klasům ječmenným nežli obřím klasům pšenice seté, která je pěstována

v současné době. První nálezy pšenice, nikoli však doklady o jejím systematickém pěstování, pocházejí dokonce již z doby 16 000 let před naším letopočtem. I tyto nálezy byly objeveny v oblastech zmíněného úrodného půlměsíce (Diviš a kolektiv 2010) a dalších oblastí (Brown et al. 2009).

Podle Brown et al. (2009) se zemědělství začalo formovat:

- (a) v okolí řeky Jang-c'-t'iang na území Číny, kde se jednalo zejména o domestikaci rýže a sóji,
- (b) v dnešních státech Peru a Bolívie docházelo k domestikaci brambor a manioku,
- (c) na území dnešního Mexika a Hondurasu byla domestikována kukuřice a fazole,
- (d) a v oblastech tzv. úrodného půlměsíce, v rámci, kterého docházelo k domestikaci pšenice, ječmenu, lnu, čočky, hrachu i cizrny.

Úrodný půlměsíc představuje oblast v rámci Blízkého východu, v jihozápadní Asii, kde se rozprostírá od Středozemního moře až po Perský záliv. Je vymezena na území dnešních států Egypt, Izrael, Jordánsko, Libanon, Sýrie, Turecko, Irák a Írán. Jedná se tedy o oblasti, na kterých se v historii rozprostírala Mezopotámská říše, jedna z nejstarších lidských civilizací (viz obr. 2).



Obr. 2: Oblast úrodného půlměsíce.

Zdroj: peopleperproject.com

V oblastech úrodného půlměsíce docházelo k procesu domestikace výše uvedených rostlinných druhů v době zhruba před 10 tisíci lety, kdy je právě z těchto oblastí patrný i rozvoj jejich systematického a úmyslného pěstování, a jsou zde patrné počátky zemědělské výroby (Zeder 2011). Současně se jedná o oblast s nejvyšší koncentrací původních rostlin, tedy rostlin, které jsou velice blízké odrůdám původním a planým v přepočtu na plochu. Pro takové druhy

rostlin existuje v současné době odborný výraz *Crop Wild Relatives* (CWR), a podle odhadů se v současné době takových taxonů v oblasti úrodného půlměsíce nachází necelých 850 (Vincent et al. 2013).

Z oblasti úrodného půlměsíce se pěstování pšenice začalo přesouvat i do okolních oblastí a lokalit. K expanzi pšenice docházelo zhruba v období 6,5 tisíce let před naším letopočtem. Jak je patrné, celá tisíciletí bylo pěstování pšenice zcela výhradně soustředěno do mezopotámské oblasti. Pšenice se začala šířit nejprve do Řecka, Indie nebo Kypru, tedy do oblastí, se kterými oblast úrodného půlměsíce udržovala aktivní obchodní vztahy. Po dalších 1500 letech, tedy v období pátého tisíciletí před naším letopočtem, byla pšenice pomalu rozšiřována i na pole zbylých států Evropy (konkrétně do oblastí dnešního Španělska, Francie, Německa nebo i střeoevropských, včetně České republiky). V rámci Severní Ameriky nastal výraznější nárůst pěstování pšenice až v rámci 16. století našeho letopočtu (Diviš et al. 2010).

V současné době představuje pšenice setá (*Triticum aestivum*) celosvětově, tak i v České republice, nejvíce pěstovanou obilninu. Pšenice představuje jednu z nejvýznamnějších, a současně nejvhodnějších plodin pro široké spektrum potravinářských výrobků, a její praktické využití je prakticky univerzální. Pšenice disponuje vynikajícími vlastnostmi pro své tepelné zpracování (v pekařině nebo gastronomii), a jelikož obsahuje i kvalitní formu lepku, je velice rozšířenou krmnou plodinou. Navíc může být pšenice zpracována i mnohými odlišnými průmyslovými odvětvími (výroba škrobu nebo lihu), (Charmet 2011).

Mimo tyto zmíněné výhody jsou pro pšenici charakteristické i další vhodná specifika, jako je plasticita nebo vysoké výnosové schopnosti (Diviš et al. 2010).

Značný význam pšenice je také způsoben vysokou adaptabilitou této rostliny vůči různým pěstitelským podmínkám a širokou využitelností pšeničných zrn. Pšenice poskytuje lidem své plody, která jsou následně využívána a zpracovávána jako potravina, krmivo i výrobní surovina. Mimo obilná zrna jsou zpracovávána pšeničná stébla (na výrobu slámy) i obaly obilných zrn neboli otruby (na výrobu celozrnných výrobků). Dalším pozitivem plynoucím z pěstování pšenice je její bezproblémová skladovatelnost i následně dlouhá trvanlivost (Charmet 2011).

Podle organizace FAO činila celosvětová produkce pšenice za rok 2013 okolo 713 miliónů tun, což představovalo do té doby v pěstování pšenice historické maximum (FAO 2013). Nicméně od zmíněného roku 2013 docházelo ke každoročnímu celosvětovému nárůstu množství vypěstované pšenice. Například roku 2018 bylo podle stejné agentury vypěstováno 730 miliónů tun pšenice, avšak počet pro tento rok mohl být zhruba o 20-30 miliónů tun vyšší, nebýt nepříznivých podnebných podmínek. Hlavní pěstební oblasti se totiž potýkaly s vlnami veder, které měly na svědomí sníženou výnosnost (FAO 2018).

V roce 2019 bylo podle odborných odhadů vypěstováno 764 miliónů tun pšenice (FAO 2019), a v roce 2020 již 769 milionů tun (FAO 2020). Jak je patrné z obr. 3 v rámci pěstování pšenice dochází od roku 2011 k neustále se navyšujícímu se trendu, který je spojený s neustále se navyšujícími se požadavky, které zase souvisejí s narůstající světovou populací, pro kterou je nutné pěstovat stále větší množství plodin, a chovat stále větší množství hospodářských zvířat, která musejí být krmena. Ačkoliv by se dalo čekat, že pro narůstající produkci pšenice bude zapotřebí stále více zemědělské plochy, není tomu tak.



Obr. 3: Celosvětová produkce pšenice v letech 1991-2012.

Zdroj: fao.org

Velikost zemědělské plochy, na které je pšenice pěstována od 70 let 20. století se do současné doby v zásadě nezměnila. Ačkoliv se celosvětová produkce pšenice během této doby téměř zdvojnásobila, stále je sklížena na ploše stejných rozměrů. V roce 1970 dosahovala zemědělská plocha pro pěstování pšenice 225 milionů hektarů, a v roce 2013, tedy po 43 letech plocha dosahovala pouze 220 milionů hektarů pro rok 2013, (FAO 2013).

Důvodem, proč se celosvětová produkce pšenice zvýšila a zemědělská plocha pro toto období zůstala stejná, je především citelné navýšení produktivity v přepočtu na hektar, která se se zvýšila za sledované období více než dvojnásobně (z 1,5 tuny na 3,5 tuny na hektar). K výraznému navýšení produktivity došlo především z důvodu výroby kvalitnějších hnojiv a sestavení sofistikovanějších secích strojů a zařízení (Zimolka 2015).

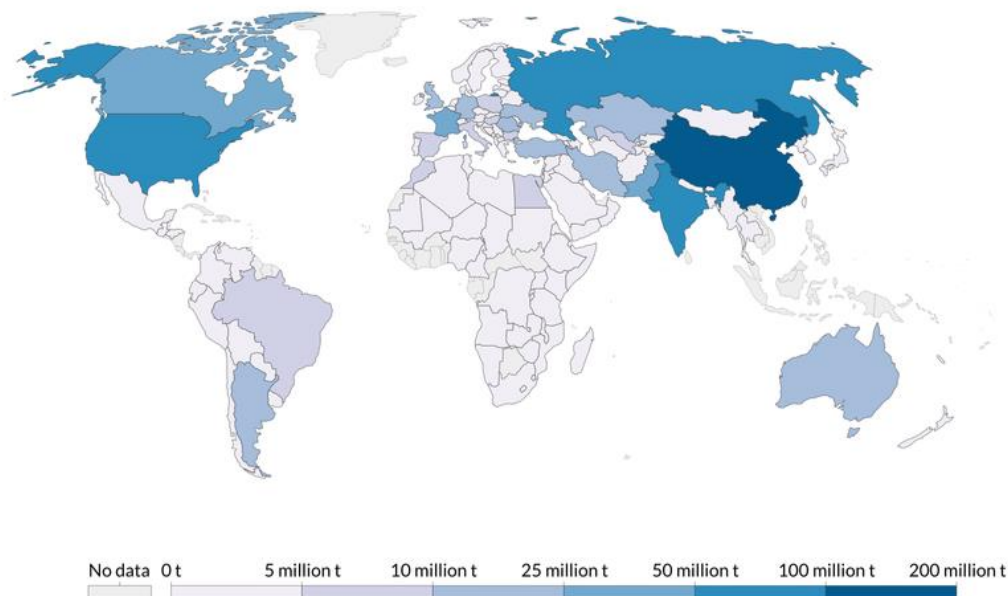
Co se v průběhu vývoje v pěstování pšenice také podstatně změnilo, je podíl pšenice, která se musela uchovávat pro zrna na osev pro následující pěstitelské období. V rámci historického pěstování pšenice byla uchováвана pro následující rok až jedna třetina celkové produkce, zatímco v současné době je již potřebné uchovávat zhruba 5 %. Také nastal významný pokrok v oblasti zavlažování, které je zapotřebí zejména v oblastech Indie nebo Číny, a které se postaralo o výrazné navýšení produkce pšenice na hektar půdy (Zimolka 2015).

V roce 2021 bylo celosvětově vyprodukováno rekordních 778 milionů tun pšenice, což představuje mezi roční nárůst o bezmála 45 mil. tun a zároveň se jedná o překonání produkce roku 2020, která činila 769 milionů tun. Za zvýšenou globální produkcí v roce 2021 byla zejména mírná zima na evropském kontinentě a příznivé podnebné a teplotní podmínky. Evropa vyprodukovala v roce 2021 cca 154 milionů tun pšenice a rekordní sklizeň zaznamenalo také

Rusko, které vyprodukovalo až 77 miliónů tun. Severní Amerika vyprodukovala téměř 52 miliónů tun (Lajsek a Turna 2021).

### Wheat production, 2018

Wheat production is measured in tonnes.



Source: UN Food and Agriculture Organization (FAO)

Obr. 4: Největší světoví producenti pšenice (2018).

Zdroj: fao.org

Jak vyplývá z obr. 4 ze světové mapy produkce pšenice, lze na naší planetě nalézt oblasti, na kterých pšenice není vůbec pěstována, jelikož se na nich nevyskytují vhodné podnebné podmínky. Takovými oblastmi je celý africký kontinent (vyjma oblastí u velkých řek, konkrétně v Egyptě, v okolí Nilu), indonéské ostrovy nebo většina států jihoamerických.

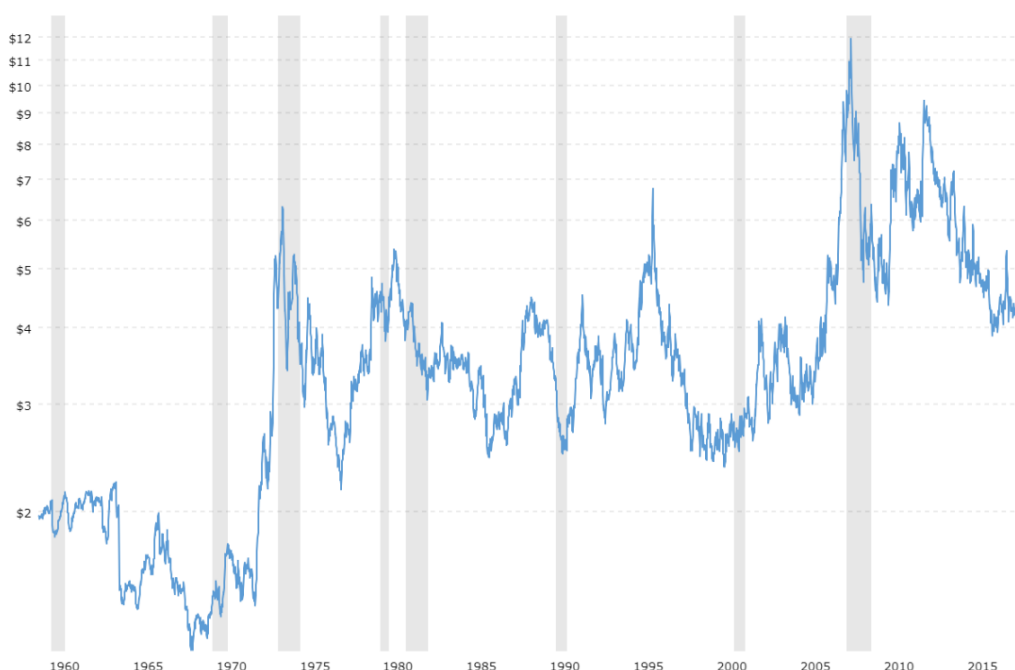
Mezi již tradičně nejvýznamnější producenty pšenice patří na světě Čína, která si prvenství udržuje již dlouhou dobu. Velice významnými producenty jsou i Rusko, Severní Amerika nebo Indie. Silné zastoupení na světovém trhu v pěstování pšenice zaujímá i Evropa, v rámci, které mezi nejdůležitější producenty patří Francie (FAOSTAT 2018).

Jak je dále z uvedeného obrázku patrné, oblast úrodného půlměsíce, která představuje místo vzniku pěstování pšenice, dnes nepatří mezi významné producenty pšenice. V této oblasti sice pšenice pěstována je, ale došlo zde ke změně podnebných podmínek, a produkce pšenice pokryje pouze potřeby tamního obyvatelstva (FAOSTAT 2018).

V průběhu historie pěstování pšenice také docházelo k vývoji ceny pšenice. Vývoj pšenice i ostatních základních potravinářských komodit je velice hlídanou veličinou, jelikož právě výkyvy těchto komodit mohou velice ovlivnit problematiku světové chudoby a světového hladu. V rámci jednotlivých let lze vidět vysoké výkyvy ve světové ceně pšenice (viz obr. 5).

Cena pšenice je poměrně variabilní veličinou, která se mění především v závislosti na aktuálním ročním období. Cenu pšenice ovlivňuje i skutečnost, že celosvětově existují dvě sklizně, na severní a jižní polokouli. Cenové maximum pšenice se proto vyskytuje ve dvou

ročních obdobích, a to v období sklizně na severní polokouli, která se odehrává v srpnu a při sklizni na jižní polokouli, která je v březnu. Nejnižší ceny pšenice se pohybuje v období mezi sklizněmi, nejčastěji od října a listopadu (SZIF 2021).



Obr. 5: Vývoj světové ceny pšenice od roku 1960-2015.

Zdroj: macrotrends.net

### 3.3 Nové trendy ve šlechtění rostlin

#### 3.3.1 Šlechtění na suchovzdornost

Pod pojmem sucho si lze představit jako zápornou odchylku v množství srážkové vody od normálního množství, které je typické v rámci určitého časového období. V rámci zemědělství je pojem sucho všeobecně propojován s nedostatkem vody v půdě, kdy je příjem vody prostřednictvím kořenového systému rostlin nedostatečný, a tento omezený příjem nepokrývá minimální požadavky rostlin na vodu, a který se záhy projeví mírným nebo i citelným snížením výnosu pěstovaných plodin (Prášil et al. 2018).

Nedostatečné množství vodního zdroje představuje pro většinu druhů rostlin na naší zemi velmi významný stresový faktor, lze říct, že ten nejvýznamnější, a výskyt dlouhodobějšího sucha může právě v rámci zemědělství způsobit velice významné škody, co se výnosu pěstovaných plodin týče. Sucho je specifické tím, že vzniká pomalu a postupně, a období sucha může trvat po dobu dnů, ale i let (Prášil et al. 2018). Snahy o zmírnění sucha probíhají po celém světě díky šlechtění odolných odrůd. Ovšem pokrok v tomto oboru je značně zpomalen, protože tolerance rostlin k suchu je komplexní vlastnost, která je řízena mnoha geny a její plná exprese je ovlivněna prostředím a také tím, že má pšenice strukturálně složitý a velký genom (Mwadzingeni et al. 2016).

Na základě doby, kdy se se suchem lze setkat, a na základě intenzity sucha, lze v současné době rozlišit (a) sucho přechodné (tzv. transientní) a (b) sucho trvalé (tzv. terminální). Pro první případ je typické, že je jeho výskyt nepravidelný a vyskytuje se pouze v rámci nějakého období růstu a vývoje pšeničných lánů. Druhý případ se na druhou stranu



vyskytuje v období konce vegetace, a je většinou příčinou ukončení vegetační fáze rostlin. kdy je přímo příčinou ukončení vegetace rostlin (Prášil et al. 2018).

Účinky sucha na rostlinu pšenice jsou různé, záleží na fenologické fázi rostliny, stejně jako na sílu a intenzitu sucha (Sarto et al. 2017). Sucho má dále vliv na růst a vývoj porostů, na celkové množství vytvořené biomasy, na kvalitu i výnos zrna. Pakliže pšenice zažívá delší období sucha a nedostatečné hydratace, projevuje se u ní typické zkrácení stonků, chřadnutí a stáčení listů, postupně umírá a žlutne celá rostlina, a to směrem zezdola (respektive nejdříve umírají staré listy, naposledy mladé, kde je soustředěna zbývající voda). Dochází k usychání odnoží, k citelnému snížení počtu květů a zrn, ke zvyšování celkové teploty rostliny a k zasychání klasů (Prášil et al. 2018).

Při šlechtění pšenice na suchovzdornost je hlavní snahou vědců nalézt nějaké výraznější znaky disponující vyšší mírou dědičnosti, které by však současně pozitivně ovlivňovaly i celkovou výnosnost pšenice. Dalším podstatným znakem šlechtění pšenice je, že je prováděno přímo v lokalitách, kde bude pšenice později vyseta, aby byl šlechtěný druh pšenice již adaptován na podmínky, ve kterém bude v budoucnu růst (Aliev 2010). Znaků, které ovlivňují suchovzdornost pšenice je hned několik, a na základě jejich působení je dělíme podle Calderini et al. (2016) na:

- vyhýbání se suchým obdobím – zrychlený vývoj pšenice, dřívější období květu a vznik zrn;
- zlepšené hospodaření s vodou – výskyt hlubších kořenů, lepší čerpání vody z půdy, nižší vodivost prùduchů, mechanismy, které by zamezovaly ztrátám vody a přehřívání rostliny;
- lepší snášení sucha a rychlý růst po skončení sucha – koncentrace ochranných látek, využívání zásobní vody ze stébel.

V současné době hraje významnou úlohu ve šlechtitelství molekulární genetika, která vědcům umožnila vědomě si volit konkrétní pšeničné linie disponující těmi nejvhodnějšími geny na odolnost proti různým stresovým faktorům, a to prostřednictvím genetických nebo fyziologických genových ukazatelů. Genové markery, které jsou vhodné pro šlechtění nových a suchovzdorných druhů pšenice jsou k nalezení v rámci dostatečně různorodé populace, která vznikla křížením rodičů odolných vůči suchu, nebo jsou k nalezení díky genetickému mapování těch nejvíce suchovzdorných odrůd a linií (Čurn 2017).

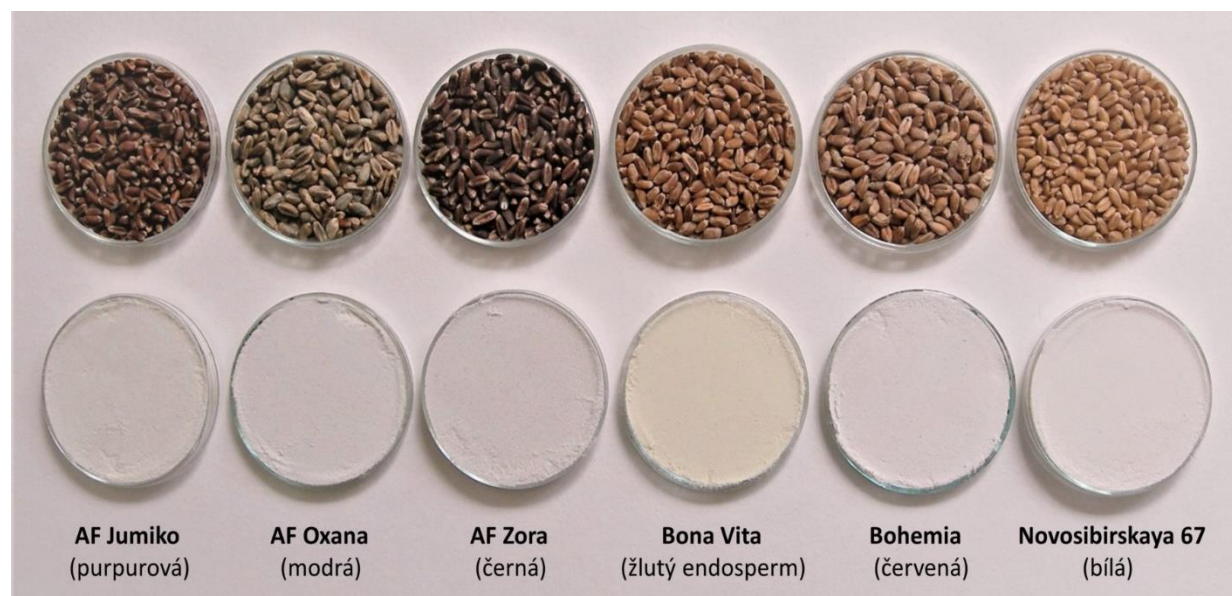
Z toho důvodu závisí šlechtění nových suchovzdorných druhů pšenice především na genetické heterogenitě zkoumaných populací a současně i na účinnosti vylučovacích metod. Genetická heterogenita může být navýšena i přiřčením planých nebo syntetických forem pšenice do konkrétních programů křížení. Uměle vytvořené druhy pšenice totiž disponují přenesenými vlastnostmi *Aegilops squarrosa*, který roste v oblastech tzv. úrodného půlměsíce, odkud pšenice přirozeně pochází, a pro které jsou typická sucha. Právě díky tomu, že byly při šlechtění využity druhy syntetické pšenice, byla v nedávné době zvýšena suchovzdornost a zároveň i výnosnost mexického druhu pšenice (Calderini et al. 2016).

### 3.3.2 Barevný endosperm

V posledním desetiletí a v současné době se šlechtitelství pšenice zaměřuje na zlepšování nutričních vlastností této plodiny, a také na vyšlechtění nových odrůd, které by disponovaly i novou přidanou hodnotou, co se lidského zdraví týče. Pšenice totiž představuje velkou součást lidského jídelníčku, v některých oblastech převažující část. A když je pšenice tolik konzumována, mohla by její konzumace přinášet i významnější benefity lidskému zdraví (Musilová et al. 2013).

Podarilo se vyšlechtit nové odrůdy pšenice, které již disponují zvýšeným obsahem chemických látek s antioxidačními účinky. To představuje základní pilíř k tomu, aby byly vyvíjeny a šlechtěny tzv. funkční potraviny, které nejenže chutnají a zasytí, ale také přinášejí pozitivní vlivy i lidskému zdraví. Nově vyšlechtěné odrůdy pšenice s pozitivními účinky na lidské zdraví obsahují mnoho barviv (antokyaniny nebo karotenoidy), která způsobují netradiční zbarvení zrn pšenice (žluté, fialové nebo modré zbarvení), viz obr. 6, (Musilová et al. 2013). Antokyaniny se hromadí ve vrstvě aleuronu nebo perikarpu a dávají modrou, fialovou nebo kombinaci těchto barev. Flavonoidy (žluté C-glykosidy flavonů, flavonoly, flavanonoly, proanthokyanidiny, načervenalé flobafeny) jsou přítomny hlavně ve vnější vrstvě zrn. Karotenoidy, které se nachází v endospermu, způsobují žluté zbarvení zrna (Lachman et al. 2017).

Zmíněné antokyaniny jsou lidmi přijímány především z ovoce a zeleniny, které jak je všeobecně známo, téměř každý druhý člověk konzumuje nedostatečné množství. Nově vyšlechtěné odrůdy pšenice však obsahují stejné množství těchto zdraví prospěšných látek jako ovoce a zelenina, a z toho důvodu se právě pšenice může stát nejvýznamnějším zdrojem těchto chemických esenciálních látek disponující antioxidačními účinky (Abdel-Aal, Hucl a Rabalski, 2018). Antokyaniny se mohou chovat i jako antioxidanty – prevence proti kardiovaskulárním nemocem, diabetes, rakovině a stárnutí (Garg et al. 2015).



Obr. 6: Barevné spektrum pšeničných zrn.

Zdroj: uroda.cz

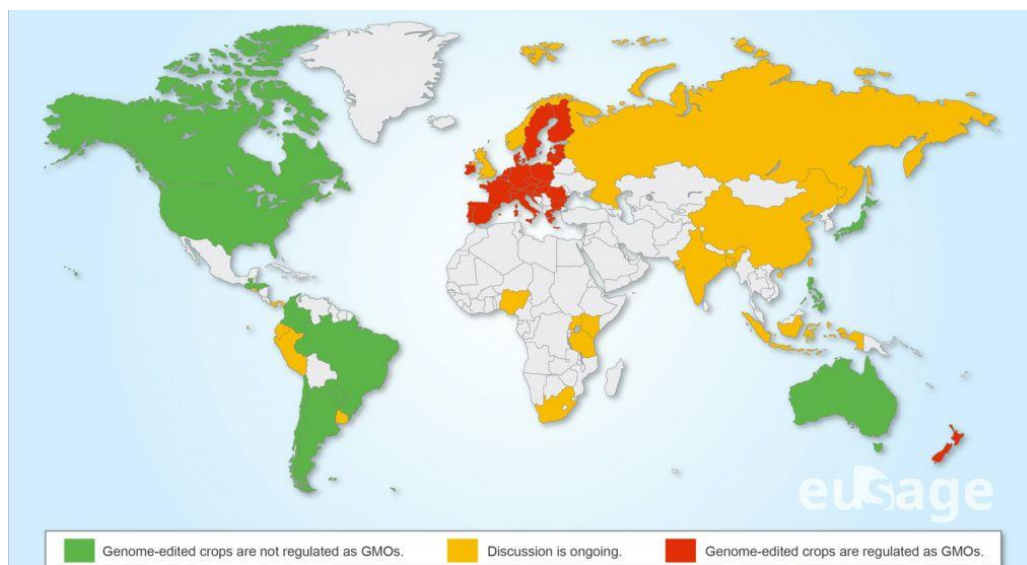
### 3.3.3 GMO

Pod zkratkou GMO se skrývá pojem „geneticky modifikované organismy“, jedná se o potraviny nebo krmiva, která jsou geneticky modifikovaná, obsahují geneticky modifikované organismy nebo jsou z nich vyrobená. Za geneticky modifikovaný organismus lze považovat takový organismus, jehož přirozená dědičná informace uložená v buněčné DNA byla změněna, a to prostřednictvím vysoce vyspělých technik genového inženýrství. Ke změně genetické informace běžně dochází v rámci pohlavního rozmnožování, kdy dochází zcela přirozeným procesem k promíchání genetické informace matky a otce za vzniku geneticky „nového“ potomka. V rámci geneticky modifikovaných organismů dochází ke vzniku nové genetické informace, a to jiným způsobem než zmíněným pohlavním rozmnožováním a kombinací vloh rodičovského páru (Gryson 2010).

V moderní a technologicky vyspělé době lze geneticky modifikovat velké množství dnes žijících druhů rostlin, zvířat i mikroorganismů. Nejčastěji se však v současné době lze setkat s geneticky modifikovanými a „upravenými“ produkty rostlinného původu neboli s geneticky modifikovanými potravinami nebo krmivy. Jedná se o odrůdy sóji, kukuřice, bavlníku, řepky, rýže, cukrovky, brambor, rajčat, paprik, papáj a dýn (MZ ČR 2016).

V globálním měřítku jsou v současné době geneticky modifikované plodiny pěstovány na celkové ploše zhruba 150 milionů ha orné půdy, což představuje zhruba 3 % z celkové rozlohy orná půdy na celém světě (vztaženo k roku 2016). Geneticky modifikované plodiny jsou pěstovány mnoha zeměmi na celém světě, avšak ne všemi zeměmi. Mezi přední světové pěstitele geneticky upravených plodin patří v současné době Spojené státy americké, Argentina, Brazílie, Kanada, Indie nebo Čína (MZ ČR 2016).

Například Evropská unie však není vůči geneticky modifikovaným rostlinám, které jsou většinou typické svojí vyšší výnosností a vyšší rezistencí vůči chorobám a škůdcům, tolik tolerantní, jako jiné státy světa. V současné době jsou geneticky modifikované rostliny na evropském kontinentě pěstovány pouze ve Španělsku, České republice, Rumunsku, Portugalsku a Slovensku. Geneticky upravené potraviny jsou tedy v rámci Evropy pěstovány na zhruba 0,3 % výměry orné půdy (vztaženo k roku 2016). Navíc, může být v rámci Evropské unie pěstována pouze jediná geneticky upravená plodina, a to kukuřice (MZ ČR 2016).



Obr. 7: Regulované pěstování GMO plodin ve světě.

Zdroj: universitas.cz

Geneticky modifikovaná pšenice nebyla do nedávné doby pěstována žádnou zemí světa, ačkoliv samozřejmě jsou její geneticky modifikované odrůdy vyvíjeny a testovány. V roce 2020 umožnila jako první pěstovat GMO pšenici Argentina a dále její pěstování schválila i Brazílie, jak dokládá obr. 7. Vědci, kteří vyvíjejí geneticky upravené druhy pšenice konstatují, že pozměněné druhy pšenice jsou mnohem více odolné vůči suchu a umožní zemědělcům zvýšit výnos na hektar až o pětinu (Přibík 2020).

Geneticky modifikované odrůdy pšenice nejsou zatím povoleny k plošnému pěstování, a jejich vývoj je zatím ve fázi výzkumu a testování. Žádné odpovědné orgány ani instituce nepovolily pěstovat takto upravenou pšenici, jelikož na světě existuje mnoho výzkumů, které potvrzují neblahé zdravotní účinky konzumace zrn geneticky upravených druhů. Výzkumné týmy po celém světě se snaží vyšlechtit a vyprodukovat geneticky upravenou pšenici, která by

byla specifická vysokým výnosem a odolností, a zároveň měla blahodárný vliv na lidské zdraví (Adams 2014).

### 3.3.4 Choroby

Chorob, které mohou nepříznivě ovlivnit vývoj a dozrávání pšenice, existuje v současné době velké množství. Rozlišovat lze přitom onemocnění, která jsou specifická pro listy pšenice, pro klasy, stonky (stébla) nebo kořenový systém. Existují i choroby, které postihují celou rostlinu naráz. Také lze onemocnění pšenice kategorizovat na základě toho, jaký druh organismu má tyto choroby na svědomí, zda je onemocnění houbového, bakteriálního, virového nebo hmyzího původu (Vacke 2012).

Mezi nevýznamnější a nejčastější choroby, které postihují i nebo zcela výhradně pšenici, a dokážou vytvořit značné výnosové, a tím i ekonomické ztráty, patří listové skvrnitosti, rez plevová, rez pšeničná, rez travní, padlí travní, braničnatka pšeničná, braničnatka plevová, helmintosporiová skvrnitost (Hanzalová a Palicová 2017).

Díky současné technologicky vyspělé době lze však odolnost pšenice vůči některým chorobám cíleně prostřednictvím šlechtitelských programů navýšit. Využívání speciálně vyšlechtěných odrůd pšenice na odolnost vůči chorobám představuje složku integrované ochrany rostlin. *„Odrůdová odolnost se uplatňuje významně u obilnin již od počátku minulého století. Teoretické podklady pro šlechtění na odolnost poskytly Mendelovy zákony dědičnosti, v oné době znovu objevené a experimentálně ověřované“* (Urešová 2017).

Odolnost rostlin, zejména vůči nejpočetnějším a nejčastějším chorobám houbového původu, představuje při velkoplošné produkci plodin zásadní podmínku pro ekonomickou i ekologickou stránku pěstování. Odolnější odrůdy pšenice jsou vyvíjeny mnoha šlechtitelskými programy, a k tvorbě nových odolnějších druhů pšenice se v rámci těchto programů přistupuje různými způsoby. Základní předpoklad však zůstává v rámci šlechtitelských programů stejný, a je stejný jako v případě šlechtění nových suchovzdorných odrůd pšenice – nalézt kvalitní zdroj genů odolnosti (Skoupý 2019).

Rozmach a vzrůstající diverzifikace houbových onemocnění se navyšuje zejména díky změnám v klimatu. Houbová onemocnění vyžadují pro své množení a šíření vlhké počasí, z toho vyplývá, že v některých oblastech světa, které v posledních letech pravidelně sužují silné deště a vlhké počasí, způsobují houby značné škody na pěstované pšenici. Na druhou stranu ale u pšenice platí i to, že za vysokých teplot a dlouhodobého sucha, se dostávají rostliny pšenice do stresu (Skoupý 2019).

Šlechtění se tak čím dál tím více intenzivněji stává významnějším nástrojem v boji proti různorodým škůdcům a chorobám. A to zejména z toho důvodu, že dříve hojně využívané pesticidy, které měly rostlinu chránit před různorodými škůdci a chorobami, nemohou být nyní již tak intenzivně používány, a to z důvodu jejich neblahého vlivu nejen na životní prostředí, ale také na zdraví člověka (Skoupý 2019).

## 3.4 Tvorba sušiny u rostlin

Všeobecně lze konstatovat, že v rámci zelených rostlin se v největší míře nachází voda, kterou mohou některé části rostlin, zejména části stářím nejmladší nebo kořeny, obsahovat až z 90–95 %. Právě se stářím jednotlivých částí rostliny souvisí i obsah vody v těchto částech. Čím starší část rostliny je, tím méně v ní můžeme nalézt podílu vody. Příkladem mohou být zrna, která oproti kořenům mohou obsahovat pouze 10 % vody (Borchert 1994).

Pro vyjádření obsahu a podílu organických a minerálních látek v rostlině, můžeme využít termín sušina, který představuje základní prostředek pro vyjádření chemického složení

rostlin (Bollard 1993). Sušina představuje suchý a pevný materiál rostlinného původu, organického a minerálního původu (Barker a Pilbeam 2007). Obsah jednotlivých prvků v sušině rostlin jsou uvedeny v tabulce 1.

| Základní biogenní prvky              | Průměrný obsah v sušině rostlin (v %) |
|--------------------------------------|---------------------------------------|
| Vodík                                | 6                                     |
| Uhlík                                | 45                                    |
| Kyslík                               | 45                                    |
| <b>Makroelementy (hlavní živiny)</b> |                                       |
| Dusík                                | 1,5                                   |
| Draslík                              | 1,0                                   |
| Vápník                               | 0,5                                   |
| Hořčík                               | 0,2                                   |
| Fosfor                               | 0,2                                   |
| Síra                                 | 0,2                                   |
| <b>Mikroelementy (stopové prvky)</b> |                                       |
| Bór                                  | $20 \cdot 10^{-4}$                    |
| Železo                               | $100 \cdot 10^{-4}$                   |
| Mangan                               | $50 \cdot 10^{-4}$                    |
| Zinek                                | $20 \cdot 10^{-4}$                    |
| Měď                                  | $6 \cdot 10^{-4}$                     |
| Molybden                             | $0,1 \cdot 10^{-4}$                   |

Tab. 1: Průměrný obsah živin v sušině rostlin.  
Zdroj: cit.vfu.cz

Pod pojmem tvorba rostlinné sušiny si můžeme představit hned několik různých přirozených i umělých procesů, kterým může být rostlina vystavena.

V první řadě rostlinná sušina vzniká z rostliny při přirozeném procesu jejího umírání, kdy je v rostlině přirozeně nebo cizím zaviněním přerušeno tok veškerých látek a pozastavena činnost veškerých dějů, které jsou vyžadovány pro její životaschopnost. Pokud rostlina odumře, dochází v jejích buňkách k přirozenému odpařování a ztrátě vody. Výsledkem zůstává suchá rostlina, zbavená veškeré vody (Latrasse 2016).

Druhá možnost tvorby rostlinné sušiny představuje člověkem úmyslnou přeměnu živého rostlinného vodnatého těla na sušinu, a to sklízením rostlinných těl a jejich následným vysušením. Tímto procesem se rostlinné tělo zbaví expirací nadbytečné vody a zbyde pouze rostlinné tělo složené z biogenních prvků a minerálních látek, které člověk následně využije (potrava, lékárenství, kosmetika, drogerie, aj.), (Latrasse 2016).

Nejčastěji lze podle Latrasse (2016) pod pojmem „tvorba sušiny“ chápat přirozený proces růstu rostlinného těla, během kterého dochází k postupnému nabývání množství suchého těla rostliny, které se skládá z mono a polysacharidů a minerálních látek.

Růst lze definovat jako nenávratné zvětšování rozměrů i hmotnosti rostliny. Během růstu dochází jak ke změně rostlinného tvaru, tak i ke změnám ve vnitřním uspořádání rostlinného těla. Na rozdíl od živočišných druhů rostou rostliny po celý svůj život, jejich růst je

tzv. neukončený, a v rámci jednoho stanoviště, na které je poté rostlina vázána po celý svůj život (Bláha et al. 2004).

Pro správný růst rostliny neboli suchého rostlinného těla musí být zajištěno hned několik rozdílných podmínek vycházející především z vnějšího prostředí rostliny. Mezi základní podmínky pro růst řadíme (Wilsson 1988):

- Dostatek světelného záření, aby mohla probíhat fotosyntéza,
- dostatečné teplo (nízká teplota brzdí rostoucí procesy v rostlinném těle),
- dostatek vody (bez vody nemůže probíhat fotosyntéza a rostlina nemůže růst, ani žít),
- přísun potřebných minerálních látek, které jsou mimo biogenních prvků zapotřebí.

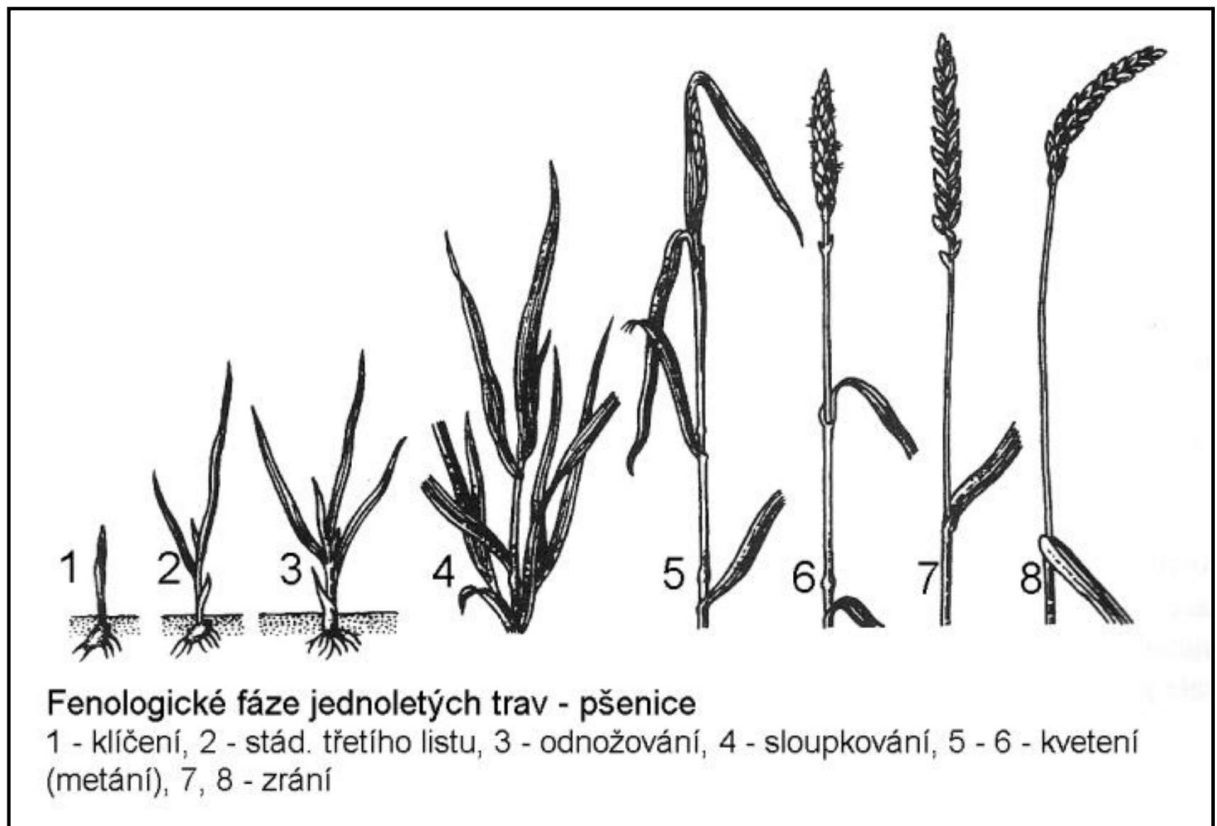
Růst rostliny neprobíhá vždy stejně, její rychlost a intenzita kolísá během ročního období, i během střídání dne a noci. Růst a vývoj rostliny neboli její ontogenetický vývoj lze rozdělit do několika základních fází. Jsou jimi klíčení, růst, vegetativní fáze, generativní fáze a senescence (Bláha et al. 2004).

V první fázi dochází ke klíčení semen, během kterého nastává přechod z klidové fáze k vegetativnímu růstu zárodku a vzniku klíčící rostliny. To je spuštěno, pokud prostředí rostliny vykazuje vhodné podmínky. Během klíčení vzniká otvor (hypokotyl), kterým semenem prorůstá základní kořínek (*radix*). Veškerá energie je v této fázi soustředěna právě do tvorby základního kořínku, který přijímá z půdního prostředí potřebné živiny a vodu. Zbytek semene poskytuje v prvních kritických dnech rostlině výživu, a to do doby, dokud tuto funkci nepřebere kořenový systém. V okamžiku, kdy je vytvořen dostatečný kořenový systém, začne rostlina vytvářet nadzemní orgány (Josefusova et al. 1985), které již vytváří v průběhu fotosyntézy asimiláty. Během fotosyntézy dochází k přeměně energie, a to z přijaté energie ze světelného záření, na energii v chemických vazbách jednoduchých cukrů, které při fotosyntéze vznikají. Právě tyto jednoduché cukry jsou poté rostlinou použity pro tvorbu rostlinného těla a pro tvorbu sušiny (Vodrážka 1993).

U pšenice podobně jako u jiných rostlin lze sledovat jednotlivé vývojové fáze, při kterých rostlina investuje vytvořené asimiláty a energii do svých různých částí. Pro každou jednotlivou fázi je typická tvorba sušiny v rámci konkrétního rostlinného orgánu. V první fázi, tzv. klíčení rostlina investuje veškerý nárůst sušiny do kořenového systému, během druhé až čtvrté fáze, tzv. stádium třetího listu, odnožování a sloupkování, dochází k nárůstu sušiny v rostlinných orgánech listů a stvolu, a ve fázi páté a šesté, konkrétně při kvetení („metání“) a dozrávání je energie investována do kvetení rostliny a následné tvorby klasu, viz obr. 7 (Zimolka et al. 2005).

Co se týče tvorby biomasy u pšeničných druhů, tak se většinou jedná o tzv. tvorbu výnosu. Jedna pšeničná rostlina během svého života kvete alespoň jednou, někdy i vícekrát, čímž dochází k tvorbě alespoň jednoho klasu v rámci jedné rostliny. Podle toho, zda má rostlina vhodné podmínky k životu, různí se počet zrn v jednom klasu i jejich hmotnost. K výnosu obilnin neboli k tvorbě biomasy dochází u pšenice po celou dobu její vegetace. Nevhodné podmínky (nedostatek živin, nedostatek vody nebo světla) značně ovlivňují vhodný růst rostlin, který zase negativně ovlivňuje počet klasů na jedné rostlině, počet zrn v rámci jednoho

pšeničného klasu, hmotnost tisíce zrn (HTZ) a řadu dalších podstatných parametrů (Zimolka et al. 2005).



Obr. 7: Vývojové fáze pšenice.

Zdroj: szes-la.cz

U pšenice lze stanovit hodnotu tzv. biologického výnosu, která představuje celkovou produkci biomasy konkrétním pšeničným porostem. Z hlediska biologického je tato veličina opět ovlivňována především podmínkami vnějšího prostředí, konkrétně schopností porostu absorbovat sluneční záření, schopností porostu využít pohlcené záření při tvorbě sušiny, a také schopností pšenice správně zužitkovat během fotosyntézy vytvořených látek do růstu jednotlivých orgánů. Významnou veličinu pro tvorbu pšeničné sušiny představuje velikost asimilační plochy, která je značena zkratkou LAI (leaf area index), (Diviš et al. 2010).

Tato pro každou rostlinu specifická veličina je udávána v jednotce  $m^2$  asimilační plochy celého zkoumaného porostu na  $1 m^2$  půdy, na které se porost vyskytuje. Hodnota LAI závisí na mnoha vnitřních i vnějších faktorech, a je dobré si uvědomit, že neplatí vztah, čím vyšší hodnota LAI, tím větší bude výnosnost zrn. Pro výnos zrna pšenice jsou podstatnější asimiláty, které se vytvářejí v době plnění obilek (Diviš et al. 2010).

U pšenice dále mimo biologický výnos rozeznáváme i tzv. hospodářský výnos, pod kterým lze rozumět množství vyprodukovaných zrn, které jsou pro zemědělce nejpodstatnější. Tvorba hospodářského výnosu představuje dynamický proces, v rámci, kterého jsou zrna vytvářena pomalu a postupem času, a jejich vývoj je ovlivňován opět velkým množstvím faktorů (klimatické podmínky, hnojivo, živinami, vodou, aj), (Zimolka et al. 2005).

### 3.5 Poměr root:shoot

Zelené rostliny pro svůj růst i následný život vyžadují tři základní zdroje energie, a to konkrétně světelné záření, oxid uhličitý a výživové látky. Získanou energii pak rostliny investují do svého růstu, popřípadě do rozmnožování. Pokud rostlina investuje získanou energii do růstu některé ze svých částí, pak nejčastěji do listů, díky jejichž růstu může rostlina přijímat větší množství světelného záření, které na jejich plochu dopadá, popřípadě do svých kořenů, jejichž vyšší plocha zase zajišťuje více přijímaných živin a vody. Záleží především na druhu konkrétní rostliny, do které z těchto tělní částí bude investovat větší množství energie. Každý druh disponuje jinou životní strategií, od které se pak odvíjí i to, vývoj, jaké části jeho těla dostane přednost (Mihulka a Štorch 2000).

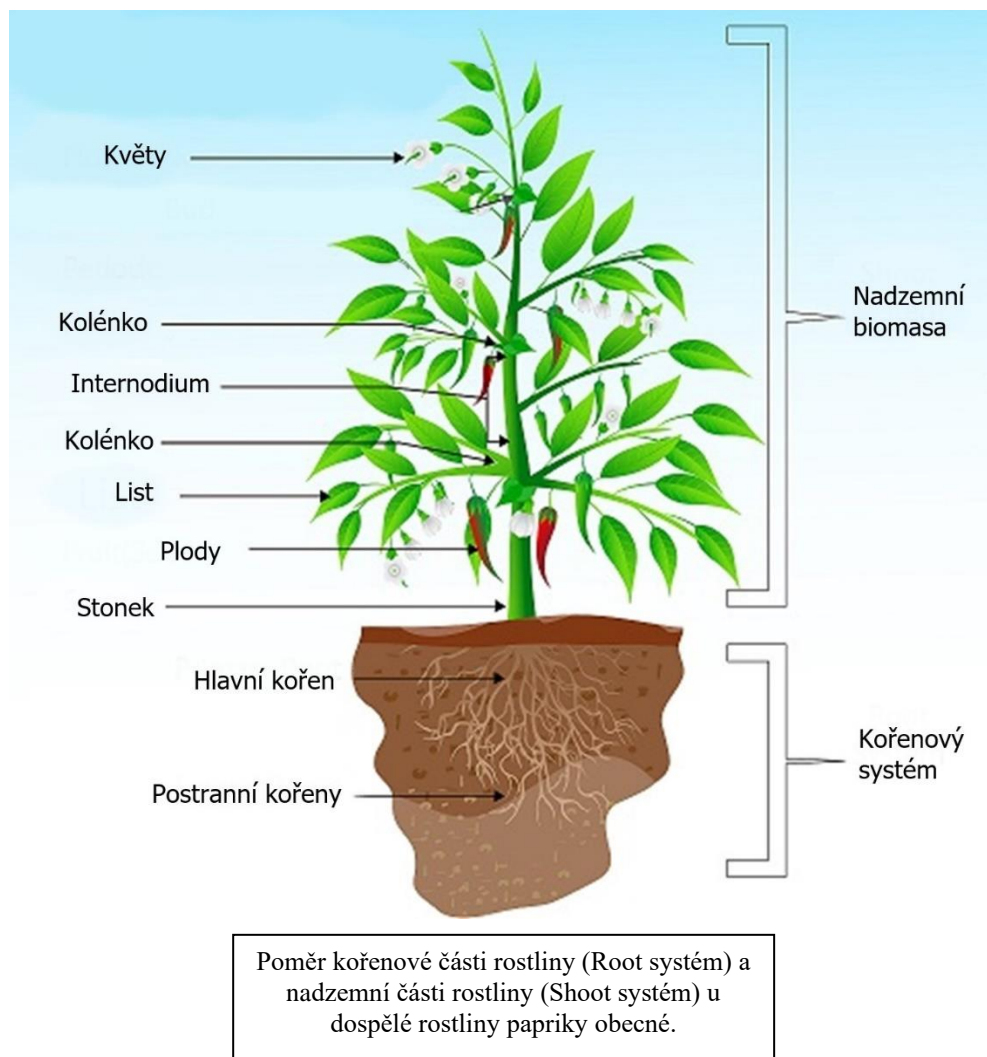
V přírodě se totiž často můžeme setkat s jistou zákonitostí, která se nazývá *principem trade-off*, kterou můžeme do slangového jazyka přeložit jako „něco za něco“. Pokud je organismus upřednostňován v jednom směru a v jednom směru vyniká, pak většinou v jiných směrech musí strádat, jelikož není v silách přírodních zákonitostí zvýhodnit celý organismus jako celek. Pokud tedy rostlina investuje svojí energii do růstu plochy svých listů, pak na druhou stranu kořenový systém zůstává upozaděn (Mihulka a Štorch 2000).

U rostlinných těl je *princip trade-off* nejčastěji uváděn do praxe právě investováním rostliny do podzemních částí rostlin vztažený k investování do nadzemních částí rostlin. Tento vzájemný vztah a poměr je nazýván „root:shoot ratio“ (R:S). V rámci tohoto poměru se tedy jedná o poměr množství nadzemní biomasy rostliny vůči množství podzemní biomasy téže rostliny (RW: Sw), (Mihulka a Štorch 2000), viz obr. 8.

Ve všeobecnějším měřítku může být v tomto porovnávání poměřována kupříkladu délka celkových nadzemních a podzemních orgánů, jejich objem, jejich hmotnost, množství jednotlivých biogenních i minerálních látek v obou částech rostliny, i další různorodé charakteristiky (Abdala et al. 1998).

Tento poměr bývá velmi často sledovanou veličinou biologů, botaniků, zemědělců i lesních hospodářů. Poměr se sleduje zejména u kulturních plodin, u kterých se sleduje, zda se živiny koncentrují do hospodářsky významných orgánů rostlin (semena, bulvy nebo hlízy) nebo zda rostliny správně hospodaří s vodou (Raper et al. 2008).





Obr. 8: Poměr Root: Shoot.  
zdroj: olympiadgenius.com

Růst rostliny představuje výsledek hned několika různých komplexních procesů a dějů. Mezi jednotlivými orgány rostliny existují vzájemné vztahy, které jsou nazývány meziorgánovými růstovými korelacemi. Ve vzájemném růstovém propojení jednotlivých rostlinných orgánů sehrávají významnou roli tzv. fytohormony neboli rostlinné hormony, které se podílejí na koordinovaném chování rostliny jako celku a na vytváření růstových gradientů v rostlině (Šetlík et al. 2015).

Mimoto mají na růst vliv i procesy, ke kterým dochází vlivem vnějšího působení na rostlinu. Jedná se především o koncentraci oxidu uhličitého v rámci okolního prostředí, o dostupnost vody a živin v půdě, o fotosyntézu a respiraci nebo o další vlastnosti okolního prostředí rostliny. Nadzemní biomasa rostliny je schopna díky fotosyntéze přeměňovat příchozí abiotické látky, konkrétně oxid uhličitý a vodu, na jednoduché rostlinné cukry (konkrétně glukózu), které slouží jako stavební kameny pro další růst nadzemních částí rostlin (Perez 2007).

Podzemní části rostlin představují mechanickou oporu nadzemních částí rostlin, díky kterým je rostlina schopna přijímat vodu a potřebné živiny pro svůj růst a vývoj. Pro růst

rostlinných částí je nejdůležitější funkcí kořenového systému to, že přijímá vodu a potřebné živiny (Perez 2007).

Jednoduché cukry (glukóza), které jsou vytvořeny rostlinou během fotosyntézy, jsou následně procesy uvnitř rostlinného těla spojovány v cukry složitější. Tyto složité cukry jsou pak doplňovány potřebnými minerálními látkami a živinami, které přicházejí do rostliny díky kořenovému systému (Perez 2007).

Uvedený autor dále uvádí, že těmito metabolickými procesy vznikají z jednoduchých cukrů vycházejícími z fotosyntézy látky složitější. Biogenní látky jsou pak doplněny o stopová množství různých minerálních látek a potřebných živin.

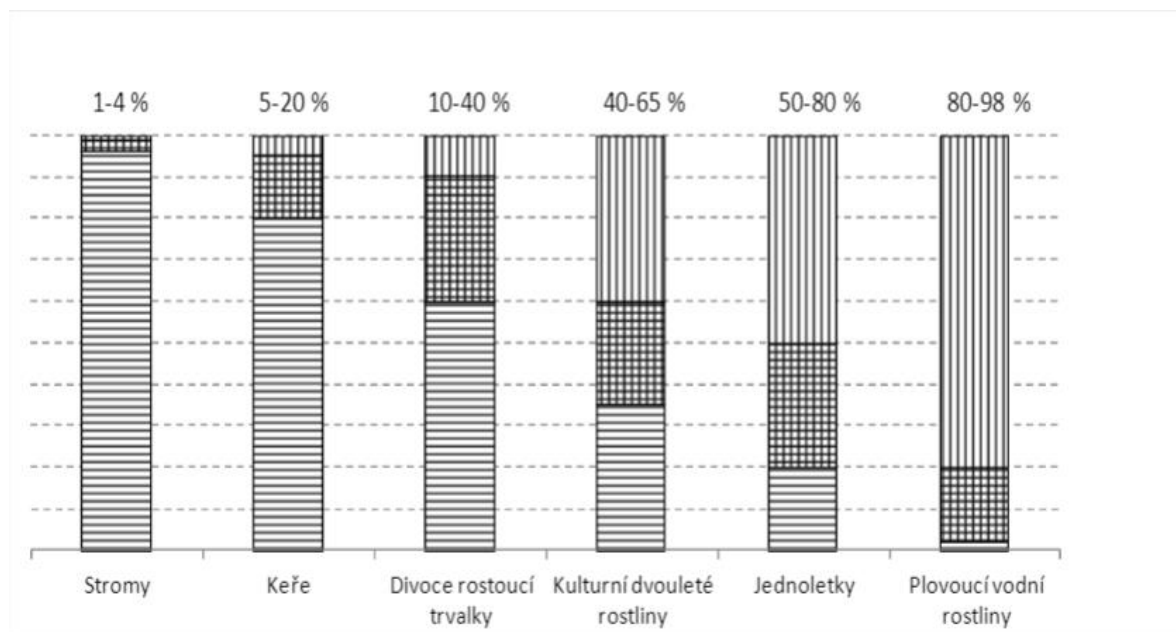
Kořenový systém rostliny musí být v rovnováze s nadzemní částí rostliny, aby byl schopný rostlinu v zemi dobře ukotvit. Již před několika desetiletími přišli vědci na vzájemný vztah, který se vyskytuje mezi vahou kořenového systému, vahou nadzemní části rostliny a výškou této rostliny (Monk 1966).

Poměr Root:Shoot reaguje také na vnější podmínky prostředí, v rámci, kterých se konkrétní rostlina vyskytuje. Obecně se v rámci odborných kruhů uvádí pravidlo, že poměr podzemní a nadzemní části rostlinného těla se zvyšuje směrem od jednoletek, přes vytrvalé byliny, keře, až po dřeviny. Toto pravidlo v praxi znamená, že se vyskytují různé poměry R:S u dřevin v porovnání s jednoletými bylinami, i u dřevin v porovnání například s keři. I u geneticky příbuzných a blízkých druhů se může vyskytovat poměrně rozličný procentuální poměr mezi velikostí jejich podzemní a nadzemní biomasy (Monk 1966).

Investice energie do tvorby nadzemní biomasy (konkrétně do listů) u jednotlivých životních forem rostlin jsou uvedeny v obr. 9.

Od naklíčení semen až po vytvoření semenáčku rostlina investuje energii do tvorby kořenového systému, v tuto chvíli je poměr R:S v jasné převaze pro kořenovou část rostliny. Až v okamžik, kdy je vytvořen kořenový systém, začne rostlina investovat do tvorby svých nadzemních orgánů, a tím se začne poměr R:S nachylovat směrem k nadzemním orgánům rostliny. Tento poměr zvýhodňující nadzemní části rostliny se během postupného vývoje rostliny neustále naklání na stranu právě nadzemních částí rostliny, a to až do období odumírání rostliny (Josefusova et al. 1985).

V rámci generativního období, kdy dojde ke vzniku reprodukčních orgánů dochází v rostlině ke koncentraci veškeré energie právě do nich, i v rámci této vývojové fáze je poměr R:S významně nakloněn ve prospěch nadzemních částí rostlin (Josefusova et al. 1985).



Obr. 7: Investice různých životních forem rostlin do nadzemní biomasy (listů).  
zdroj: docplayer.cz

Poměr Root:Shoot představuje poměrně významnou veličinu pro zhodnocování kvality sazenic a semenáčků, a představuje jeden z hlavních parametrů pro hodnocení ujmavosti a růstu jednotlivých lesních a zemědělských rostlin, ale také hodnotným parametrem pro šlechtění nových druhů (Kupka 2007).

Poměr biomasy v různých částech rostlin je velice variabilní v čase a v rámci života konkrétní rostliny, stejně jako poměr R:S. To, do jaké konkrétní části bude investována energie, a která část rostliny bude v konkrétním období růst, závisí na aktuálním ontogenetickém vývoji rostliny. Konkrétní změny v poměrech jsou spojené s genetickými předpoklady každého druhu (Reynolds a D'Antonio 1996).

To, jak rychle se rostlina vyvíjí a roste, závisí především na podmínkách prostředí, ve kterém se daná rostlina nachází. Počasí a podnebí mohou poměr R:S i samotný vývoj rostliny velice ovlivňovat, přičemž se může jednat jak o vliv krátkodobý, tak i dlouho trvajících. Mimo klimatické podmínky může být růst rostlin, a tím i poměr R:S, značně ovlivněn různými narušeními nebo výkyvy (například množství dusíku v půdě), (Reynolds a D'Antonio 1996). Hnojení dusíkem zvyšuje hmotnost nadzemní biomasy, ale má jen malý efekt na biomasu kořene a poměr R:S ve srovnání s nehnojenou variantou (Sainju et al. 2017).

Skutečnost, že se poměr R:S během růstu rostliny v čase mění, je dokázáno u velkého množství různých druhů rostlin. Výjimku tvoří rostliny, u kterých je důležité hromadění zásobních látek právě v kořenových systémech (hlízy a cibule). Dalším poznatkem je, že poměr R:S v rámci ontogenetického vývoje rostliny je mnohem méně variabilní u dřevin v porovnání s rostlinami. Avšak i u dřevin je sledování této veličiny, poměru velikosti nadzemní části rostliny s tou podzemní, významným faktorem, na základě, kterého můžeme hodnotit kvalitu mladých semenáčků. Pokud disponuje semenáček slabým kořenovým systémem oproti nadzemní části rostliny, pak můžeme predikovat zhoršenou schopnost jeho zakořenění (Kupka 2007).

Jak již bylo zmíněno, veličinu R:S ovlivňuje celá řada různých vnitřních a vnějších faktorů. Mezi ty nejvýznamnější řadíme: obsah a variabilitu přítomných živin v půdním prostředí rostliny, obsah vody v půdě, množství dopadajícího světelného záření, množství oxidu uhličitého, klimatické a podnebné podmínky prostředí (především teplota), mechanické poškození rostliny nebo kořenového systému, reprodukční schopnost rostliny a hormonální rovnováhu uvnitř rostliny. U druhů rostlin využívaných v zemědělské produkci nebo v rámci lesního hospodářství nejvíce ovlivňují vnější podnebné podmínky (Wilson 1988).

## 4 Metodika

Ve skleníkovém pokusu byl sledován vliv genotypu na tvorbu sušiny ve vybraných růstových fázích na rostlinách pšenice seté. Celkem bylo uskutečněno 5 odběrů po 5 opakování.

### 4.1 Použitý rostlinný materiál

Zemědělský výzkumný ústav v Kroměříži poskytl jednotlivé genotypy jarní pšenice. Pro účely pokusu bylo celkem vybráno osm genotypů s odlišným zbarvením obilky a morfotypem plasu. Velká část genotypů nebyla předána k odrůdovým zkouškám, tudíž se jedná o novošlechtění.

| Genotyp            | Druh                     | Charakteristika   |
|--------------------|--------------------------|---|
| ANBW 6A/ANK-26B    | <i>Triticum aestivum</i> | bílé zrnko, mnohořadý klas, nekompaktní klas, bez ojínění |
| ANBW 6A/ANK-38     | <i>Triticum aestivum</i> | bílé zrnko, mnohořadý klas, kompaktní klas, s ojíněním    |
| ANBW2N             | <i>Triticum aestivum</i> | dlouhá pleva  |
| ANDW 20A           | <i>Triticum durum</i>    | modrý aleuron   |
| ANK-1B             | <i>Triticum aestivum</i> | červené zrnko   |
| ANK-28A            | <i>Triticum aestivum</i> | purpurový perikarp  |
| LD222              | <i>Triticum aestivum</i> | recipient 01C0205346                                      |
| Novosibirskaaya 67 | <i>Triticum aestivum</i> | bílé zrnko, tetraploidní                                  |

### 4.2 Založení pokusu

Pokus byl založen v částečně řízených podmínkách se zachováním přirozeného světelného režimu ve skleníku KBFR FAPPZ. Substrát Hawita profesional Uni 20 byl vložen do nádob o objemu 5 l.

Substrát obsahoval následující živiny v příslušném množství:  $\text{NH}_4\text{-N} + \text{NO}_3\text{-N}$  50-300 mg/kg;  $\text{P}_2\text{O}_5$  80-300 mg/kg;  $\text{K}_2\text{O}$  80-400 mg/kg.

Do každé z nádob se vyselo 8 semen a následně zalilo 250 ml vody. Během vývoje rostlin proběhla dne 11.6 aplikace přípravku Agri CCC (regulátor růstu) v dávce 0,75 ml/l + hnojení 3% roztokem NPK a 0,3% roztokem MgO. Dále se dne 28.6. a 4.7. aplikoval přípravek Bayleton FLO (fungicid proti padlí) v dávce 1 g/l. V rámci ontogenetického vývoje se celkem uskutečnilo 5 odběrů v následujících vývojových fázích viz tab. 1.

| Datum     | BBCH            |
|-----------|-----------------|
| 20.5.2019 | Založení pokusu |
| 14.6.2019 | 47              |
| 25.6.2019 | 55              |
| 11.7.2019 | 65              |
| 24.7.2019 | 75              |
| 27.8.2019 | 89              |

## **4.3 Měření fyziologických charakteristik**

### **4.3.1 Stanovení sušiny**

Vzorky rostlin byly odebírány v následujících vývojových fázích: 47; 55; 65; 75; 89 DC. Následně byly rostliny rozděleny na nadzemní část, zvláště praporcový list a kořeny. Odebíralo se celkem 8 rostlin, při zachování 5 opakování. Odebraný rostlinný materiál se sušil v sušárně při teplotě 80 °C do konstantní hmotnosti. Jednotlivé orgány byly poté váženy s přesností na 2 desetinná místa. Hmotnost byla stanovena v gramech.

### **4.3.2 Výpočet poměru R:S**

Poměr kořenů a nadzemní biomasy (R:S) byl vypočítán pomocí následující rovnice:

$$R/S = RB/AB$$

kde RB je kořenová biomasa a AB je nadzemní biomasa. V tomto experimentu byl R/S získán ve fázi BBCH: 47; 55; 65; 75; 89.

### **4.3.3 Vyhodnocení výsledků**

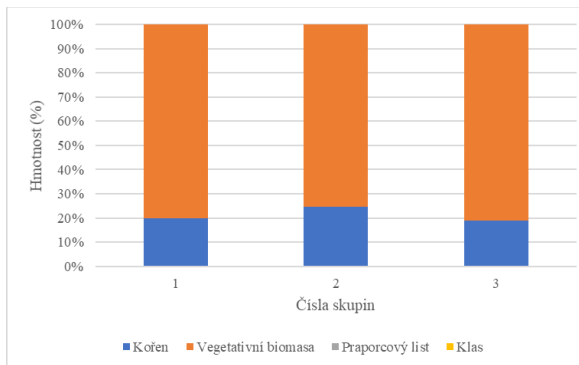
Naměřené výsledky byly statisticky vyhodnoceny a zpracovány pomocí počítačového softwaru STATISTICA 12 (StatSoft CR s.r.o.). Pro statistické zpracování dat v programu STATISTICA 12 byla použita metoda ANOVA (vícefaktorová analýza rozptylu). Data byla testována při hladině významnosti  $\alpha=0,05$ .

## 5 Výsledky

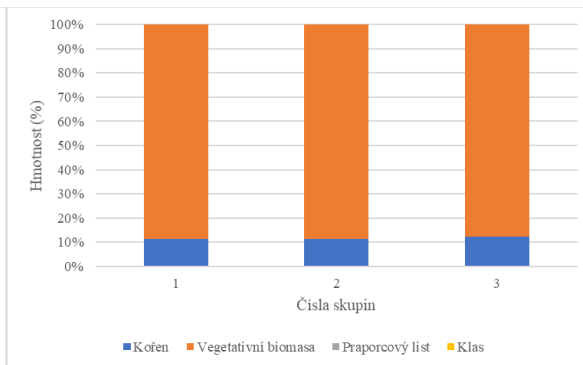
V rámci ontogenetického vývoje byl sledován vliv genotypu na tvorbu sušiny v důležitých růstových fázích vybraných osmi genotypů pšenice seté.

| Skupina | Genotyp           |
|---------|-------------------|
| 1       | ANK-1B            |
|         | ANK-28A           |
|         | NOVOSIBIRSKYA-67A |
| 2       | ANBW2N            |
|         | ANBW-6A/ ANK-26B  |
|         | ANBW-6A/ ANK-38   |
| 3       | ANDW-20A          |
|         | LD222             |

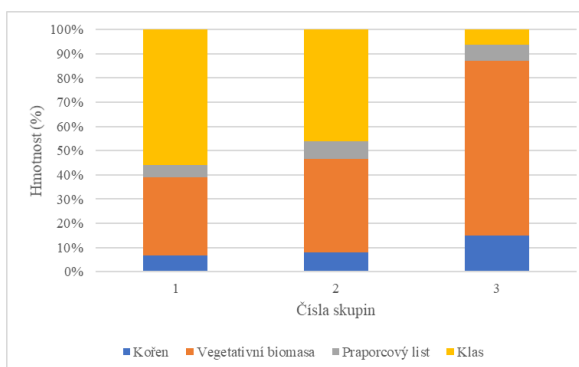
Tab. 1: Rozdělení genotypů na jednotlivé skupiny podle celkové hmotnosti (v suché biomase) ve fázi 89. DC



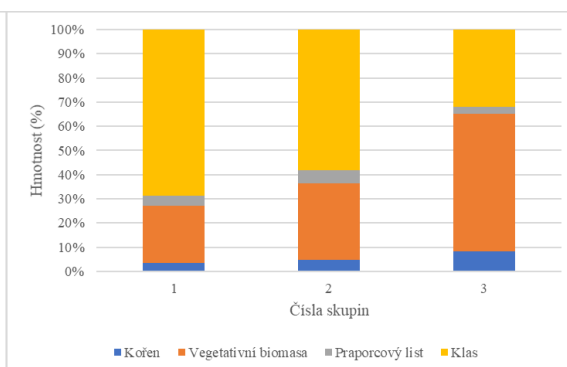
Graf 1: Zastoupení jednotlivých rostlinných orgánů ve vývojové fázi 47. DC.



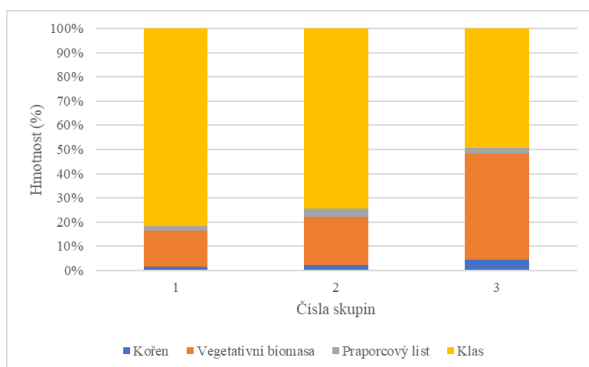
Graf 2: Zastoupení jednotlivých rostlinných orgánů ve vývojové fázi 55. DC.



Graf 3: Zastoupení jednotlivých rostlinných orgánů ve vývojové fázi 65. DC.



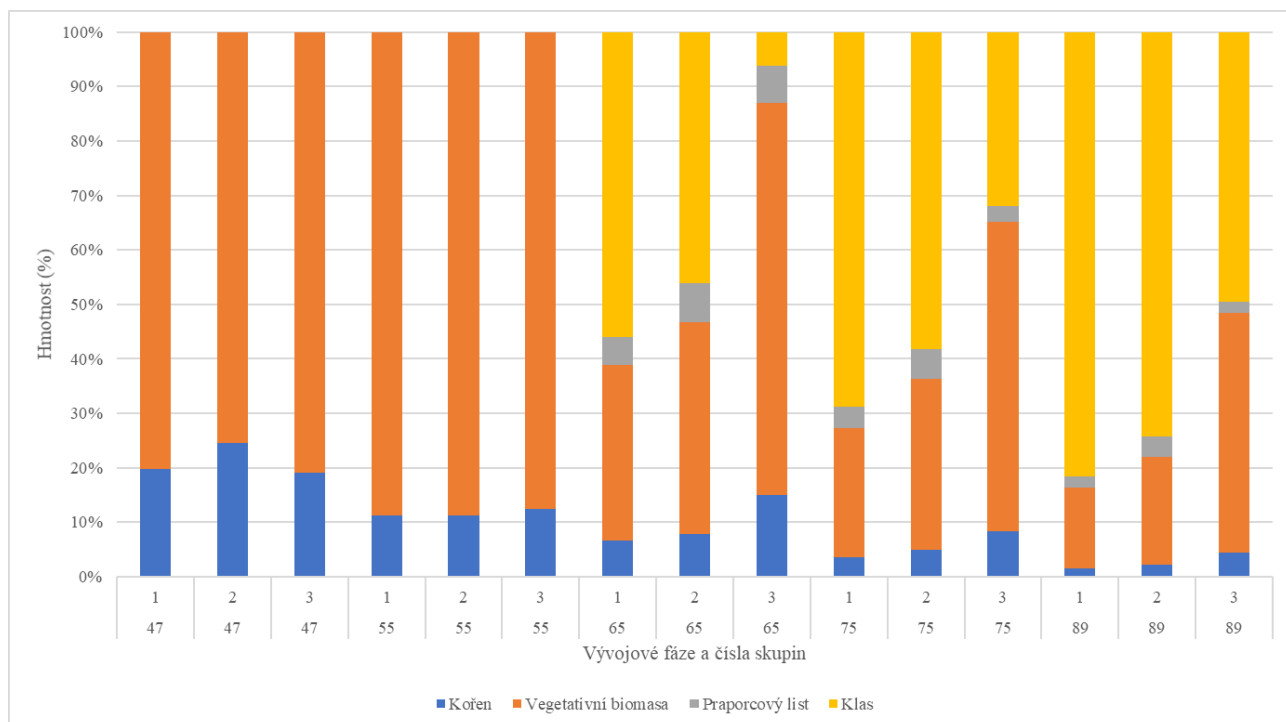
Graf 4: Zastoupení jednotlivých rostlinných orgánů ve vývojové fázi 75. DC.



Graf 5: Zastoupení jednotlivých rostlinných orgánů ve vývojové fázi 89. DC.

Graf 1 až 5 znázorňuje podrobný zastoupení jednotlivých rostlinných orgánů ve jednotlivých fázích odběrů.





Graf 6: Souhrn všech skupin genotypů v daných růstových fázích a její zastoupení v procentech.

Jak je patrné z grafu 6, u vývojové fáze 47 měla skupina 2 nejvyšší procentuální zastoupení hmotnosti kořenů (0,043 g). Skupina 1 a 3 měla hmotnost kořenů kolem 20 % (0,039 g a 0,029 g).

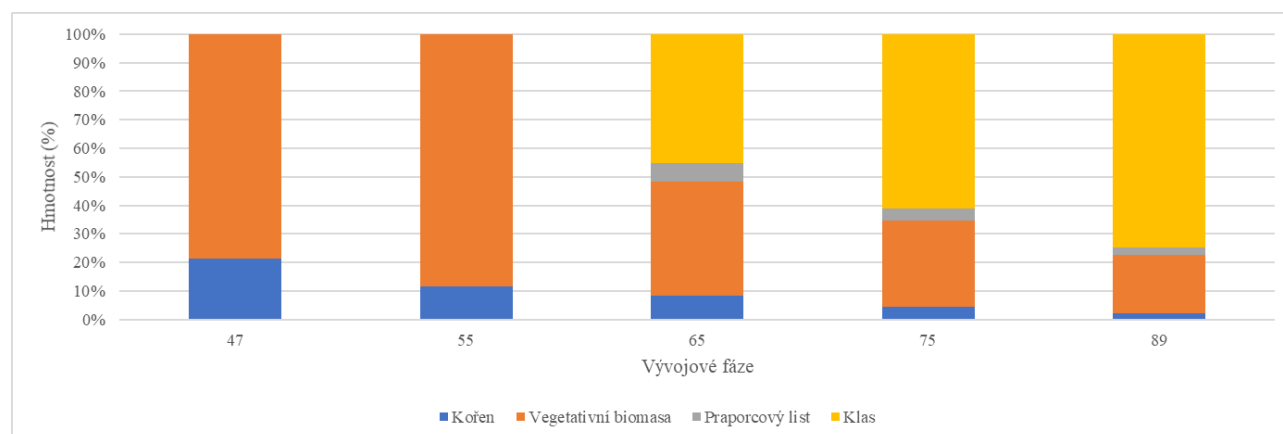
Ve vývojové fázi 55 měly všechny skupiny přibližně stejný poměr kořene ku nadzemní biomase (10 % kořen, 90 % nadzemní biomasa).

Ve fázi 65 měla nejvyšší podíl klasu skupina 1, která měla také nejnižší podíl kořenů. Druhá skupina měla také podobně jako skupina první vyvinutý klas. Nejméně vyvinutý praporcový list měla skupina 3. skupina 1 a 2 měla praporcový list přibližně stejné hmotnosti (0,078 g a 0,097 g).

Ve fázi 65 je patrný rozdíl mezi skupinou 1 a 3, a to zejména v přesunu asimilátů do klasů. Kde skupina 1 začíná vytvářet v poměrně rozsáhlém procentuálním poměru klasu, kdežto skupina 3 stále drží asimiláty ve stéble, praporcovém listu, a především v kořenu, kde také má nejvyšší zastoupení ze všech skupin v dané fenofázi.

Ve fázi 75 je patrný u všech skupin pokles hmotnosti kořene, a to o cca 40 % z předchozího odběru. Dále je zde patrný stálý přesun asimilátů u skupiny 1, kde hmotnost klasu tvoří přes 70 % hmotnosti celé rostliny. Jak je patrné z grafu 7, skupina 2 se z pohledu nálévání zrn pohybuje pod průměrem.

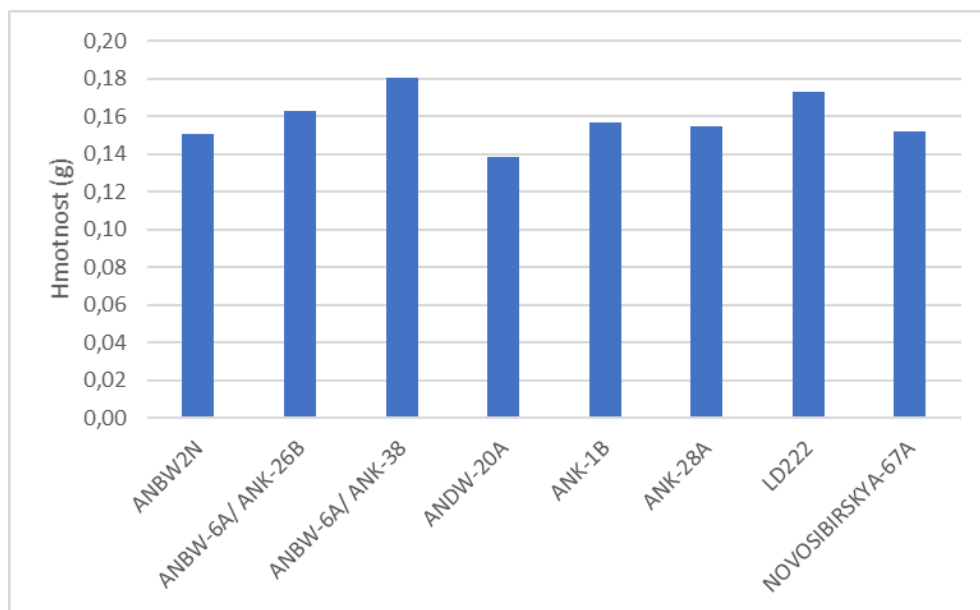
Ve fázi 89 je větší část asimilátů již přesunuta do nadzemní biomasy, a to zejména klasů. Zde je patrné, že 3. skupina má cca poměr 51 % sláma a 49 % klas. To svědčí o tom, že tyto genotypy jsou spíše pro produkci nadzemní biomasy než pro produkci zrna. Skupina 1 se z hlediska výnosového potenciálu zrna jeví jako nevhodnější.



Graf 7: Procentické zastoupení rostlinných orgánů ve fázích odběru u všech testovaných genotypů.

V grafu 7 je výrazně patrný trend úbytku hmotnosti kořenů a ve fázi 65. DC je zaznamenán přesun asimilátů do generativních orgánů. Hmotnost praporcového listu s postupným dozráváním rostliny ubývá. Tento trend je způsoben senescencí rostliny.

Dále z grafu 7 vyplývá, že pšenice má fotosyntézu především listového typu, kde hlavním zdrojem asimilátů je praporcový list. Lze pozorovat jeho výrazný nárůst v období kvetení. Tvorba generativních orgánů začíná v období metání a kvetení. Tedy ve fázích 55-65. DC. Hmotnost klasů se postupně zvyšuje na úkor vegetativních orgánů.



Graf 8: Poměr R:S rostlin pšenice seté, vybrané genotypy

V grafu 8 jsou uvedeny průměrné hodnoty poměru R:S a jeho změny v rámci sledovaných genotypů pšenice. Z uvedeného grafu je patrné, že poměr R:S byl nejnižší u genotypu ANDW20A (0,14 g) a naopak nejvyšší u ANBW-6A/ ANK-38 (0,18 g). Na základě hodnot R:S je možné sledované genotypy rozdělit do tří dílčích skupiny, kdy první skupina je představována genotypy ANBW-6A/ANK-38 a LD222, kdy průměrná hodnota R:S byla 0,18 g.

Druhou skupinu představují genotypy, jejichž průměrná hodnota R:S je 0,16 g. Do této skupiny je možné zařadit ANBW2N, ANBW-6A/ ANK-26B, ANK-1B, NOVOSIBIRSKYA-67A. U těchto genotypů byla charakteristická jedna z nejvyšších hmotností nadzemní biomasy, a to zejména listů. Třetí skupinu zahrnuje genotyp ANDW-20A, který měl nejnižší hodnotu poměru R:S v rámci sledované skupiny genotypů. V tomto případě 0,15 g. Na základě získaných dat je možné konstatovat, že jako perspektivní genotyp s vyšší odolností vůči suchu se na základě poměru R:S jeví ANDW20-A

## 6 Diskuse

### 6.1 Tvorba sušiny

Z výsledku je patrné, že v průběhu ontogenetického vývoje, se snižuje sušina kořenu. Tento trend popisuje ve své práci Reynolds et al. (2012). Uvedený závěr vychází ze změny translokace asimilátů v rámci rostlinného těla, tedy postupnou translokací asimilátů do nadzemní biomasy, především generativních orgánů. Mění se proto vztah sink a source, jak také ve své práci uvádí např. Šerá (2013).

V případě sušiny nadzemních vegetativních orgánů je možné konstatovat, že množství sušiny narůstá do fáze plného kvetení 65. DC, což zároveň souvisí s postupným nárůstem asimilátů a jejich translokace do budoucích generativních orgánů. Uvedený závěr potvrzují Hnilička et al. (2005). Podobný závěr v rámci rychlosti fotosyntézy a transportu asimilátů také uvádí Monk (1966). V tomto období dochází také k maximální rychlosti fotosyntézy, jak ve své práci uvádí Sharma et al. (2012)

V následujících vývojových fázích dochází postupně vlivem senescence ke ztrátě listů opadem a odumíráním a tím dochází ke snižování sušiny z nadzemní biomasy ke konci vegetace. Uvedený závěr byl potvrzen také v práci Zimolky et al. (2005),

Vzhledem k tomu, že pšenice má fotosyntézu především listového typu, je významným zdrojem asimilátů praporcový list, kdy jeho hmotnost výrazně narůstá v období kvetení. Jak dokládá práce Evans (1983). Uvedený závěr také potvrzují výsledky všech 3 skupin pšenic. Změny hmotnosti sušiny praporcového listu se snižuje také v průběhu ontogenetického vývoje s ohledem na jeho stárnutí. Zároveň se mění také transport asimilátů. Tyto závěry jsou v souladu s prací Miloud & Ali (2020).

Tvorba generativních orgánů začíná v období metání a kvetení. Tedy ve fázích 55-65. DC. Kdy postupně do vznikajících klasů s klásky a obilkami jsou transportovány asimiláty vznikající nejen v praporcovém listu, ale i v listech dalších. Díky čemuž se jejich hmotnost postupně zvyšuje na úkor vegetativních orgánů. Tento závěr potvrzuje Zimolka et al. (2005).

Významný vliv na tvorbu sušiny kořenů a nadzemních orgánů má také genotyp. Na základě získaných výsledků byl sortiment sledovaných genotypů pšenic rozdělen do 3 skupin podle celkové hmotnosti (v suché biomase) ve fázi 89. DC. Změny translokace asimilátů v rámci meziodrůdových či mezidruhových rozdílů potvrzují práce Capouchové (2021), Martinka et al. (2012) a Hniličky et al. (2005).

V případě vyšší tvorby nadzemních vegetativních orgánů (slámy), je možné konstatovat, že tyto genotypy vycházejí z krajových odrůd nebo přesívkových forem, kde vyšší podíl sušiny tvoří především sláma. Jak dokládají Hnilička et al. (2005) ve své práci.

## 6.2 Poměr R:S

R:S poměr udává i korelační vztah mezi růstem nadzemní biomasy a kořenového systému a je významným ukazatelem reakce rostlin na vnější podmínky. Toto tvrzení potvrzuje Šerá (2013), obdobně jako v případě tvorby sušiny nadzemních orgánů a kořenů je zde patrný vliv ontogenetického vývoje, kdy uvedený poměr se mění v závislosti na postupné senescenci nadzemních orgánů a omezeného transportu asimilátu do kořenového systému. Uvedený závěr potvrzují ve své práci Distelfeld et al. (2014).

Tento trend je v souladu s korelačními vztahy mezi jednotlivými orgány a jejich reakcí na podmínky i vnějšího prostředí, jak dokládá například práce Šerá (2013). Zároveň byly potvrzeny mezigenotypové rozdíly v poměru R:S, kdy byly rostliny opět rozděleny do tří skupin, v nichž 3 skupina je nejnižším poměrem R:S se jeví jako tolerantní k vodnímu deficitu vzhledem k uspořádání nadzemní biomasy a kořenového systému.

Jako nejméně perspektivní vzhledem k nárůstu nadzemní biomasy vůči kořenovému systému se jeví skupina první, kdy tyto rostliny vykazují vyšší podíl slámy na úkor kořenového systému, který by tyto rostliny nebyl schopen zásobovat vodou a živinami v období jejího nedostatku. Meziodrůdové rozdíly ve své práci potvrzují Středa et al. (2012). Využití poměru R:S ve šlechtění jako jednoho z významných markerů, doporučuje Šerá (2013).

## 7 Závěr

V pokusu byl sledován vliv genotypu na tvorbu sušiny ve vybraných růstových fázích pšenice seté. Ze získaných výsledků vyplývají následující závěry:

- Byl potvrzen vliv ontogenetického vývoje na tvorbu sušiny kořenů a nadzemní biomasy u všech sledovaných genotypů, kdy nejnižší množství biomasy bylo ve fázi 47. DC a nejnižší 89. DC.
- Během ontogenetického vývoje dochází ke změnám zastoupení jednotlivých rostlinných orgánů v rámci sušiny, kdy na počátku vegetace převažují kořeny a nadzemní část.
- Ve fázi kvetení je pozorovatelný úbytek kořenové hmoty a část biomasy slámy je převedena do praporcového listu a tvořících se generativních orgánů.
- Na konci sledovaného období tvoří nejnižší podíl na celkové sušině kořenový systém a nejvyšší klasy.
- Byl potvrzen mezigenotypový vliv na tvorbu sušiny, kdy je možné genotypy rozdělit do 3 skupin:
  - 1) ANK-1B (červené zrno), ANK-28A (purpurový perikarp), NOVOSIBIRSKYA-67A (bílé zrno, tetraploidní)
  - 2) ANBW2N (dlouhá pleva), ANBW-6A/ ANK-26B (bílé zrno, mnohořadý klas, nekompaktní klas, bez ojínění), ANBW-6A/ ANK-38 (bílé zrno, mnohořadý klas, kompaktní klas s ojíněním).
  - 3) ANDW-20A (modrý aleuron), LD222 (recipient 01C0205346).
- Poměr root shoot je významným ukazatelem vůči stresorům. Jako perspektivní se vůči vodnímu deficitu ANDW-20A a nejméně perspektivní ANBW-6A/ ANK-38
- Byla potvrzena hypotéza, že genotyp ovlivňuje tvorbu sušiny jednotlivých orgánů rostlin.
- Byly potvrzeny rozdíly v tvorbě sušiny listového aparátu v rámci genotypů, kdy ve fázi 75. DC měla nejnižší hmotnost praporcového listu genotyp LD222 (0,026 g) a nejvyšší hmotnost měl genotyp NOVOSIBIRSKYA-67A (0,109 g).
- Byla potvrzena hypotéza o vlivu ontogenetického vývoje.

## 8 Literatura

ABDALA, GC, CALDAS, LS, HARIDASAN, M. 1998. Above and belowground organic matter and root:shoot ratio in a cerrado in central Brasil. *Braz. J. Ecol.*, Vol. 2,

ABDEL-AAL M. El-Sayed, Pierre HUCL a Iwona RABALSKI. 2018. Compositional and antioxidant properties of anthocyanin-rich products prepared from purple wheat. In: *Food Chemistry.*, 254, s. 13–19

ADAMS, A. 2014. GMO alert: Eating GM wheat may destroy your liver, warn scientists [online]. Dostupné z: [https://www.naturalnews.com/037170\\_gm\\_wheat\\_liver\\_failure\\_gmo.html](https://www.naturalnews.com/037170_gm_wheat_liver_failure_gmo.html)

ALIEV, J. A., 2010: Physiological bases of wheat breeding tolerant to water stress. In: Z. Bedo, and L. Lang, eds. *Wheat in a Global Environment. Proceedings of the 6th international wheat conference, Budapest, Hungary*, pp. 693–698.

ASSAF DISTELFELD, RAZ AVNI, FISCHER A. M., Senescence, nutrient remobilization, and yield in wheat and barley, *Journal of Experimental Botany*, Volume 65, Issue 14, July 2014, Pages 3783–3798,

BARKER, AV, PILBEAM, DJ. 2007. *Handbook of plant nutrition*. Boca Raton, FL: CRC/Taylor Francis.

BLÁHA, L, KÁLALOVÁ, S, ŠIMON, T, PIVA, G. 2004. Evaluation of soybean root system –influence of different seed provenance. *Scientia Ag riculturae Bohemica*, Vol. 35.

BOLLARD, EG. 1993. Involvement of unusual elements in plant growth and nutrition. In *Encyclopedia of Plant Physiology, New Series Vol. 15B, Inorganic Plant Nutrition*.

BORCHERT, R. 1994. Soil and Stem Water Storage Determine Phenology and Distribution of Tropical Dry Forest Trees. *Ecology*. Vol. 75, No. 94.

BROWN, T, a kolektiv. 2009. The complex origins of domesticated crops in the Fertile Crescent. *Trends in Ecology & Evolution*. 24(2), s. 103-109.

BYNG, JW, a kolektiv. 2016. (The Angiosperm Phylogeny Group). An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV. S. 1–20. *Botanical Journal of the Linnean Society*. 181(1), s. 1–20.

CALDERINI, D. F., M. P. REYNOLDS, and G. A. SLAFER. 2016. Genetic gains in wheat yield and associated physiological changes during the twentieth century. In: E. H. Satorre, and G. A. Slafer, eds. *Wheat: Ecology and Physiology of Yield Determination*, pp. 351–377.

CAPOUCHOVÁ I. 2021. Nové výsledky zkoušení odrůd ozimé pšenice pro ekologické zemědělství. Kurent, s.r.o., České Budějovice. Available from <https://www.agromanual.cz/cz/clanky/ochrana-rostlin-a-pestovani/osivo-a-sadba-1/nove-vysledky-zkouseni-odrud-ozime-psenice-pro-ekologicke-zemedelstvi> (accessed January 2022).

ČURN, V. 2017. Šlechtění zemědělských plodin [online]. Dostupné z: [http://biocentrum.zf.jcu.cz/docs/ruzne/ruz-SL\\_zem-cf872dc160.pdf](http://biocentrum.zf.jcu.cz/docs/ruzne/ruz-SL_zem-cf872dc160.pdf)

DIVIŠ, J. a kolektiv. 2010. Pěstování rostlin, Jihočeská Univerzita v Českých Budějovicích, Zemědělská fakulta, ISBN: 978-80-7394-216-8, 260 s.

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

EVANS JR. Nitrogen and Photosynthesis in the Flag Leaf of Wheat (*Triticum aestivum* L.), *Plant Physiology*, Volume 72, Issue 2, June 1983, Pages 297–302, <https://doi.org/10.1104/pp.72.2.297>

FAOSTAT, 2013. Celosvětová produkce pšenice [online]. Dostupné z: [www.faostat.fao.org](http://www.faostat.fao.org)

FAOSTAT, 2018. Celosvětová produkce pšenice [online]. Dostupné z: [www.faostat.fao.org](http://www.faostat.fao.org)

FAOSTAT, 2019. Celosvětová produkce pšenice [online]. Dostupné z: [www.faostat.fao.org](http://www.faostat.fao.org)

FAOSTAT, 2020. Celosvětová produkce pšenice [online]. Dostupné z: [www.faostat.fao.org](http://www.faostat.fao.org)

GARG, M., CHAWLA, M., CHUNDURI, V., KUMAR, R., SHARMA, S., SHARMA, N. K., KAUR, N., KUMAR, A., MUNDEY, J.K., SAINI, M.K., SINGH, S. P. 2016. Transfer of grain colors to elite wheat cultivars and their characterization. *Journal of Cereal Science*, 71: 138-144.

GRYSON, N. 2010. Effect of food processing on plant DNA degradation and PCR-based GMO analysis: a review. *Anal Bioanal Chem* (2010) 396:2003–2022.

HANZALOVÁ, A, PALICOVÁ, J. 2017. Významné listové choroby pšenice [online]. Dostupné z: <https://www.agromanual.cz/cz/clanky/ochrana-rostlin-a-pestovani/choroby/vyznamne-listove-choroby-psenice>

HENDRIKS, P. W., KIRKEGAARD, J. A., LILLEY, J. M., GREGORY, P. J., REBETZKE, G. J. 2016. A tillering inhibition gene influences root–shoot carbon partitioning and pattern of water use to improve wheat productivity in rainfed environments. *Journal of Experimental Botany*, 67 (1): 327-340.

HNILÍČKA, F., PETR, J., HNILÍČKOVÁ, H., MARTINKOVÁ, J. 2005. The yield formation in the alternative varieties of wheat. *Czech Journal of Genetics and Plant Breeding*, 41 (supplement): 295–301.

CHARMET, G. 2003. Wheat domestication: Lessons for the future. *Comptes Rendus Biologies*. (334): 3, s. 212–220.

JOSEFUSOVA, Z, OPATRA, J, PAVLOVA, L.1985. Root1shoot correlation linked with photoperiodic floral induction in *Chenopodium rubrum* L. *Biol. Plantarum*, Vol. 27.

KUCHTÍK, F., et al. 2005. Pěstování rostlin: speciální část. Třebíč: Vydavatelství Petr Večeřa. Pšenice obecná, 80 s. ISBN 80-901789-7-9



- KUPKA, I. 2007. The root:plant ratio changes in the first growing periods of wild cherry (*Prunus avium* L.) plantations. *J. Forest Sci.*, Vol. 53.
- LACHMAN, J., MARTINEK, P., KOTÍKOVÁ, Z., ORSÁK, M., ŠULC, M. 2017. Genetics and chemistry of pigments in wheat grain—A review. *Journal of Cereal Science*, 74, 145-154.
- LAJSEK, P., TURNA, T. 2021. Evropa čeká rekordní úrodu pšenice [online]. Dostupné z: <https://www.colosseum.cz/blog/zpravodajstvi/evropa-ceka-rekordni-urodu-psenice.html>
- LARCHER, W. 1988. *Fyziologická ekologie rostlin*. Academia, Praha.
- LATRASSE, D. 2016. Plant Programmed Cell Death. *Journal of Exp. Botany* 67: 5887.
- MARTINEK P, ŠKORPÍK M, CHRPOVÁ J, FUČÍK P. 2012. Scorpion-odrůda ozimé pšenice s modrým zrnem. *Obilnářské listy* 3:78-79.
- MIHULKA, S, ŠTORCH, D. 2000. Úvod do současné ekologie. Portál.
- MILOUD, H., & ALI, G. 2020. Leaf Senescence in Wheat: A Drought Tolerance Measure. In A. Gonzalez, M. Rodriguez, & N. G. Sağlam (Eds.), *Plant Science - Structure, Anatomy and Physiology in Plants Cultured in Vivo and in Vitro*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.89500>.
- MONK, C. 1966. Ecological importance of root/shoot ratios. *Bull. Torr. Bot. Club*, Vol. 93.
- MUSILOVÁ Milena et al. 2013. Genetic variability for coloured caryopses in common wheat varieties determined by microsatellite markers. In: *Czech Journal of Genetics and Plant Breeding*. 49(No. 3), s. 116–122.
- MWADZINGENI, L., SHIMELIS, H., DUBE, E., LAING, M. D., TSILO, T. J. 2016. Breeding wheat for drought tolerance: Progress and technologies. *Journal of Integrative Agriculture*, 15 (5), 216: 935-943.
- MZ ČR. 2016. Geneticky modifikované potraviny a krmiva [online]. Dostupné z: [https://www.bezpecnostpotravin.cz/UserFiles/File/Publikace/MZe\\_letak-GMO.pdf](https://www.bezpecnostpotravin.cz/UserFiles/File/Publikace/MZe_letak-GMO.pdf)
- PEREZ, JMP. 2007. Hormone signalling and root development: an update on the latest *Arabidopsis thaliana* research. *Functional Plant Biology*, Vol. 34.
- PŘÁŠIL Ilja Tom, et al. 2018. Sucho a reakce pšenice [online]. Dostupné z: <https://www.agromanual.cz/cz/clanky/technologie/sucho-a-reakce-psenice>
- PŘIBÍK, O. 2020. Argentina jako první země na světě schválila pěstování GM pšenice [online]. Dostupné z: <https://zemedelec.cz/argentina-jako-prvni-zeme-na-svete-schvalila-pestovani-gm-psenice/>
- RAPER, CD, OSMOND, DL, WANN, M. 2008. Interdependence of root and shoot activities in determining nitrogen uptake of roots. *Bot. Gazette*, Vol. 139.

REYNOLDS MP, PASK ADJ, MULLAN DM. 2012. *Physiological Breeding I: Interdisciplinary Approaches to Improve Crop Adaptation*. CIMMYT, Mexico.

REYNOLDS, HL, D'ANTONIO, C. 1996. The ecological significance of plasticity in root weight ratio in response to nitrogen: opinion. *Plant Soil*, Vol. 185.

SAINJU, U. M., ALLEN, B. L., LENSSEN, A. W., GHIMIRE, R. P. 2017. Root biomass, root/shoot ratio, and soil water content under perennial grasses with different nitrogen rates. *Field Crops Research*, 210,: 183-191.

SARTO, M. V. M., SARTO, J. R. W., RAMPIM, L., ROSSET, J. S., BASSEGIO, D., DA COSTA, P. F., INAGAKI, A. M. 2017. Wheat phenology and yield under drought: a review. *Australian Journal of Crop Science*, 11 (8): 941.

SKOUPÝ, R. 2019. Odolnost pšenice proti významným chorobám [online]. Dostupné z: <https://www.biotrin.cz/odolnost-psenice-proti-vyznamnym-chorobam/>

STŘEDA T, DOSTÁL V, HORÁKOVÁ V, CHLOUPEK O. 2012. Effective use of water by wheat varieties with different root system sizes in rain-fed experiments in Central Europe. *Agricultural Water Management* 104:203-209.

SZIF. 2021. Zpráva o trhu obilovin, olejnin a krmiv online]. Dostupné z: [https://www.szif.cz/cs/CmDocument?rid=%2Fapa\\_anon%2Fcs%2Fzpravy%2Ftis%2Fzpravy\\_o\\_trhu%2F05%2F1636012784535.pdf](https://www.szif.cz/cs/CmDocument?rid=%2Fapa_anon%2Fcs%2Fzpravy%2Ftis%2Fzpravy_o_trhu%2F05%2F1636012784535.pdf)

ŠERÁ B. 2013. Jak funguje poměr „Root:Shoot“. Pages 65-73 in Bláha L., Šerá B. editors. *Význam celistvosti rostliny ve výzkumu, šlechtění a produkci*. Výzkumný ústav rostlinné výroby, Praha.

ŠETLÍK, L, a kolektiv. 2015. *Fyziologie rostlin* [online]. Dostupné z: <https://web.natur.cuni.cz/biochem/kucera/rostliny/is/kap01.pdf>

ŠPALDON, E. a kolektiv. 1982. *Rostlinná výroba, Příroda*, Bratislava, 628 s.

UREŠOVÁ, D. 2017. Aktuální odolnost pšenice k chorobám [online]. Dostupné z: <https://uroda.cz/aktualni-odolnost-psenice-k-chorobam/>

VACKE, J. 2012. K nebezpečnému výskytu viróz na obilninách v letošním roce. *Rostlinolékař* 5/2012: 6-7.

VINCENT, H, a kolektiv. 2013. A prioritized crop wild relative inventory to help underpin global food security. *Biological Conservation*. 167(3), s. 265-275.

VODRÁŽKA, Z. 1993. *Biochemie 3*. Praha: Academia, ISBN: 80-200-0471-8.

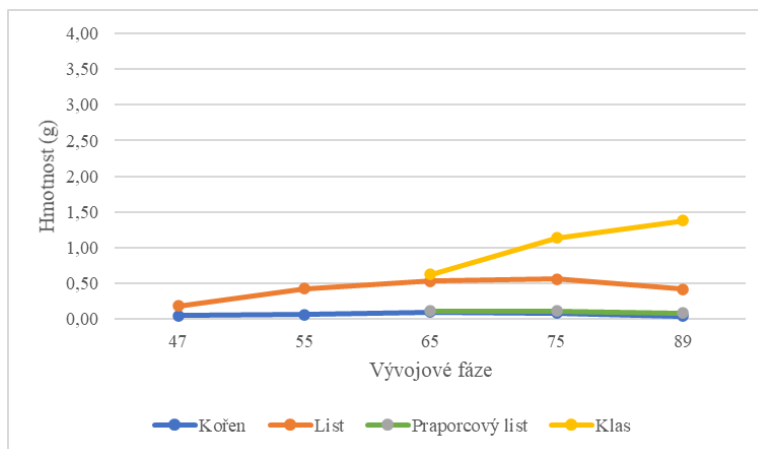
WILSON, JB. 1988. A review of evidence on the control of shoot:root ratio, in relation to models. *Ann. Bot.*, Vol. 61.

ZEDER, MA. 2011. The Origins of Agriculture in the Near East. *Current Anthropology*. 52(4), s. 221-235.

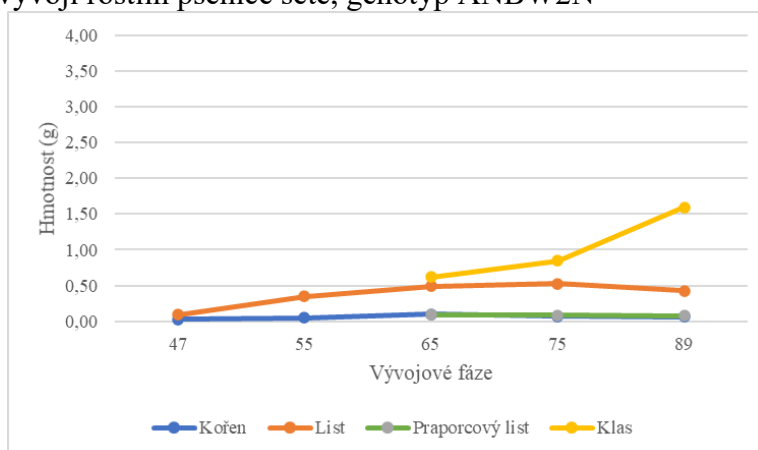
ZIMOLKA, J. a kolektiv. 2005. Pšenice, pěstování, hodnocení a užití zrna, ProfiPress, Praha, ISBN: 80-86726-09-6, 180 s.



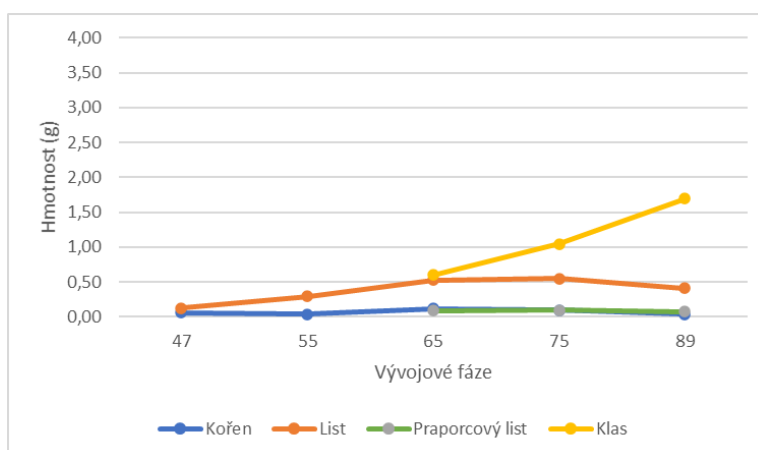
## 9 Samostatné přílohy



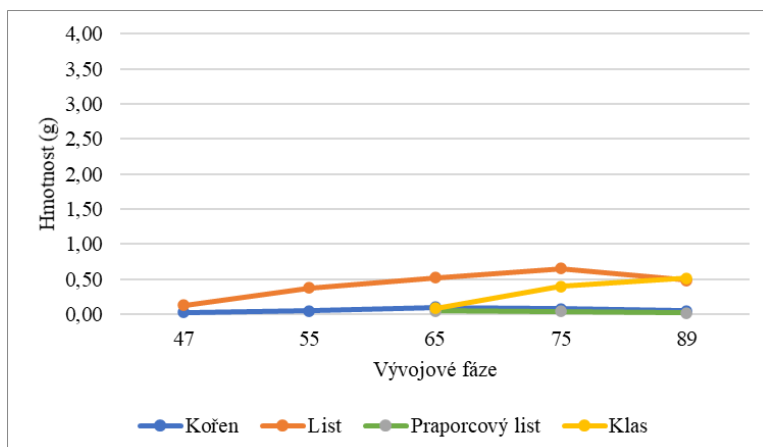
Graf I.A: Vývoj hmotnosti jednotlivých rostliných orgánů v závislosti na ontogenetickém vývoji rostlin pšenice seté, genotyp ANBW2N



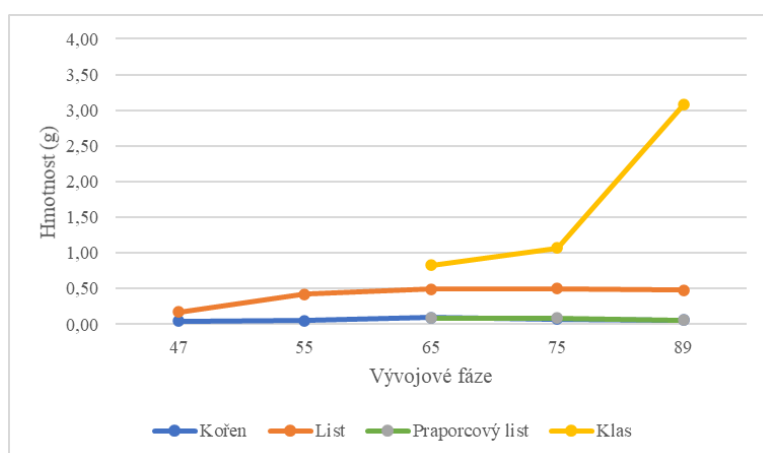
Graf I.B: Vývoj hmotnosti jednotlivých rostliných orgánů v závislosti na ontogenetickém vývoji rostlin pšenice seté, genotyp ANBW 6A/ANK-26B



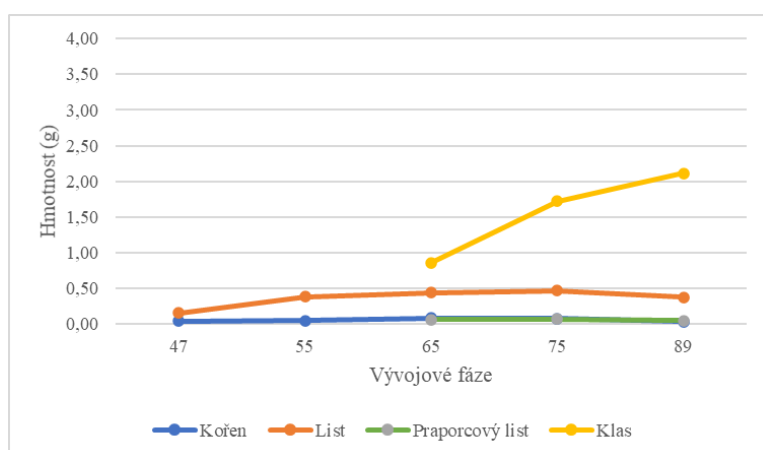
Graf I.C: Vývoj hmotnosti jednotlivých rostliných orgánů v závislosti na ontogenetickém vývoji rostlin pšenice seté, genotyp ANBW-6A/ ANK-38



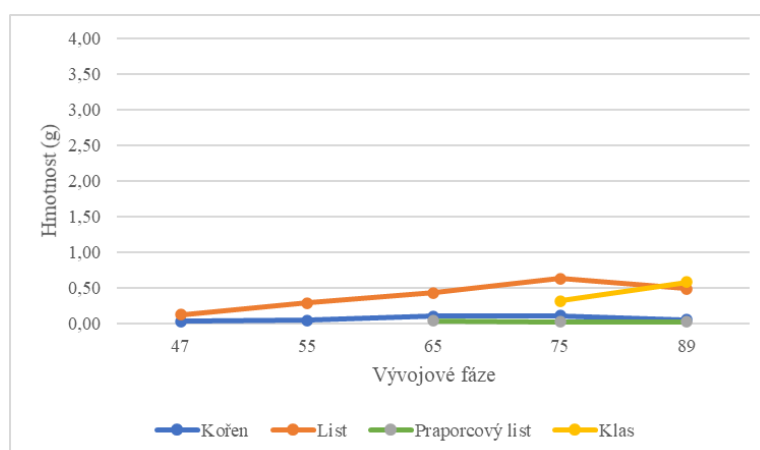
Graf I.D: Vývoj hmotnosti jednotlivých rostlinných orgánů v závislosti na ontogenetickém vývoji rostlin pšenice seté, genotyp ANDW-20A



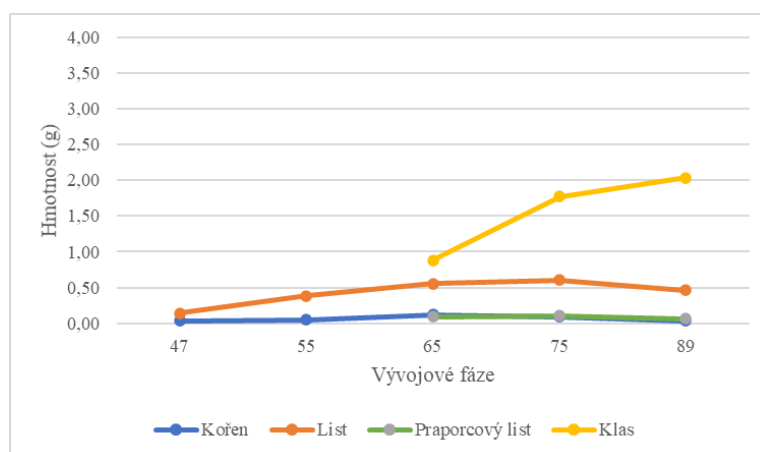
Graf I.E: Vývoj hmotnosti jednotlivých rostlinných orgánů v závislosti na ontogenetickém vývoji rostlin pšenice seté, genotyp ANK-1B



Graf I.F: Vývoj hmotnosti jednotlivých rostlinných orgánů v závislosti na ontogenetickém vývoji rostlin pšenice seté, genotyp ANK-28A



Graf I.G: Vývoj hmotnosti jednotlivých rostlinných orgánů v závislosti na ontogenetickém vývoji rostlin pšenice seté, genotyp LD222



Graf I.H: Vývoj hmotnosti jednotlivých rostlinných orgánů v závislosti na ontogenetickém vývoji rostlin pšenice seté, genotyp NOVOSIBIRSKYA-67A