

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra agroekologie a rostlinné produkce



**Fakulta agrobiologie,
potravinových a přírodních zdrojů**

Mlynářská a pekařská jakost pšenice s barevným zrnem

Diplomová práce

Autor práce: Bc. Adéla Adášková

Obor studia: Výživa a potravinářství

Vedoucí práce: prof. Ing. Ivana Capouchová, CSc.

© 2023 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "Mlynářská a pekařská jakost pšenice s barevným zrnem" jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího diplomové 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 diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušila autorská práva třetích osob.

V Praze dne 14.4.2023

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala zejména vedoucí mé diplomové práce prof. Ing. Ivaně Capouchové, CSc. za její odborné vedení, vstřícnost, ochotu a trpělivost po celou dobu vzniku této práce. Velký dík patří i mé rodině za podporu, jež mi poskytovala během celého studia.

Mlynářská a pekařská jakost pšenice s barevným zrnem

Souhrn

V posledních letech stoupá zájem o pšenice s barevným zrnem, které obsahují ve srovnání s běžně pěstovanou pšenicí setou vyšší množství zdraví prospěšných látek. Těmi jsou především barviva z řad anthokyanů a karotenoidů. Můžeme se setkat např. s odrůdami s purpurovým perikarpem a modrým aleuronem, jejichž zabarvení je způsobeno anthokyany, nebo s odrůdami se žlutým endospermem, které se vyznačují zvýšeným obsahem karotenoidů. Tyto bioaktivní sloučeniny jsou známy pro svou významnou antioxidační aktivitu a pozitivní vliv na zdraví konzumentů.

Cílem této diplomové práce bylo zhodnotit vlastnosti souboru odrůd pšenice seté s barevným zrnem z hlediska jejich mlynářské a pekařské kvality a porovnat je s klasickou odrůdou pšenice seté. Do pokusů byly zahrnuty ozimé odrůdy pšenice seté Citrus (žlutý endosperm), Skorpion (modrý aleuron), AF Oxana (modrý aleuron), AF Jumiko (purpurový perikarp), PS Karkulka (purpurový perikarp) a Annie (kontrolní odrůda běžné pšenice seté), jež byly pěstovány ekologickým a konvenčním způsobem na pokusných pozemcích FAPPZ v Praze – Uhřetěvesi v pokusných ročnících 2015-2016 a 2016-2017. Následná hodnocení vzorků zrna probíhala v laboratořích FAPPZ a zahrnovala stanovení základních jakostních ukazatelů, mlecí pokus, farinografické hodnocení a pekařský pokus.

Z výsledků byly zřejmé zásadní rozdíly v kvalitě mezi ekologicky a konvenčně pěstovanými odrůdami. Konvenčně pěstované odrůdy měly obecně lepší mlynářskou i pekařskou kvalitu, nicméně požadavky normy pro pšenicí pekárenskou by splnily pouze dvě z hodnocených odrůd pšenice s barevným zrnem – PS Karkulka a AF Jumiko. Ekologicky pěstované odrůdy se ukázaly být ještě méně vhodné pro pekárenské zpracování, ze základních kvalitativních ukazatelů byl limitující především nízký obsah N-látek v sušině zrna a výsledky Zeleného testu, jejichž nízké hodnoty jsou naopak výhodné pro pečivárenské účely. Z tohoto důvodu by mohla být vhodná pro pečivárenské zpracování ekologicky pěstovaná odrůda AF Jumiko, jež jako jediná zároveň dosáhla dostatečné objemové hmotnosti i v ekologickém režimu. V porovnání s běžně pěstovanou odrůdou pšenice seté Annie dosahovaly ve většině parametrů barevné pšenice horších výsledků z hlediska vhodnosti pro pekárenské zpracování, což potvrdil i závěrečný pekařský pokus.

Vzhledem k těmto závěrům doporučujeme u testovaných odrůd zvážit alternativní způsoby zpracování, které by byly zároveň dostatečně šetrné, aby obsah bioaktivních složek zrna zůstal v co největší možné míře zachován.

Klíčová slova: pšenice, barevné zrno, mlynářská jakost, pekařská jakost

Milling and baking quality of coloured seed wheat

Summary

In recent years, there has been a growing interest in coloured wheats, which contain higher amounts of health-promoting substances compared to commonly grown varieties. These are above all anthocyanins and carotenoids. We can observe, for example, varieties with a purple pericarp and blue aleurone, whose coloration is caused by anthocyanins, or varieties with yellow endosperm caused by increased amounts of carotenoids. These bioactive compounds are well known for their significant antioxidant activity and positive effect on the health of consumers.

The aim of this diploma thesis was to evaluate the properties of set of coloured grain lines in terms of their milling and baking quality and to compare them with the classic variety. Winter wheat cultivars Citrus (yellow endosperm), Skorpion (blue aleurone), AF Oxana (blue aleurone), AF Jumiko (purple pericarp), PS Karkulka (purple pericarp) and Annie (control variety of common wheat) grown organically and conventionally were included in the experiments. They were grown on experimental plots of FAPPZ in Prague – Uhřetěves in experimental years 2015-2016 and 2016-2017. The subsequent evaluation of the grain samples took place in the FAPPZ laboratories and included the determination of fundamental quality indicators, a milling experiment, a farinographic evaluation and a baking experiment.

The results showed significant differences in quality between ecologically and conventionally grown varieties. Conventionally grown varieties generally had better milling and baking quality, however, only two of the evaluated varieties with colored grain – PS Karkulka and AF Jumiko – would meet the requirements for bread wheat. Ecologically grown varieties turned out to be even less suitable for bread making processing because of the low content of N-substances in the dry grain and the results of the Zeleny test. Low values of these parameters, on the contrary, are advantageous for bakery non-proofing products. For this reason, the ecologically grown variety AF Jumiko could be suitable for bakery non-proofing processing. This variety was the only one that has also achieved a sufficient test weight even in an ecological regime. In comparison to the commonly grown wheat variety Annie, coloured wheats achieved worse results in most parameters in terms of suitability for bakery processing, which was also confirmed by the final bread making experiment.

Taking to account these results, we recommend considering alternative processing methods for the tested varieties, especially the ones which would allow to preserve the content of the bioactive components of the grain as much as possible.

Keywords: wheat, coloured seed, milling quality, baking quality

Obsah

| | | |
|------------|--|-----------|
| 1 | Úvod | 7 |
| 2 | Vědecká hypotéza a cíle práce | 8 |
| 3 | Literární rešerše..... | 9 |
| 3.1 | Kvalita pšenice seté | 9 |
| 3.1.1 | Nutriční kvalita | 9 |
| 3.1.2 | Stavba a složení pšeničného zrna | 9 |
| 3.1.3 | Hygienická kvalita | 11 |
| 3.1.4 | Senzorická kvalita..... | 11 |
| 3.1.5 | Technologická kvalita..... | 12 |
| 3.1.6 | Charakteristika vybraných kvalitativních ukazatelů..... | 15 |
| 3.1.7 | Vliv způsobu pěstování na technologickou kvalitu pšenice seté..... | 18 |
| 3.2 | Pšenice setá s barevným zrnem..... | 18 |
| 3.2.1 | Genetická podmíněnost barvy zrna | 18 |
| 3.2.2 | Anthokyany..... | 20 |
| 3.2.3 | Karotenoidy | 22 |
| 3.2.4 | Další nutričně významné složky | 24 |
| 3.2.5 | Odrůdy pšenic s barevným zrnem v ČR..... | 24 |
| 3.2.6 | Technologická jakost pšenic s barevným zrnem | 24 |
| 3.2.7 | Využití barevných pšenic ve výživě zvířat | 26 |
| 4 | Metodika | 28 |
| 4.1 | Základní údaje o agrotechnice pokusu | 28 |
| 4.2 | Charakteristika hodnocených odrůd | 28 |
| 4.3 | Hodnocení kvalitativních parametrů zrna | 29 |
| 4.4 | Statistické vyhodnocení výsledků | 30 |
| 5 | Výsledky | 31 |
| 5.1 | Hodnocení základních jakostních ukazatelů zrna | 31 |
| 5.2 | Hodnocení výsledků mlecího pokusu | 38 |
| 5.3 | Farinografické hodnocení..... | 41 |
| 5.4 | Hodnocení výsledků pekařského pokusu | 46 |
| 6 | Diskuse | 50 |
| 7 | Závěr | 55 |
| 8 | Literatura..... | 56 |
| 9 | Samostatné přílohy | I |

1 Úvod

Vzhledem ke stále rostoucí poptávce spotřebitelů po zdravějších variantách běžných potravinářských výrobků, superpotravinách, potravinách pro alternativní výživové směry a obecně pestřejší nabídce produktů probíhá v této oblasti intenzivní výzkum a vývoj. Ten se týká i tématu pšenice s barevným zrnem, kterému se v posledních letech věnoval velký počet vědeckých kolektivů z celé řady zemí světa, například z Indie, Číny, Kanady, Etiopie; z evropských zemí pak z Itálie, Rakouska, Slovenska i z České republiky.

Zájem o pšenice s barevným zrnem je podložen zejména jejich nutričním přínosem, neboť obsahují ve srovnání s běžně pěstovanou pšenicí setou vyšší množství zdraví prospěšných látek. Těmi jsou především barviva z řad anthokyanů a karotenoidů. V případě obsahu anthokyanů se jedná o zbarvení purpurové (purpurový perikarp) a modré (modrý aleuron), zvýšená množství karotenoidů způsobují zbarvení žluté (žlutý endosperm), případně se mohou vyskytovat i jejich kombinace (černé zrno). Přestože jsou anthokyany i karotenoidy navzájem velmi odlišné skupiny sloučenin, obě vykazují významnou antioxidační aktivitu a byl u nich popsán pozitivní vliv v oblasti prevence celé řady civilizačních onemocnění.

Ačkoli je velká část prací věnována nutričním aspektům a maximalizaci obsahu zdraví prospěšných látek v zrnech těchto pšenice a v produktech z nich, o vlastním uplatnění v praxi budou rozhodovat i další faktory, jako jsou například jejich agronomické vlastnosti, výnos či technologická kvalita. Přesto je informací o technologických vlastnostech pšenice s barevným zrnem stále velmi omezené množství. Právě posouzení vhodnosti vybraných odrůd pšenice s barevným zrnem pro mlýnské a pekárenské zpracování se věnuje tato práce, jež zároveň porovnává rozdíly v parametrech technologické jakosti mezi těmito odrůdami pěstovanými konvenčním a ekologickým způsobem.

2 Vědecká hypotéza a cíle práce

Cílem práce je zhodnotit soubor vybraných genotypů pšenice s barevným zrnem z hlediska mlynářské a pekařské jakosti, porovnat je s klasickou odrůdou pšenice seté a posoudit možnosti využití pšenice s barevným zrnem k potravinářským účelům.

Hypotézy:

1) pěstování pšenice s barevným zrnem v různých systémech (ekologický × konvenční) umožní dosáhnout rozdílné kvality produkce pro různé způsoby využití v potravinářství (pekárenské, pečivářenské účely)

2) v rámci hodnoceného souboru odrůd pšenice s barevným zrnem lze najít odrůdy s technologickou jakostí na obdobné úrovni jako u kontrolní klasické odrůdy pšenice seté

3 Literární rešerše

3.1 Kvalita pšenice seté

Kvalita obilovin obecně je velmi komplexní pojem, na který je možno pohlížet z několika úhlů pohledu. Zimolka et al. (2005) uvádí pět hlavních oblastí, které kvalitu obilovin charakterizují. Ačkoliv je lze posuzovat jednotlivě, jsou vzájemně velice úzce provázány. Jedná se o jakost nutriční, hygienickou, senzorickou, technologickou a užitnou. Dle Petra (2001) je finální úroveň kvality dána souhrnem ekologických podmínek, zvolené odrůdy a pěstebních metod.

3.1.1 Nutriční kvalita

Konzumace potravinářské pšenice tvoří podstatou část výživy obyvatel (nejen) naší země. Její nutriční kvalita se proto ve značné míře odráží ve výživovém stavu jejích konzumentů. V České republice je pšenice v současné době jednoznačně nejkonzumovanější obilovinou. Její spotřeba se v letech 2010 až 2019 pohybovala mezi 119,5 a 130,4 kg na obyvatele ročně, přičemž spotřeba pšeničné mouky se v těchto letech nacházela mezi 93,2 a 101,7 kg na obyvatele a rok¹. Pšenice v tomto období tvořila průměrně 85,5 % spotřeby všech obilovin využívaných v České republice pro lidskou výživu (Český statistický úřad 2020). Dle Slukové et al. (2017) ji konzumuje jako základní obilovinu 30 % světové populace a její celosvětová produkce i spotřeba se nadále zvyšuje.

Pro své konzumenty je pšenice zdrojem energie a cenných živin, zejména esenciálních aminokyselin, minerálních látek, vitaminů, prospěšných fytochemikálií a vlákniny, obzvláště pak v podobě celozrnných výrobků (Shewry 2009). Dle Dvořáčka et al. (2012) mohou být některé nutričně přínosné složky zrna v protikladu k technologické kvalitě finálních produktů – příkladem může být právě vyšší obsah vlákniny a rezistentního škrobu či naopak nižší podíl lepku.

Další, možná méně zjevnou, ale bezpochyby důležitou roli ve výživě hraje pšenice krmná, která tvoří téměř polovinu vyprodukované pšenice. V krmných směsích je nejen zdrojem energie, ale především také bílkovin. Kvalita bílkovinné složky krmiva spolu s dalšími prvky, jako je obsah vlákniny, minerálních látek či antinutričních látek, zásadním způsobem ovlivňuje zdraví zvířat i efektivitu chovů (Dvořáček 2018).

3.1.2 Stavba a složení pšeničného zrna

Zrno pšenice se skládá ze tří hlavních částí, kterými jsou obalové vrstvy (14-16 %), endosperm (81-84 %) a klíček (2-3 %) (Konvalina et al. 2016). Nejsvrchnější obalovou vrstvou je oplodí (perikarp), které zrno chrání před poškozením. Je tvořeno nerozpustnými složkami, hlavně celulózou, hemicelulosami a ligninem, dále obsahuje minerální látky a vitaminy. Další

¹ Jedná se o údaje spotřeby obilovin (resp. pšenice) v hodnotě zrna (resp. v hodnotě mouky) v kg, přičemž jsou do těchto spotřeb započítávány obiloviny a mouka využívané pro účely lidské výživy. Do této spotřeby nejsou započítávány obiloviny pro technické účely a na výrobu škrobu, mouka krmná a mouky pro technické účely a výrobu škrobu (Český statistický úřad, 2020).

vrstvou je osemení (testa) obsahující neškrobové polysacharidy, barviva, fenolické kyseliny, alkylresorcinol a rovněž minerální látky a vitaminy. Obě tyto vrstvy při mletí zrna přechází do otrub. Na rozhraní mezi obalovými vrstvami a endospermem se nachází aleuronová vrstva. Ta je charakteristická vysokým obsahem bílkovin, vitaminů a také nejvyšším obsahem minerálních látek ze všech částí zrna. Obsahuje také vlákninu, kyselinu fytovou, rostlinné steroly a polyfenoly. Podmínkami při mletí lze ovlivnit, jak velká část této vrstvy se dostane do mouky, nebo zůstane ulpělá na otrubách. Endosperm zrna obsahuje především škrob a zásobní bílkoviny. Poslední dvě části zrna, klíček a šítek, obsahují značný podíl tuků, které by mohly kvůli oxidativním a enzymatickým změnám v mouce senzorycky znehodnotit výsledný produkt. Z tohoto důvodu bývají před mletím odstraňovány (Sluková et al. 2017).

Pokud se zaměříme na jednotlivé živiny, nejvíce zastoupenou složkou zrna jsou sacharidy, které se vyskytují téměř ve všech jeho částech. Z nich mají majoritní podíl polysacharidy, které zde nacházíme ve formě zásobních a strukturních polysacharidů (Gabrovská et al. 2015). Co se týče obsahu zbylých sacharidů, tedy nízkomolekulárních mono-, di- a oligosacharidů a fruktanů, Khan & Shewry (2009) uvádí, že představují přibližně 7 % všech sacharidů zrna.

Zásobní nebo též rezervní polysacharidy jsou většinou pro lidský organismus dobře stravitelné a jsou cenným zdrojem energie pro jeho metabolismus. Jejich hlavním představitelem je škrob (Gabrovská et al. 2015). Obsah škrobu v zrnech se pohybuje mezi 60 % a 75 % v sušině zrna (Šramková et al. 2009). Je tvořen především ze dvou typů polymerů – amylozy a amylopektinu, které představují 25–30 % respektive 70–75 % pšeničného škrobu. Jejich vzájemný poměr a struktura pak určují technologické a zároveň i nutriční vlastnosti škrobu. Právě mouky obsahující vysoký podíl amylozy jsou po tepelném zpracování zdrojem tzv. rezistentního škrobu, jenž odolává trávicím enzymům a má ve střevě prebiotické účinky (Galanakis 2020).

Pokud jde o polysacharidy druhé skupiny, tedy strukturní, ty řadíme mezi pro člověka nestravitelnou, přesto ve výživě potřebnou vlákninu. Vláknina obecně zahrnuje ve vodě rozpustné i nerozpustné složky, které, jak již bylo zmíněno, nejsou v lidském střevě tráveny či vstřebávány. Fyziologické účinky vlákniny pak mohou zahrnovat zvětšení objemu stolice a urychlení střevní peristaltiky, snížení cholesterolu v krvi či nižší postprandiální glykémii (Příhoda & Hrušková 2007; Gabrovská et al. 2015).

Další nutričně velmi významnou složkou pšeničného zrna jsou bílkoviny, jejichž průměrný obsah v znu se pohybuje kolem 10 až 13 %. Ačkoli se z výživového hlediska nejedná o tzv. plnohodnotné proteiny (nemají ideální aminokyselinové složení, limitující esenciální aminokyselinou je lysin), jsou obiloviny (u nás právě pšenice následovaná žitem) nejdůležitějším zdrojem rostlinných bílkovin ve výživě člověka. Z tohoto úhlu pohledu pak považujeme za hodnotnější pšeničné albuminy a globuliny, kdežto v znu převažující lepkové bílkoviny, tedy gliadiny a gluteniny, ceníme především pro jejich technologické vlastnosti (Gabrovská et al. 2015). Při porovnání nutriční hodnoty pšenice z ekologického způsobu pěstování a konvenčně pěstované pšenice byl zjištěn vyšší obsah výživově cenných proteinových frakcí albuminů a globulinů u vzorků pěstovaných v ekologickém režimu. U těchto vzorků byla ale zjištěna nižší kvalita lepku (Václavíková et al. 2012).

Ačkoli je v pšeničném znu tuk pouze minoritní složkou, z pšeničných klíčků lze získat kvalitní olej s vysokým obsahem fosforu, vitaminů skupiny B a E, fytosterolů

a polynenasycených mastných kyselin. Tento olej nachází své využití nejen v potravinářství, ale také v medicíně, kosmetických přípravcích či zemědělství (Ghafoor et al. 2017).

Pokud jde o mikronutrienty a fytochemikálie, jejich nejbohatšími zdroji jsou obalové vrstvy zrna a klíček, jejich obsah ve výsledném produktu je proto ze značné části dán způsobem zpracování. Pšenice je obecně považována za dobrý zdroj vitaminů skupiny B, především pak B1, B3, B6 a kyseliny listové, dále obsahuje například tokoferoly či karotenoidy. Obsah minerálních látek v zrně je velmi variabilní a odvíjí se od pěstovaného genotypu, způsobu pěstování i obsahu těchto látek v půdě a půdních vlastnostech. Důležitým aspektem je rovněž biodostupnost mikronutrientů, neboť přítomnost antinutričních látek (např. kyselina fytová) či příliš vysoký obsah vlákniny ve stravě brání využití přítomných mikroprvků (Khan & Shewry 2009).

3.1.3 Hygienická kvalita

Hodnocení hygienické jakosti obilovin je určujícím faktorem pro jejich další zpracování, neboť je nezbytně nutné zajistit bezpečnost surovin pro výrobu potravin i krmiv (Chrpová et al. 2012). Obiloviny mohou být během pěstování, sklizně, zpracování i skladování vystaveny mnohým fyzikálním, chemickým, biologickým i mikrobiologickým kontaminantům. Fyzikálními kontaminanty rozumíme přítomnost cizích těles, ať už nečistot jako je prach, kaménky, úlomky stébel či semena plevelů, ale i přítomnost kovových nečistot ze sklízecí techniky a dalších zemědělských strojů či úlomků materiálů z umělých hmot. Z chemických kontaminantů si zde můžeme vyjmenovat například rezidua pesticidů, výskyt těžkých kovů, mykotoxinů (především aflatoxiny, ochratoxiny a deoxynivalenol), maziv a dalších ropných látek či nebezpečných alkaloidů (z námele či jedovatých plevelů). Biologickým nebezpečím může být kupříkladu přítomnost roztočů, hmyzu nebo hlodavců. Jako mikrobiologické nebezpečí pak chápeme výskyt některých rodů kvasinek, bakterií a plísní (Martinek & Filip 2012).

K tématu mykotoxinů v obilovinách uvádí Polišenská (2017) zajímavé srovnání výsledků ekologického a konvenčního pěstování těchto plodin. Její vlastní výzkum, ale i mnozí další autoři uvádí menší výskyt, případně srovnatelné množství mykotoxinů v ekologicky pěstované pšenici oproti konvenčně pěstované, a to i přesto, že ekologicky pěstované vzorky nebyly a ani nesmí být ošetřeny konvenčně používanými chemickými postřiky.

3.1.4 Senzorická kvalita

Senzorická analýza zahrnuje posouzení kvality vzorku lidskými smysly s následným zpracováním získaných informací v centrální nervové soustavě. V potravinářství může být senzorické hodnocení prvním a nejrychlejším zdrojem informací, z pohledu finálního spotřebitele se pak jedná o rozhodující proces při zvažování koupě výrobku. Obecně je u výrobku hodnocen především vzhled, jeho struktura, vůně a chuť (Petr 2001).

U pekárenských výrobků pozorujeme znaky vnější a vnitřní. Mezi ty vnější, které lze pozorovat pouhým okem, řadíme objem (ten lze stanovit i objektivně pomocí měření), vzhled (ten zahrnuje například tvar, vyklenutí či ulpělé zbytky mouky), barvu a strukturu kůrky a rovnoměrnost pečení. Důležitými vnitřními znaky jsou pak vůně (především přítomnost cizích pachů), chuť výrobku, pórovitost a struktura střídy či krájitelnost výrobku (Hampl 1981).

Senzorické znaky pekárenských výrobků jsou dle Mollakhalili-Meybodi et al. (2022) ovlivněny především typem, obsahem a kvalitou hlavních ingrediencí, tedy mouky, soli, vody a kypřidel, nicméně důležitý je i vliv procesu zpracování.

3.1.5 Technologická kvalita

Pšenice setá je díky svým technologickým vlastnostem téměř nenahraditelnou surovinou pro celou škálu potravinářských výrobků. K jejímu ohromnému rozšíření rovněž přispěla její adaptabilita v kombinaci s vysokými výnosy a možností dlouhodobého skladování (Shewry 2009).

Technologickou jakost pšenice hodnotíme dle zamýšleného způsobu jejího užití, v následujícím textu se proto zaměříme na kvalitu pšenice pro pekárenské a pečivářské zpracování. Její technologická kvalita je hodnocena dle chování suroviny v technologickém procesu, v tomto případě se tedy jedná o parametry jakosti mlynářské a jakosti pekařské (Příhoda & Hrušková 2007). Ačkoli jsou tyto parametry posuzovány odděleně, mohou se navzájem ovlivňovat a není bez zajímavosti, že mohou být do určité míry i v protikladu (Martinek & Filip 2012).

Mlynářskou kvalitu pšeničného zrna určují anatomicko-morfologické znaky, obsah zásobních látek zrna a jeho vnitřní struktura. Konkrétně se jedná například o jeho velikost, konzistenci endospermu, hloubku brusné rýhy, rozpětí záhybu, tloušťku obalových vrstev či tloušťku aleuronové vrstvy (Prugar & Hraška 1986). Z hlediska mlynářské kvality jsou upřednostňovány pšenice s vysokou výtěžností mouk a nízkým obsahem popelovin při co nejnižší spotřebě energie. Pro hodnocení se využívají především nepřímé metody hodnocení, např. stanovení obsahu popelovin, měrné hmotnosti, sklovitosti či tvrdosti zrna. Přímou metodou hodnocení je pak pokusný zámel. Ten zahrnuje zejména posouzení výtěžnosti jednotlivých partií či oddělitelnosti obalů od endospermu zrna (Martinek & Filip 2012).

Z hlediska pekařské kvality hodnotíme například obsah a vlastnosti lepku, vaznost mouky, aktivitu amyláz a proteáz, obsah dusíkatých látek či fyzikální vlastnosti těsta. Přímou metodou hodnocení je pak pekařský pokus (Martinek & Filip 2012). Ten považují Pelshenke et al. (2007) za nejlepší metodu hodnocení kvality pečeni. Pro komplexní a srovnatelné hodnocení kvality byly vyvinuty standardizované experimenty jako je Rapid-Mix-Test. Protože tyto experimenty jsou náročné na čas i práci, v praxi může být upřednostňována kombinace metod nepřímých (Schuster et al. 2022).

Pod pojmem lepek rozumíme pryžovou hmotu, která se tvoří během hnětení těsta z pšeničné mouky a vody. Majoritní složkou struktury lepku jsou bílkoviny, které zároveň hrají klíčovou roli při určování pekařských vlastností pšenice. Pšeničnému těstu propůjčují schopnost vázat vodu, zvyšují jeho soudržnost, viskozitu a elasticitu. Lepkové bílkoviny jsou tradičně rozdělovány do dvou frakcí dle jejich rozpustnosti ve směsi alkohol-voda. Těmi jsou rozpustné gliadiny a nerozpustné gluteniny. Obě tyto frakce jsou důležité z hlediska reologických vlastností těsta, nicméně jejich funkce se liší. Hydratované gliadiny mají malou elasticitu a jsou méně soudržné než gluteniny; přispívají především k viskozitě a roztažnosti těsta. Naproti tomu hydratované gluteniny jsou jak soudržné, tak elastické a dodávají těstu jeho pevnost a pružnost. Za optimální je považován poměr mezi gliadiny a gluteniny jedna ku jedné (Torbica et al. 2007). Krejčířová et al. (2006) ve své práci dodávají, že odrůdy s vyšším

obsahem vysokomolekulárních gluteninů dosahovaly příznivějších hodnot reologických ukazatelů a lepších hodnot indikátorů pekařské jakosti. Naproti tomu odrůdy s vyšším obsahem nízkomolekulárních gluteninů a gliadinů se zařadily do jakostní skupiny C, jejich výhodou byl ovšem vyšší obsah nutričně cenných albuminů a globulinů. Tento trend byl navíc potvrzen u vzorků pěstovaných konvenčně i v ekologickém režimu.

Lepkové proteiny tvoří obecně asi 80 až 85 % celkových proteinů pšenice. Zbylá skupina nelepkových bílkovin je vysoce heterogenní, ale i některé z nich mohou mít vliv na výslednou kvalitu výrobku (Veraverbeke & Delcour 2002).

Obsah bílkovin, ale do určité míry také škrobu, některých neškrobových polysacharidů, lipidů, minerálů, těžkých kovů, vitaminů a fytochemikálií, jsou zásadní nejen pro stanovení nutriční kvality pšeničného zrna, ale i pro určení kvality technologické. Právě kvalita a množství bílkovin jsou silně ovlivněny vnějšími faktory, jež mají vliv na dostupnost dusíku a dobu vývoje kultivaru. Zmíněnými faktory jsou vliv prostředí (teplota, srážky, sluneční záření atd.) a agronomických podmínek (vlastnosti půdy, osevnické postupy, aplikace hnojiv atd.) (Johansson et al. 2020). Nepříznivé povětrnostní podmínky, včetně dlouhotrvajících a opakovaných dešťů, před sklizní vyvolávají klíčení zrn v klasu mateřské rostliny, které je známé jako předsklizňové klíčení. To má za následek produkci hydrolytických enzymů v zrně, což snižuje technologickou kvalitu pšenice a způsobuje problémy při zpracování mouky na potravinářské produkty. Proto je pšenice, která je silně naklíčená na poli, méně vhodná pro pekárenské zpracování (Olaerts & Courtin 2018).

Neméně důležitým faktorem určujícím pekařskou kvalitu pšenice je její genotyp. Odrůdy pšenice dle vhodnosti k pekárenskému zpracování řadíme do čtyř jakostních tříd: E – elitní, A – kvalitní, B – chlebová a C – ostatní (nevhodné pro výrobu kynutých těst). Odrůdy z poslední jmenované kategorie lze dále využívat pro pečivářské účely, produkci těstovin, škrobu, lihu či výkrm hospodářských zvířat (Petr 2001). Odrůdy kvality A jsou považovány za vhodné pro samostatné zpracování na kynuté pekárenské výrobky, odrůdy skupiny B jsou využívány spíše ve směsích, zatímco odrůdy kvality E jsou využívány pro zlepšení kvality směsi (Vaculová et al. 2010). Odrůdy jsou do skupin jakosti zařazovány na základě tříletých výsledků během registračního procesu v ÚKZÚZ. Na devítibodové stupnici jsou hodnoceny výsledky jednotlivých ukazatelů, zároveň jsou stanoveny minimální požadavky pro tato kritéria, aby odrůdy zařazené do jednotlivých tříd vykazovaly vyváženou kvalitu. V rámci kvalitativního hodnocení jsou posuzovány následující hlavní znaky: objemová výtěžnost pečiva (Rapid-Mix-Test), obsah dusíkatých látek v sušině, sedimentační Zelenyho test, číslo poklesu objemová hmotnost a vaznost mouky. Doplňkovými kritérii jsou pak tvrdost zrna (Particle Size Index) a alveografické hodnocení. Minimální hodnoty pro zařazení odrůd do jednotlivých tříd jakosti uvádí tabulka č. 1. Pro snížení vlivu ročníku jsou zkoušené odrůdy srovnávány se standardními odrůdami (Horáková et al. 2022). Pro požadavky zpracovatelů jsou využívány parametry zanesené do normy ČSN 46 1100-2 viz tabulka č.2.

Tabulka 1 Minimální požadavky pro zařazení odrůd do skupin jakosti

| Jakostní skupina | E – elitní | | A – kvalitní | | B – chlebová | |
|--|------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | absolutně | bod (9-1) | absolutně | bod (9-1) | absolutně | bod (9-1) |
| Vyjádření hodnoty | | | | | | |
| Objemová výtěžnost (ml) | 530 | 8 | 500 | 6 | 470 | 4 |
| Obsah hrubých bílkovin (%) | 12,6 | 6 | 11,8 | 4 | 11 | 2 |
| Zelenyho test (ml) | 49 | 7 | 35 | 5 | 21 | 3 |
| Číslo poklesu (sec) | 286 | 6 | 226 | 4 | 196 | 3 |
| Objemová hmotnost (g.l ⁻¹) | 790 | 7 | 780 | 6 | 760 | 4 |
| Vaznost mouky (%) | 55,4 | 7 | 53,2 | 5 | 52,1 | 4 |

Zdroj: Horáková et al. 2009

Tabulka 2 Hodnoty jakostních ukazatelů pro pšenici potravinářskou

| Jakostní ukazatel | Kritérium hodnocení | |
|--|---------------------|--------------------|
| | Pšenice pekárenská | Pšenice pečivářská |
| Vlhkost (%) | nejvýše 14,0 | nejvýše 14,0 |
| Objemová hmotnost (kg. hl ¹) | nejméně 76,0 | nejméně 76,0 |
| Obsah N-látek v sušině (N x 5,7) (%) | nejméně 11,5 | nejvýše 11,5 |
| Sedimentační index – Zelenyho test (ml) | nejméně 30,0 | nejvýše 25,0 |
| Číslo poklesu (s) | nejméně 220 | nejméně 220 |
| Příměsi a nečistoty celkem (%) | nejvýše 6,0 | nejvýše 6,0 |
| z toho: | | |
| 1. zlomky zrn (%) | nejvýše 3,0 | nejvýše 3,0 |
| 2. zrnové příměsi (%) | nejvýše 5,0 | nejvýše 5,0 |
| z toho tepelně poškozená zrna (%) | nejvýše 0,5 | nejvýše 0,5 |
| 3. porostlá zrna (%) | nejvýše 2,5 | nejvýše 2,5 |
| 4. nečistoty (%) | nejvýše 0,5 | nejvýše 0,5 |
| z toho tepelně poškozená zrna (%) | nejvýše 0,05 | nejvýše 0,05 |

Zdroj: ČSN 46 1100-2: Obiloviny potravinářské – Část 2: Pšenice potravinářská

3.1.6 Charakteristika vybraných kvalitativních ukazatelů

Výtěžnost mouk

Výtěžnost mouk je jedním z hlavních kvalitativních ukazatelů v mlecím procesu, neboť nám přímo udává hmotnostní procento mouky získané válcovým mletím zrna. Je proto také žádoucí co nejefektivnější a nejčistší oddělení endospermu od otrub. Textura měkkého zrna viz níže a protáhlý tvar obilky s výtěžností mouky negativně koreluje (Ji et al. 2020).

Tvrdość zrna

Tvrdość zrna představuje nepřímý ukazatel mlynářské kvality pšeničného zrna (Petr 2001). Je fyzikálním měřítkem odolnosti zrna vůči drtící síle (Souza et al. 2008). Díky jejímu stanovení lze do určité míry předpovědět chování zrna v průběhu mlecího procesu, s výtěžností mouk a krupic. U odrůd pšenice s tvrdým zrnem dochází při mletí k rozpadu na větší částice, které přechází do dalších mlecích chodů a jsou následně vymílány. Naproti tomu u měkkých pšenic vzniká větší podíl drobných částic o velikosti 25 μm, jež korespondují s velikostí izolovaných škrobových zrn. Tvrdé odrůdy jsou považovány za mlynářsky kvalitnější s vyšší výtěžností vymílacích muk a krupic, nicméně na jejich zpracování je třeba použít větší množství energie, než u měkkozrnných odrůd (Faměra et al. 2010).

Obsah popelovin

Obsah popela reprezentuje anorganický zbytek po spálení materiálu. Jeho obsah se v celých zrnech obilovin pohybuje mezi 1,25 až 2,25 %, nejvíce je zastoupen v obalových vrstvách, nejméně pak v endospermu. V mouce se jeho obsah zvyšuje se stupněm vymletí. Mouky se dle obsahu popelovin označují typovým číslem, jež je tisícinásobkem průměrného obsahu popela v dané mouce (např. mouka T 530 obsahuje 0,53 % popela) (Kadlec et al. 2009).

Objemová hmotnost

Objemová hmotnost je považována za ukazatele potenciální výtěžnosti mouk, zároveň bývá indikátorem zdravotního stavu obilných zrn (AACC 2010). Kromě vlivu odrůdy hraje roli především prostředí, které se odráží ve vlhkosti zrna, obsahu bílkovin, tvaru a velikosti zrna – tyto všechny faktory se na objemové hmotnosti odráží (Khan & Shewry 2009). Dle Posnera & Hibbse (1997) může být na výsledku objemové hmotnosti patrný obsah poškozených a scvrklých zrn, jejich tvar či tloušťka obalových vrstev. Vztah tohoto ukazatele k výtěžnosti mouky proto nemusí být vždy úzký.

Hmotnost tisíce semen

Tento znak může být využíván jako nepřímý ukazatel výtěžnosti mouky, neboť obvykle těžší zrno obsahuje větší podíl endospermu vzhledem ke zbývající částem zrna (Hubík & Mareček 2002). To lze vysvětlit skutečností, že měrná hmotnost endospermu je vyšší než u otrub. HTS je stanovena na vzorku celých zrn bez cizích těles a rozbitých zrn. Tento znak v praxi může být jedním z parametrů používaných pro seřizování mlecích válců ve mlýně. (Khan & Shewry 2009). Dále se často HTS využívá pro hodnocení odrůdy v oblasti šlechtitelství, nicméně vliv na hmotnost zrna mají kromě genotypu i podmínky pěstování a ročník (Příhoda & Hrušková 2007).

Obsah dusíkatých látek

Stanovení obsahu N-látek je využíváno jako ukazatel pekařské kvality zrna, neboť do určité míry kvantifikuje bílkovinný komplex endospermu. Ačkoli se jedná o metodu s vysokou přesností, její interpretace může být do určité míry zavádějící, protože nepostihuje pouze lepkové bílkoviny a nevypovídá o schopnosti přítomných bílkovin lepek vytvářet (Příhoda et al. 2003). Dle ČSN EN ISO 20483 (461401) se ke stanovení obsahu dusíku používá Kjeldahlova metoda s následným přepočtem na obsah dusíkatých látek. Dále se rozšiřuje možnost stanovení dusíkatých látek dle Dumasovy metody (ČSN EN ISO 16634-2 (461086)).

Obsah mokrého lepku

Obsah mokrého lepku se určuje promýváním těsta získaného z mouky a vody (či roztoku NaCl) tak, aby byl odplaven škrob a další rozpustné sloučeniny ze vzorku. Mokrým lepem nazýváme gumovitou hmotu, která po vyprání zůstane. Získané výsledky mohou být silně ovlivněny podmínkami a typem roztoku při promývání těsta (Ionescu et al. 2010). Ačkoli největší část mokrého lepku je tvořena proteiny, můžeme zde nalézt i další látky jako jsou glykoproteiny či lipoproteiny a voda (Příhoda & Hrušková, 2007). V malých množstvích se zde nachází rovněž celulóza a popeloviny (Belderok et al. 2000). Obsah mokrého lepku v sušině zrna by měl být alespoň 25 %, abychom mohli mouku považovat za vhodnou pro pekárenské využití. Čím vyšší obsah mokrého lepku je, tím vyššího objemu a kvality pečiva lze zpravidla dosáhnout (Hubík 1995a).

Gluten Index

Gluten index (GI) představuje bezrozměrnou veličinu hodnotící množství a charakteristiky lepku. Jeho hodnota je získána jako procento mokrého lepku, které zbude na síťce po jeho odstředění za standardních podmínek (UKZÚZ 2019). Optimální hodnoty GI se pohybují od 40 do 80. Při hodnotách blízkých se 100 se jedná o lepek tuhý s velkou rezistencí a nízkou elasticitou, naopak hodnoty blízké se k nule ukazují na velkou viskozitu lepku (Hubík 1995a).

Sedimentační index (Zelenyho test)

Prostřednictvím Zelenyho testu získáváme hodnotu tzv. sedimentačního indexu. Jedná se o metodu určující kvalitativní viskoelastické vlastnosti lepku (Hubík & Mareček 2002). Sedimentační index udává objem sedimentu (v mililitrech) vzniklého ze suspenze šrotu (z pšenice seté) v roztoku kyseliny mléčné (ČSN EN ISO 5529). Pro pekárenskou pšenici je požadován minimální objem sedimentu 30 cm³, pro pečivářskou pak maximálně 25 cm³ (ČSN 46 1100-2). Rychlost sedimentace závisí především na množství proteinů ve vzorku a na velikosti jejich molekul. Pšenice s vyšší hodnotou Zelenyho testu je obecně považována za kvalitnější (Kadlec et al. 2009). Krejčířová et al. (2006) uvádí pozitivní korelaci mezi obsahem vysokomolekulárních gluteninů, silou lepku a klasifikací vzorku dle sedimentačního indexu. Dle Prugara et al. (2008) je díky významnému genetickému podmínění tohoto znaku možno jej využívat pro výběr vhodných kultivarů během šlechtitelského procesu. Hubík & Mareček (2002) udávají, že vliv genotypu na tento parametr tvoří až 80 %.

Číslo poklesu

Číslo poklesu neboli pádové číslo je metoda vyvinutá pro hodnocení aktivity alfa-amylázy ve vzorcích zrna. Je považována za jednoduchou, rychlou, citlivou a spolehlivou metodu (Wang et al. 2008). Číslo poklesu je stanoveno jako rychlost poklesu tělíska ve standardně připravené suspenzi pšeničného šrotu. Nízké hodnoty čísla poklesu poukazují na vysokou aktivitu amyláz, jež způsobují ztekucení škrobu a tím zvyšují schopnost mouky vázat vodu (Petr 2001). Předklizňové klíčení vyvolává syntézu alfa-amylázy v aleuronové vrstvě, která degraduje struktury škrobových granulí endospermu zrna ještě předtím, než je zřejmý vznik kořínků. I nízké úrovně porůstání mohou mít za následek vznik nadměrně roztažných a lepivých těst. Šlechtitelé proto vyvíjejí pšenice s odolností vůči porůstání, aby snížili riziko hospodářských ztrát zemědělců v případě nepříznivého počasí před sklizní (Souza et al. 2008). Za zrno nevhodné pro potravinářské použití se považuje to, které má hodnotu čísla poklesu pod 160 sekund. Za optimální se považují hodnoty mezi 200 a 300 sekundami. Při hodnotách nad 300 sekund je aktivita amyláz až příliš nízká a výsledný produkt by mohl být velmi suchý – zde je doporučován přídavek sladové moučky pro zvýšení amylázové aktivity (Hubík & Mareček 2002).

Reologické hodnocení

Reologické veličiny popisují vlastnosti těsta jako je pevnost, tažnost či pekařská síla na základě měření jeho fyzikálních vlastností a vyhodnocování vztahů mezi silou působící na těsto a jeho deformací. Existuje řada přístrojů měřících reologické vlastnosti těsta, například farinograf, alveograf, extenzograf, mixograf a další (Kocourková & Sedláček 2011). Díky nim je možné simulovat chování těsta v technologickém procesu (Hrušková et al. 2004)

Na počátku procesu dochází k hydrataci částic mouky. Dále se díky hnětení spojují molekuly bílkovin, které vytváří trojrozměrnou síť. Těsto díky ní získává svou pružnost, postupně s dalším hnětením i pevnost. Když proces pokračuje až do přehnětení, těsto pozbývá elasticitu, roste jeho tažnost a také lepivost. Právě proces hnětení těsta až do jeho přehnětení charakterizuje farinografické hodnocení. Vlastnosti těsta při jednorozměrné deformaci popisuje extenzograf, při trojrozměrné deformaci pak alveograf (Hrušková et al. 2004).

Z pohledu reologie dělíme mouky na tzv. silné, které vytvářejí těsta s větší elasticitou, vyžadují delší hnětení a více energie pro vývoj těsta, zatímco tzv. slabé mouky tvoří těsta s mnohem menší pevností a pružností (Khan & Shewry 2009).

Pekařský pokus

Pekařský pokus je považován za hlavní a nejdůležitější zkoušku pšenice pro pekárenské využití. Je prováděn za standardních laboratorních podmínek (ve státních odrůdových zkouškách se využívá tzv. Rapid-Mix-Test). Výsledkem je především hodnocení měrného objemu pečiva (v ml/100 g výrobku), eventuálně objemové výtěžnosti (v ml/100 g mouky). Čím vyšší je jejich hodnota, tím je vzorek považován za pekařsky kvalitnější (Hubík & Mareček 2002). Na základě pekařského pokusu mohou být hodnoceny i další, především sensorické parametry pečiva, například jeho pružnost, vzhled, lepivost těsta, hnědnutí pečiva, vlastnosti kůrky (její křehkost, parcelace), stejnoměrnost pórů, vůně a chuť pečiva (Prugar et al. 2008).

3.1.7 Vliv způsobu pěstování na technologickou kvalitu pšenice seté

Dle Václavíkové et al. (2012) bývají výnosy ekologicky pěstované pšenice o 20 až 30 % nižší než u pšeníc vypěstovaných konvenčním způsobem. Aby pěstitelé byli schopni dosáhnout vyšší a kvalitnější sklizně v ekologickém systému, byly v ČR od roku 2015 zavedeny zkoušky pro Seznam doporučených odrůd pšenice a ječmene v režimu ekologického zemědělství vydávaný Ústředním kontrolním a zkušebním ústavem zemědělským. Díky tomuto seznamu bylo možné usnadnit pěstitelům orientaci v sortimentu odrůd a zároveň jim i zpracovatelům poskytnout objektivní a nezávislé informace o odrůdách (ÚKZÚZ 2018, ÚKZÚZ 2023).

Mäder et al. (2007) uvádí jako dominantní rozdíl mezi způsoby pěstování v obsahu bílkovin zrna, jež se odráží v obsahu lepku. Jejich experiment ovšem nepotvrdil významný vliv na kvalitu chleba a kvalita výrobků z konvenčně i ekologicky pěstované pšenice byla hodnocena jako stejně dobrá. S nižším obsahem bílkovin pšeníc vypěstovaných ekologickým způsobem souhlasí i výsledky Mazzoncini et al. (2015). Ti zároveň hovoří o zhoršených technologických parametrech ekologicky pěstovaných vzorků. Nízký výnos pak přičítají především nedostatečnému zásobení rostlin dusíkem. Dle Bicanové et al. (2007) lze ovšem obsah N-látek a obsah mokrého lepku v sušině zrna ekologicky pěstovaných pšeníc do jisté míry ovlivnit vhodnými agrotechnickými opatřeními, jako je například zvolená meziřádková vzdálenost.

3.2 Pšenice setá s barevným zrnem

Pšenicemi s barevným zrnem rozumíme takové odrůdy či šlechtitelské linie pšenice, jejichž zrna se vyznačují netradiční barvou. V Evropě a Americe je nejčastěji pěstována pšenice setá s červenou, výjimečně pak s bílou barvou zrna. Nicméně existují i pšenice s méně obvyklými barvami obilí jako je žlutá, modrá, purpurová či černá (Lachman et al. 2017). Tato zbarvení jsou způsobena obsahem biologicky aktivních látek – pigmentů ze skupin anthokyanů a zvýšeným obsahem karotenoidů. Uvedená barviva jsou významnými antioxidanty. V rostlinách mohou plnit rozličné funkce, například zajišťovat ochranu proti chorobám a dalším stresovým faktorům, ovlivňovat jejich dormanci a klíčení, nebo sloužit jako atraktanty opylovačů. Konzumentům pak tyto látky poskytují kromě svých senzoričkových vlastností i nutriční benefit, neboť působí preventivně proti některým onemocněním (Štiasna et al. 2014).

Barevné pšenice skýtají řadu zdravotně prospěšných látek a ukázaly se být nápomocné v prevenci i boji proti nejruznějším chronickým chorobám jako jsou nádorová a kardiovaskulární onemocnění, diabetes, záněty nebo obezita a také působí proti stárnutí organismu. Byl také zjištěn jejich terapeutický efekt ovlivňující pružnost kapilár, snížení glykemie a nápravu oxidativního poškození jater. Různé faktory jako je teplota, světlo, tlak, čas apod. během zpracovatelských procesů jako je například mletí, kynutí, pečení, extruze či vaření ovlivňují stabilitu zdraví prospěšných sloučenin obsažených v zru (Saini et al. 2021).

3.2.1 Genetická podmíněnost barvy zrna

Obsahy jednotlivých barviv zrna jsou podmíněny genetickými dispozicemi rostlin a jejich zastoupení se liší v rámci jednotlivých rostlinných pletiv, ze kterých je zrno složeno. Zde hraje svou roli původ pletiv, ve kterých se tato barviva tvoří. Nejběžnější červené zbarvení zrna

je soustředěno v perikarpu a způsobují jej katechiny s proantokyanidiny, které vznikají v procesu biosyntézy flavonoidů. Bylo zjištěno, že červená barva zrna je spojena s vyšším obsahem fenolických látek a díky tomu i s vyšší odolností zrna před chorobami. Fenolické látky rovněž fungují jako přirozené inhibitory enzymů. Červená barva zrna je též spojována s nižším výskytem porůstání zrna před sklizní. Tato barva je podmíněna dominantními alelami lokusu R. Naproti tomu bílá barva zrna je řízena třemi recesivními alelami r1, r2 a r3. Bílá zrna mají díky nižšímu výskytu fenolických látek přirozeně sladší chuť, ale jejich pěstování rozšířilo spíše do sušších oblastí (Martinek et al. 2006; Lachman et al. 2017).

Purpurová barva zrna je zapříčiněna obsahem anthokyanů v perikarpu zrna a syntéza těchto barviv je podmíněna geny označovanými Pp (purple pericarp). Jelikož se jedná o povrchovou vrstvu zrna, nabízí se využití těchto pšenic spíše ve formě celozrnného pečiva, případně jiné zpracování, které předpokládá využití celého zrna, případně otrub (Martinek & Vyhnánek 2014). Protože perikarp má svůj původ v mateřské tkáni, nelze uvnitř klasu pozorovat segregaci barvy zrna (Lachman et al. 2017). Zdrojem genů pro purpurový perikarp byla tetraploidní pšenice *Triticum turgidum* L. subsp. *abyssinicum* Vavilov, která je původem z Etiopie (Martinek et al. 2014). V současnosti jsou komerčně pěstované kultivary pšenice s purpurovým perikarpem k dispozici v Austrálii, Kanadě, Číně, Novém Zélandu a několika evropských zemích, nicméně i v Etiopii jsou purpurově zbarvené odrůdy i nadále pěstovány (Morgounov et al. 2020).

Pšenice s modrým zbarvením zrna obsahuje rovněž anthokyaniny, ovšem jejich složení je rozdílné, jsou obsaženy v aleuronové vrstvě zrna a obvykle tato zrna obsahují více anthokyanů, než zrna s purpurovou barvou (Martinek & Vyhnánek 2014). Toto zbarvení je podmíněno genem Ba (blue aleurone), resp. Ba1 a Ba2 (Martinek et al. 2006). Burešová et al. (2015) uvádí, že gen pro modrý aleuron byl přenesen od různých donorů: *Thinopyrum ponticum*, *Triticum monococcum* a *Thinopyrum bessarabicum*. Jelikož je aleuronová vrstva součástí endospermu, exprese barvy závisí na dávce genu a může docházet k segregaci barvy mezi zrny uvnitř klasu či rostliny (Lachman et al. 2017; Jeewani & Hua 2017).

Černě zbarvené linie vznikly křížením modrých a purpurových odrůd, resp. kombinací genů pro modrý aleuron a purpurový perikarp. První oficiálně registrovanou odrůdou pšenice s černým zrnem na evropském území se stala v roce 2021 ozimá pšenice AF Zora, nicméně informace o černě zbarvených odrůdách máme i z Indie, Jižní Koreji a Číny (Martinek 2021).

Žlutá barva endospermu zrn pšenice se žlutým zrnem je podmíněna geny Psy (Psy1 a Psy2) pro syntézu karotenoidů. Stejně jako u modrého aleuronu, i u žlutě zbarveného endospermu může docházet k segregaci barev uvnitř klasu nebo rostliny (Lachman et al. 2017). Díky lokalizaci těchto pigmentů v endospermu, který se vymílá do mouky, dochází k ovlivnění barvy výsledného produktu. Toto zbarvení je typické pro diploidní pšenici jednozrnku (*Triticum monococcum*), tetraploidní dvouzrnku (*Triticum dicoccum*) a pšenici tvrdou (*Triticum durum*), která je surovinou pro výrobu vysoce kvalitních semolinových těstovin (Martinek & Vyhnánek 2014). Existují ale i hexaploidní pšenice (pšenice setá) se žlutou barvou endospermu, nicméně intenzita jejich zbarvení je méně výrazná, než u pšenice tvrdé (Lachman et al. 2017).

Dle Martinka et al. (2014) by využití existujících genetických zdrojů pšenic s různými geny pro syntézu barviv a také pochopení mechanismu jejich biosyntézy bylo možné využít pro šlechtění odrůd s vyšším počtem genů pro syntézu těchto látek. Zároveň úspěšné uplatnění

pšeníc s barevným zrnem bude záviset na jejich výnosu, agronomických a technologických vlastnostech, neboť současní donoři genů pro modré, purpurové a žluté zrno vykazují nižší výnosy než běžně pěstované odrůdy.

3.2.2 Anthokyany

Anthokyany představují velmi širokou řadu ve vodě rozpustných barviv způsobujících oranžové, červené, modré a fialové zbarvení rostlinných pletiv. Zároveň jsou anthokyany spolu s karotenoidy jedny z nejpoužívanějších barviv v potravinářském průmyslu a zájem o ně se i nadále zvyšuje, neboť představují přírodní alternativu k syntetickým potravinářským barvivům (Grausgruber et al. 2018). Anthokyany jsou nejenže považovány za neškodné pro lidský organismus, ale jednou z jejich významných charakteristik je jejich antioxidační aktivita, která hraje důležitou roli v prevenci onemocnění nervové a kardiovaskulární soustavy, nádorových onemocnění či diabetu (Castañeda-Ovando et al. 2009). Některé studie rovněž hovoří o pozitivním vlivu konzumace anthokyanů na zlepšení zdraví střev a složení střevní mikrobioty, jež může hrát roli v prevenci obezity, diabetu a dalších metabolických onemocnění (Kapoor et al. 2023), další studie naznačují antimikrobiální působení proti lidským patogenům, především z řad Gram-pozitivních bakterií (Cisowska et al. 2011). Antimikrobiální efekt byl pozorován nejen u extraktů z ovoce a zeleniny obsahující anthokyany (ačkoli studií na toto téma bylo realizováno více), ale i u extraktů mouk a vylisované šťávy z výhonků pšeníc s barevným zrnem. Právě extrakty z mouk z černé a purpurové pšenice ukázaly aktivitu proti bakteriím *Staphylococcus aureus* a *Pseudomonas aeruginosa* již při nízké koncentraci (50 mg/ml) (Sharma et al. 2020).

V organismu mohou anthokyany zastávat i další funkce, těmi mohou být například inhibice některých enzymů, indukce detoxikačních enzymů, aktivace proteinkinázy, zvýšení stability membrán, indukce apoptózy či zastavení buněčného cyklu (Morgounov et al. 2020). Aby mohly být tyto funkce manifestovány v organismu, musí být anthokyany ze stravy dobře stravitelné. Gamel et al. (2019) prováděli *in vivo* studii s purpurovými pšenicemi podávanými zdravým dospělým osobám ve formě cereálních tyčinek a sušenek. Výsledky studie naznačují, že výrobky z purpurové pšenice by se mohly pozitivně uplatnit v lidské výživě a doporučují další, dlouhodobější výzkum vlivu konzumace těchto produktů.

Chun et al. (2007) odhadují denní příjem flavonoidů u americké populace na 189,7 mg/den, z nichž anthokyany představují 1,6 %, nicméně dle Gonçalves et al. (2021) se odhadovaný příjem anthokyanů může pohybovat mezi jednotkami až stovkami miligramů. Vyšší příjem anthokyanů je typický zejména v zemích s tzv. středomořskou stravou bohatou na červeně a modře zbarvené ovoce a zeleninu a červené víno. Vzhledem k tomu, že anthokyany nejsou považovány za esenciální složku stravy, nebyla v našich podmínkách vydána oficiální doporučení pro jejich minimální příjem, nicméně v Číně je doporučován příjem 50 mg na osobu a den.

Nejvýznamnějšími zdroji těchto barviv pro lidskou výživu jsou hrozny révy vinné, dále plody rostlin z čeledi růžovitých (třešně, švestky, maliny, jahody, ostružiny, jablka a další), lilek vejcoplodý, odrůdy brambor s červenou slupkou, černý a červený rybíz, borůvka, brusinka, olivy, červené zelí či ředkvičky. Pro průmyslové získávání anthokyanových barviv nejsou všechny z těchto rostlin vhodné, nejčastěji se pro tento účel využívají plody révy vinné (slupky,

sediment šťávy), plody bezu černého či aronie černoplodé, hlávky červeného zelí, květy ibišku, případně další zdroje (Velíšek & Hajšlová 2009). V rostlinné buňce jsou tato barviva syntetizována v endoplazmatickém retikulu a uložena ve vakuolách (Garg et al. 2022).

Anthokyaniny řadíme z chemického hlediska do skupiny flavonoidních látek. Jedná se o glykosidy anthokyanidinů, pro které je typická flavonoidní struktura. Nejdůležitějšími anthokyanidiny (aglykony) v potravinářství jsou kyanidin, pelargonidin, peonidin, delphinidin a malvinidin, nicméně existují i další. Právě anthokyanidiny do značné míry ovlivňují barvu materiálů, ve kterých se nachází. V jedné rostlině se mohou nacházet anthokyaniny odvozené od jednoho, ale i více různých anthokyanidinů. Pokud jde o cukernou část molekuly, tu mohou představovat monosacharidy (D-glukosa, L-rhamnosa, D-galaktosa, D-xyloza či L-arabiosa) nebo di- a trisacharidy vázané na anthokyanidin v různých polohách. Polohy sacharidů mají velký význam pro chemické vlastnosti anthokyanů a jejich stabilitu. Dalšími důležitými faktory ovlivňujícími barvu a stabilitu těchto látek jsou kromě zmíněné chemické struktury i přítomnost některých enzymů, pH prostředí, teplota, přítomnost kyslíku nebo působení záření (Velíšek & Hajšlová 2009).

Obsah anthokyanů v zrna barevné pšenice může být ovlivněn podmínkami prostředí, abiotický stres jako je například vysoká intenzita slunečního záření, nízké teploty, vysoké zasolení půd či sucho mohou být příčinou zvýšeného obsahu těchto barviv. Ani v průběhu zrání zrna obsah anthokyanů nezůstává konstantní a v době zralosti postupně klesá (Havrlentová et al. 2014). Zároveň lze jejich obsah v zrna ovlivnit vhodnými agrotechnickými opatřeními jako je hnojení hořčíkem či doba sklizně (Garg et al. 2016).

Z hlediska kvantitativního zastoupení anthokyanů v různých odrůdách pšenic se výsledky řady autorů významně liší, výrazně odlišné hodnoty mohou být získány i při použití rozdílných metod. Například Bartl et al. (2013) analyzoval pomocí HPLC jejich obsah ve vzorcích purpurové pšenice odrůdy Abyssinskaja arrasajta a modré pšenice odrůdy Skorpion. V tomto případě autoři zjistili celkový obsah anthokyanů v purpurové pšenici 12,3 mg/kg, v modré pak 8,3 mg/kg. Naproti tomu Zrcková et al. (2018) ve vzorku odrůdy Skorpion naměřili celkový obsah anthokyanů mnohonásobně vyšší – 63,23 mg/kg. Během téhož pokusu byl obsah anthokyanů analyzován i v dalších odrůdách, například AF Jumiko jich obsahovala 12,7 mg/kg.

Kromě zrn byl zjištěn výrazně vyšší celkový obsah anthokyanů i ve šťávě lisované z mladé pšenice – výhonků z pšenice s černým, modrým a purpurovým zrnem ve srovnání s bílou pšenicí, jednalo se ovšem o nižší koncentrace, než byly naměřeny u mouk z těchto genotypů (Sharma et al. 2020).

Pokud jde o konkrétní zastoupené anthokyaniny, pro purpurové pšenice je charakteristický především kyanidin 3-glukosid a kyanidin 3-rutinosid. Ty se vyskytují v menší míře i ve pšenicích s modrým aleuronem, pro které ovšem typický obsah 3-glukosidu a 3-rutinosidu delphinidinu (Sytar et al. 2018). Garg et al. (2016) identifikovali celkem 22 různých anthokyanů v modrých zrnech, 23 v purpurových a 26 v černých.

Kromě přímých účinků anthokyanů na lidské zdraví byl zjištěn i pozitivní vliv anthokyanů na snížení degradace aminokyselin během tepelného ošetření v potravinářských produktech na bázi barevných pšenic oproti výrobkům z pšenice bílé (Sharma et al. 2022). Tian et al. (2018) navíc ve vzorcích zrn barevných pšenic naměřili vyšší obsah aminokyselin (a to včetně esenciálních) oproti běžně pěstované pšenici.

Pokud jde o vlastní stabilitu anthokyanů během potravinářského zpracování, Eliášová et al. (2020) uvádí značné ztráty během pekárenského zpracování. Během tohoto pokusu byl zaznamenán jejich pokles po upečení kynutého těsta na 41,81 % původního obsahu v celozrnné mouce u modrých odrůd a na 70,1 % u purpurových. Po krátkodobém skladování byly hodnoty anthokyanů ještě nižší – 24,21 % a 60 % původního obsahu. U modrých odrůd došlo ke větším ztrátám v důsledku pečení, kdežto u purpurových byly největší ztráty zaznamenány již při výrobě těsta. Přestože se stabilita anthokyanů obsažených v modrých zrnech ukázala jako nižší, obsah anthokyanů ve výsledném produktu byl vyšší právě u modrých linií. Naproti tomu Bartl et al. (2015) při pekařském pokusu naměřili výraznější pokles množství anthokyanů v celozrnném chlebu z purpurové pšenice oproti vzorku z pšenice modré. Větší pokles byl navíc zaznamenán u chlebů pečených po delší dobu při nižší teplotě (180 °C, 31 min.), než u těch, které se pekly při vyšší teplotě kratší dobu (240 °C, 21 min.). Výsledný obsah anthokyanů byl opět vyšší u vzorků z modré pšenice.

3.2.3 Karotenoidy

Karotenoidy jsou narušitelé od anthokyanů převážně lipofilní pigmenty, pro které je typická žlutá a oranžová barva, méně často pak barva žlutozelená až červená. V přírodě jsou značně rozšířené, kromě rostlin se s nimi můžeme setkat i u hub, řas, mikroorganismů i živočichů (Velíšek & Hajšlová 2009). Jejich syntézu *de novo* zajišťují především fotosyntetizující organismy, některá nefotosyntetizující prokaryota a houby. Většina živočichů včetně člověka je pak přijímá v potravě a jsou pro ně esenciální – část z nich plní funkci provitaminu A nazýváme retinoidy. Kromě toho je strava bohatá na karotenoidy spojována s řadou zdravotních benefitů, například zlepšení funkcí imunitního systému a nižší riziko rozvoje chronických degenerativních onemocnění, jako jsou diabetes 2. typu, obezita, některá nádorová onemocnění či kardiovaskulární choroby. Nutno ovšem podotknout, že mechanismus těchto působení není ještě zcela probádán. Některé epidemiologické studie také hovoří o riziku opačného efektu, zejména při nadměrné suplementaci syntetického či purifikovaného β -karotenu (Rodriguez-Concepcion et al. 2018).

Kromě biologické aktivity karotenoidy plní v potravinách i senzorickou funkci – v případě pekárenských výrobků je nažloutlá barva považována konzumenty za atraktivní (Šulová 2011).

Karotenoidy obecně rozdělujeme do dvou hlavních skupin – na karoteny (uhlovodíky – např. α -karoten, β -karoten, lykopen) a xanthofyly (kyslíkaté sloučeniny odvozené od karotenů – např. lutein, zeaxanthin, kryptoxanthin) (Velíšek & Hajšlová 2009). Pšenice se žlutým zbarvením zrna obsahuje v endospermu zvýšené množství karotenoidů, z nichž má majoritní zastoupení lutein (86-94 %) (Martinek et al. 2016). Z dalších karotenoidů byly v pšenicích s barevným zrnem popsány estery luteinu, zeaxanthin a β -karoten, v malých množstvích pak antheraxanthin a α -karoten. Karotenoidy se mohou vyskytovat jak ve volné, tak v esterifikované formě, v závislosti na genotypu (Paznocht et al. 2019). Množství i kvalitativní zastoupení karotenoidů v zrně závisí na mnoha faktorech, jako je odrůda, sezóna, stupeň zralosti či způsob zpracování (Šulová 2011). Šulová et al. (2012) uvádí, že v zrnech původních odrůd obilovin, ze kterých byly současné odrůdy vyšlechtěny, bylo obsaženo okolo 1000 μg karotenoidů na 100 g, kdežto současné odrůdy pšenice seté jich obsahují kolem 200 $\mu\text{g}/100\text{ g}$. Ve vzorcích

žlutozrných odrůd Citrus a Luteus byl zjištěn trojnásobný obsah celkových karotenoidů v mouce a dvojnásobný obsah luteinu ve šrotu oproti běžně pěstované elitní odrůdě Akteur.

Kromě odrůd pšenice seté se žlutým endospermem byly karotenoidy ve zvýšeném množství identifikovány i v dalších barevných genotypech, například Paznocht et al. (2018) uvádí příklad novošlechtění V1-131-15 s modrým aleuronem obsahující celkové množství karotenoidů 7,46 $\mu\text{g/g}$ v sušině, což představovalo více než dvojnásobné množství oproti kontrolní, běžně pěstované odrůdě Bohemia. Obsah karotenoidů v modrých i purpurových pšenicích se ovšem vždy lišil genotyp od genotypu. Ve skupině pšenic se žlutým endospermem, jež analyzovali Burešová et al. (2021), se celková množství karotenoidů v sušině zrna pohybovala od 5,56 $\mu\text{g/g}$ do 8,29 $\mu\text{g/g}$, což bylo několikanásobně více oproti tradiční červené pšenici (1,61 $\mu\text{g/g}$). Ve stejném souboru vzorků se vyskytovaly i pšenice s modrým a purpurovým zrnem, jež některé mírně předčily v obsahu karotenoidů červenou pšenici, ovšem nejednalo se o statisticky významný rozdíl. Pokud jde o obsahy karotenoidů u dalších pšenic, Hidalgo et al. (2010) uvádí pro pšenici tvrdou (*Triticum turgidum* L. subsp. *durum*) hodnoty od 1,5 do 4,8 mg/kg a pro jednozrnku (*T. monococcum* L. subsp. *monococcum*) rozsah hodnot mezi 5,5 mg/kg a 13,6 mg/kg (průměr 8,5 mg/kg).

Stejně jako obsah anthokyanů, i obsah karotenoidů se mění v průběhu zpracování pekárenských výrobků. Nejvýznamnějšími procesy, jež způsobují degradaci karotenoidů, jsou přímá oxidace, enzymatická oxidace a působení vysokých teplot. Co se týče přímé oxidace, dochází k ní především v důsledku mechanického narušení zrna a tím zpřístupnění působení kyslíku. Enzymatická oxidace se uplatňuje nejvíce při mísení mouky s vodou, díky kterému dochází k aktivaci enzymů. Pokud jde o působení vysokých teplot, setkáváme se s ním nejčastěji v případech pečení, extruze či pufování (Burešová et al. 2023).

Paznocht et al. (2019) ve své práci uvádí významný vliv přípravy kynutého těsta na destrukci karotenoidů, konkrétně se po přípravě těsta obsah celkových karotenoidů snížil o 61,5 %. Zeaxanthin se zde ukázal jako více stabilní, kdežto α -karoten byl zničen. Menší efekt pak měla tepelná úprava. Vzorky byly následně skladovány po dobu 24 hodin. Měření provedená po této době skladování ukazují, že byla zachována pouze čtvrtina celkového obsahu karotenoidů, která byla naměřena v původní mouce.

Burešová et al. (2021) v navazující práci doplňují, že při výrobě nekynutého chleba docházelo k podstatně nižší redukci lipofilních antioxidantů během pečení než při hnětení těsta. Během přípravy těsta se navíc ukázala významná ochranná role tokolů ve vztahu ke karotenoidům – čím vyšší byl počáteční obsah tokolů v mouce, tím vyšší procento karotenoidů zůstalo zachováno. Autoři rovněž poukazují na vliv zkrácené doby hnětení a kynutí (či vynechání této fáze) na výsledný obsah karotenoidů.

Paznocht et al. (2021) následně zjišťovali vliv zpracování zrna barevné pšenice pomocí technologií extruze a pufování na obsah karotenoidů ve výsledném produktu. Výsledky ukázaly výrazné snížení obsahu karotenoidů, konkrétně na 25,7 % u extrudovaných a na 31,6 % u pufovaných výrobků. Pro zachování obsahu karotenoidů proto autoři doporučují pokračovat v hledání vhodnější zpracovatelské technologie. Tou by dle Burešové et al. (2023) mohlo být vaření, jež ve srovnání s výše zmíněnými metodami vedlo během pokusů k nejmenším ztrátám karotenoidů. Podíl celkových karotenoidů, jež zůstaly zachovány v uvařeném zrně, dosáhl v průměru 72,7 %. Autoři se zároveň zabývali vlivem procesu trávení těchto vařených zrn na degradaci karotenoidů. Výsledkem experimentů *in vitro* byl pokles celkových karotenoidů

o 12,1 %, v trávenině zůstalo tedy zachováno v průměru 60,6 % celkových karotenoidů z původního množství v znu. Tyto karotenoidy by tedy mohly být vstřebány do organismu, případně by mohly vyvíjet antioxidační aktivitu přímo ve střevě a napomáhat tak k ochraně střevních buněk před volnými radikály.

3.2.4 Další nutričně významné složky

Pšenice s barevným zrnem obsahují kromě charakteristických anthokyanů a karotenoidů celou řadu dalších fytochemikálií a nutrientů s příznivým účinkem na zdraví konzumentů. Ve srovnání s běžnou pšenicí byl u barevných kultivarů zaznamenán přibližně o 11,74 až 18,17 % vyšší obsah bílkovin a o 7,31 až 18,13 % vyšší obsah esenciálních aminokyselin. Zajímavý je rovněž zvýšený obsah některých mikronutrientů, konkrétně byly zjištěny hodnoty vyšší hodnoty u barevných pšeníc o přibližně 108,54 až 142,68 % u zinku, o 8,57 až 42,86 % u železa a o 4,31 až 40,63 % u obsahu hořčíku. Nicméně celkový obsah mikronutrientů není vždy vyšší než u běžné pšenice. Z bioaktivních komponent je pak zajímavý obsah polyfenolů a fenolických kyselin (Saini et al. 2021). Obsahem fenolických kyselin pak obzvláště vynikají pšenice s modrým aleuronem (Paznocht et al. 2019).

Dhua et al. (2021) ve své práci uvádí, že pšenice s černým zrnem ve srovnání s konvenčně pěstovanou pšenicí obsahuje více bílkovin, vlákniny, vápníku a vitamínu K. Zároveň obsahuje vyšší množství flavonoidů a fenolických sloučenin a disponuje vyšší antioxidační aktivitou.

3.2.5 Odrůdy pšeníc s barevným zrnem v ČR

V roce 2011 byla v Rakousku registrována a v následujícím roce zařazena do Společného katalogu odrůd a druhů zemědělských rostlin EU česká ozimá odrůda Skorpion s modrým zbarvením zrna. V letech 2019, 2020 a 2021 zde byly postupně registrovány odrůdy AF Jumiko (purpurové zno), AF Oxana (modré zno) a AF Zora (černé zno), jež byly vyšlechtěny firmou Agrotest Fyto s.r.o. v Kroměříži (Podloucká et al. 2021). Poslední zmíněná odrůda – AF Zora je pravděpodobně první oficiálně registrovanou odrůdou s černým zrnem v Evropě (Martinek 2021). V roce 2021 byla u nás registrována jarní odrůda s purpurovým zrnem Rufia, šlechtitelem byl Výzkumný ústav rostlinné výroby v Praze – Ruzyni. Její zkoušení probíhalo v ekologickém režimu pěstování (ÚKZÚZ 2021).

Od roku 2011 jsou v ČR registrovány rovněž žlutozrné odrůdy Citrus (ozimá) a Luteus (jarní) z Německa. První českou odrůdou se žlutým zrnem je Pexeso (jarní), jež byla vyšlechtěna firmou Selgen, a.s. a registrována v roce 2018 (Podloucká et al. 2021).

3.2.6 Technologická jakost pšeníc s barevným zrnem

Technologická kvalita pšeníc s barevným zrnem může být do určité míry predikována pomocí genetických markerů pro některé jakostní ukazatele. Vyhnánek et al. (2015) prováděli detekci alel lokusu Glu-A3 determinující nízkomolekulární podjednotky gluteninů, detekci nulových alel pro waxy geny a detekci alel pro puroindolin a a b ovlivňující tvrdost obilky. Z výskytu alel Glu-A3f, Glu-A3c a Glu-A3d vyplývá pozitivní efekt na odpor a tažnost těsta a s nimi dobrý potenciál pekařské kvality. Nulové alely pro waxy geny byly detekovány pouze u části vzorků. Tento znak je důležitý především z hlediska vhodnosti suroviny na přípravu asijských nudlů udon a ovlivňuje poměr amylozy vůči amylopektinu. Co se týče genů

ovlivňujících tvrdost zrna, byly zde detekovány alely Pina-D1a, Pinb-D1b, Pinb-D1a a Pinb-D1d. Poslední dvě jmenované alely jsou typické pro odrůdy s tvrdým zrnem.

Saini et al. (2020) uvádí, že výtěžnost mouky z barevných pšenic je nižší než u běžných odrůd díky malému objemu a hmotnosti zrn. To potvrzují i Žofajová et al. (2017) – nejlepšího výnosu dosáhly v porovnání s purpurovými a modrými žlutozrné odrůdy, nicméně jejich výsledek byl stále horší než kontrola.

Vaculová et al. (2010) se zabývali hodnocením technologických vlastností souboru netradičních pšenic. Jednalo se o ozimé i jarní formy pšenic s purpurovým, modrým a žlutým zbarvením zrna, zařazeny zde byly již registrované odrůdy i novošlechtění, jejichž technologické parametry se ukázaly být velmi odlišné vzorek od vzorku. Všechny testované pšenice splnily požadavek na obsah dusíkatých látek pro pekárenské zpracování. Minimální požadavek na objemovou hmotnost byl dodržen téměř u všech odrůd kromě odrůdy Abyssinskaja arrasajta (purpurový perikarp). Co se týká čísla poklesu, vzorky vykazovaly vysoké hodnoty, což odpovídá testovanému ročníku. Výsledky Zeleného testu byly v normě pro pekárenskou pšenici, ovšem opět kromě odrůdy Abyssinskaja arrasajta. Obsah mokrého lepku se ve vzorcích výrazně lišil, vysoký obsah byl zaznamenán u vzorků zrna s purpurovým perikarpem Konini, ANK 28B a překvapivě i Abyssinskaja arrasajta. Naopak nejnižší obsah mokrého lepku byl naměřen u odrůdy Citrus, jež se jinak řadí do kvalitativní skupiny A. Na základě Gluten indexu byl lepek odrůdy Citrus hodnocen jako silný, u UC 66049 s modrým aleuronem byl zjištěn velmi silný lepek. Naopak Gluten index vzorku Abyssinskaja arrasajta byl nízký. Reologické hodnocení pak ukázalo výsledky od pekařsky slabé až střední mouky z odrůdy Citrus, přes pekařsky střední vzorek genotypu RU 440-6 s modrým aleuronem až k silným a velmi silným moukám ostatních vzorků.

K podobným výsledkům došli i Jirsa et al. (2012), u odrůdy Citrus byl z celého souboru naměřen nejnižší obsah mokrého lepku, nicméně se jednalo o lepek velmi silný. U vzorků genotypů RU 440-6 a ANK 28B byly zjištěny vyšší obsahy středně silného lepku. Co se týče reologických vlastností, zde se velmi projevil vliv lokality.

Dle Šulové et al. (2012) jsou ze žlutozrných odrůd vhodné k pekárenskému zpracování kromě výše zmíněné odrůdy Citrus ještě ozimé Caroti a Yellow, z jarních pak Luteus a Safrania.

Další perspektivní odrůdou je česká odrůda se žlutým zrnem Pexeso, jež byla zařazena do jakostní skupiny A, je vhodná pro výrobu pečiva i jako krmivo, má vysokou objemovou hmotnost (820 g/l), vysoký objem pečiva, velmi vysokou hodnotu Zeleného testu (62 ml) a vysoký obsah dusíkatých látek (13,6 %) (Skřivan & Englmaierová 2020).

Martinek et al. (2012) uvádí, že odrůda Skorpion s modrým zbarvením zrna vykazuje pekařskou jakost na úrovni kvality B a její výnosy jsou oproti běžně pěstovaným pšenicím nižší. Výtěžnost mouky byla střední, obsah hrubých bílkovin a lepku vysoký, pádové číslo velmi nízké a střední objem pečiva. Další modrozrná odrůda AF Oxana se dle Martinka et al. (2019) řadí do pekařské skupiny B – jakost chlebová. Má vysokou objemovou výtěžnost pečiva, obsah dusíkatých látek i hodnotu Zeleného testu. Vaznost mouky je středně vysoká až vysoká, hodnota pádového čísla střední až nízká, objemová hmotnost zrna nízká.

Odrůda s purpurovým zrnem AF Jumiko byla klasifikována jako chlebová (kategorie B). Objemová výtěžnost pečiva je nízká, obsah dusíkatých látek střední až nízký, hodnota Zeleného testu nízká. Vaznost mouky je vysoká, hodnota čísla poklesu dokonce velmi vysoká a má odolnost vůči porůstání, objemová hmotnost zrna je vysoká (Martinek et al. 2018)

Dle Dhua et al. (2021) mají pšenice s černým zrnem zkoumané v Indii dostatečnou sílu lepku pro vývoj pekárenských výrobků. Jediná odrůda s černým zrnem registrovaná u nás, AF Zora, byla dle ÚKZÚZ z hlediska pekařské kvality zařazena do skupiny B. Objem pečiva byl vysoký, stejně tak obsah dusíkatých látek, nicméně hodnota Zeleného testu byla nízká, vaznost mouky středně vysoká, stejně tak hodnota pádového čísla (Martinek 2021).

Kumari et al. (2020) hodnotili kvalitativní parametry zrn s bílým, modrým, purpurovým a černým zbarvením vypěstovaných v Indii. V tomto souboru vzorků měla nejvyšší HTS purpurová zrna, stejně tak u nich byla naměřena nejvyšší tvrdost. Co se týče výsledků sedimentačního testu, největším objemem sedimentu disponovala pšenice bílá. Celý soubor vzorků byl následně posuzován ve vztahu k výrobě chapatti, tradičních indických pšeničných placek. Autoři pšenice s barevným zrnem pro tento typ výrobku doporučují, neboť výsledné placky měly kromě nutričního benefitu i přijatelné sensorické vlastnosti, příjemnou chuť a měkkou texturu.

Dále Kumari et al. (2022) porovnávali vlastnosti pšeničných nudlí vermicelli vyrobených z bílé, purpurové a černé pšenice. Pro výrobu tohoto typu těstovin se černé i purpurové pšenice ukázaly být vhodné z hlediska kvality vyrobených těstovin, jejich skladovatelnosti i sensorické přijatelnosti. U nudlí z černé pšenice se prokázala nejvyšší antioxidační aktivita a obsah bílkovin, zároveň tyto vzorky dosáhly nejlepšího výsledku při porovnání chuti a sensorických vlastností.

Pasqualone et al. (2015) posuzovali vhodnost pšenice s purpurovým zrnem pro výrobu sušenek, jež porovnávaly se vzorky konvenčně pěstované odrůdy pšenice tvrdé (*Triticum durum*) Ciccio. Zde se výsledky kvalitativních znaků sušenek z purpurové ukázaly jako mírně horší, neboť měla purpurová pšenice vyšší sílu lepku. Toho by bylo možné s výhodou využít u jiných druhů výrobků. Během tohoto pokusu byl také pozorován pravděpodobný protektivní účinek anthokyanů vůči lipidům díky vyšší antioxidační aktivitě purpurové pšenice.

Zajímavostí může být využití pšenic s barevným zrnem pro výrobu alkoholických nápojů. V Kanadě testovaný AnthoGrain likér s obsahem alkoholu 30 % obj. z pšenice s purpurovým zrnem obsahoval více než 81 mg anthokyanů/litr, přičemž aroma výrobku bylo charakterizováno podobně jako u konvenčního produktu Canadian Iceberg Vodka (Li & Beta 2011).

3.2.7 Využití barevných pšenic ve výživě zvířat

Neméně zajímavé uplatnění pšenic s barevným zrnem může být díky jejich zařazení do krmných směsí pro hospodářská zvířata. Během krmného pokusu na slepicích Rückschloss et al. (2010) zaznamenali, že zařazením purpurové pšenice do krmné směsi bylo dosaženo zlepšení parametrů snášky a snížení množství krmiva na jednotku produkce. V jakostních parametrech vajec a barvě žloutku nebyly zaznamenány výrazné rozdíly. Naproti tomu Šťastník et al. (2017) při zkrmování pšenic s modrým a purpurovým zrnem brojlerovým kuřatům nezaznamenal rozdíly v parametrech výkrmu. Nicméně při tomto pokusu, který zahrnoval i testování krmných směsí na potkanech, bylo dosaženo zvýšení antioxidační kapacity a snížení cholesterolu v krvi u testovaných zvířat při vysokém zastoupení barevných pšenic v krmné směsi. Negativní účinky při zkrmování barevných pšenic nebyly zaznamenány ani u jedné ze skupin, což potvrzují i Mrkvicová et al. (2016). Výsledky jejich pokusů na krysách a kuřatech

navíc naznačují, že zkrmování purpurové pšenice Konini může zlepšit antioxidační aktivitu a funkčnost jaterních tkání těchto zvířat, nicméně u pokusných ryb se tento účinek nepotvrdil.

Skřivan & Englmaierová (2020) uvádí pozitivní vliv na barvu žloutku při zařazení pšenice se žlutým zrnem odrůdy Pexeso do krmné dávky nosným slepicím. Zároveň byla zjištěna nižší spotřeba krmné směsi na 1 kg vaječné hmoty, nicméně kvalita bílku dle Haughových jednotek se jevila jako horší. Během pokusu byla též ohodnocena pevnost skořápky, jež byla významně vyšší oproti kontrole. Zařazení Pexesa mělo pozitivní vliv i na skladovatelnost vajec díky snížení oxidace čerstvých i skladovaných vajec.

Mareš et al. (2015) hodnotili vliv zařazení pšenice s purpurovým zrnem odrůdy Konini do krmné směsi pro kapra obecného. Zde byl v některých produkčních parametrech (např. výtěžnost masa či přírůstek na délce ryby) zaznamenán pozitivní vliv testované pšenice.

4 Metodika

Experimentální část této diplomové práce je věnována hodnocení mlynářských a pekařských vlastností souboru pěti ozimých odrůd pšenice seté s barevným zrnem a jejich porovnání s běžnou odrůdou pšenice seté Annie.

Testované vzorky odrůd pšenic s barevným zrnem i vzorky kontrolní odrůdy pšenice seté pocházely z přesného maloparcelkového polního pokusu, jež probíhal na pokusných pozemcích výzkumné stanice Katedry rostlinné výroby (nyní Katedry agroekologie a rostlinné produkce) FAPPZ ČZU v Praze – Uhřetěvesi v experimentálních ročnících 2015/2016 a 2016/2017. Pokus byl veden v ekologickém i konvenčním způsobu pěstování.

4.1 Základní údaje o agrotechnice pokusu

Na obou pokusných plochách (ekologické i konvenční) byla v obou letech předplodinou peluška jarní, použitý výsevek byl 400 klíčivých obilek na m². Pokus byl veden metodou znárodněných bloků, ve třech opakováních, velikost pokusné parcelky 12 m². V ekologickém systému bylo v průběhu vegetace (odnožování – sloupkování) 3x použito vláčení porostu plecími branami. V konvenčním systému byla v průběhu vegetace (odnožování) provedena herbicidní ochrana (Agritox + Starane + Lontrel 1,5 l/ha). Celková dávka dusíku v konvenčním systému byla 100 kg N/ha, rozdělená do dávky regenerační (50 kg N/ha; LAV 27) a produkční (50 kg N/ha; LAV 27). Po sklizni byly odebrány z jednotlivých pokusných parcel vzorky zrna pro jakostní analýzy; ty probíhaly v laboratořích FAPPZ na ČZU v Praze.

4.2 Charakteristika hodnocených odrůd

Annie

Středně raná elitní (E) odrůda. Rostliny středně vysoké, středně odolné až odolné proti poléhání. Zrno velké. Výnos zrna v závislosti na oblasti a způsobu pěstování středně vysoký až velmi nízký. Velmi vysoký objem pečiva, obsah N-látek velmi vysoký, hodnota Zeleného testu vysoká, vaznost mouky velmi vysoká, hodnota čísla poklesu velmi vysoká, objemová hmotnost vysoká až velmi vysoká. Registrace v ČR v roce 2014.

Citrus

Pozdní až velmi pozdní pekařsky kvalitní (A) odrůda s vysokým obsahem žlutého pigmentu v endospermu zrna. Rostliny vysoké, náchylné k poléhání. Zrno malé až velmi malé. Výnos velmi nízký. Velmi vysoký objem pečiva, středně vysoký obsah N-látek, hodnota Zeleného testu středně vysoká, vaznost mouky středně vysoká, hodnota čísla poklesu středně vysoká, objemová hmotnost středně vysoká. Registrace v ČR v roce 2011.

PS Karkulka

Středně raná odrůda s purpurovým zbarvením zrna způsobeným vysokým obsahem antokyanů v perikarpu. Rostliny středně vysoké, středně odolné k vyzimování a méně odolné k poléhání. Zrno drobné. Velmi vysoký obsah N-látek a lepku, vysoké a stabilní číslo poklesu, vysoká vaznost vody moukou. Registrace na Slovensku v roce 2014.

Skorpion

Středně pozdní až pozdní odrůda s kvalitou na úrovni B (chlebová pšenice). Zrno má modré zbarvení díky vysokému obsahu antokyanů v aleuronové vrstvě. Střední délka stébla. Vysoká HTS, vysoký obsah bílkovin, vysoký Zelenyho test, vysoká vaznost vody moukou, nízká objemová hmotnost zrna, nízká stabilita těsta a střední objem pečiva. Vyžaduje ošetření proti poléhání a houbovým chorobám. Registrace v Rakousku v roce 2011.

AF Oxana

Středně raná odrůda s modrým zbarvením zrna způsobeným vysokým množstvím anthokyanů v aleuronové vrstvě. Pekařská jakost na úrovni B (chlebová). Středně vysoké rostliny, středně odolné vůči poléhání, dobrá mrazuvzdornost. Tolerantní k suchu, méně odolná k porůstání. Zrno velké, nízká objemová hmotnost zrna. Vysoký obsah N-látek, vysoká hodnota Zelenyho testu, vaznost vody moukou středně vysoká až vysoká, číslo poklesu středně vysoké až nízké, vysoká objemová výtěžnost pečiva. Registrace v ČR v roce 2019.

AF Jumiko

První česká odrůda s purpurovým zbarvením zrna, jež je způsobeno vysokým obsahem anthokyanů v perikarpu zrna. Středně raná odrůda s pekařskou kvalitou na úrovni B (chlebová). Rostliny středně vysoké až vysoké, méně odolné až náchylné k poléhání. Odolnost vůči porůstání. Zrno drobné. Výnos velmi nízký. Objemová hmotnost zrna vysoká, středně vysoký až nízký obsah N-látek, nízká hodnota Zelenyho testu, velmi vysoké číslo poklesu, vysoká vaznost vody moukou, nízká objemová výtěžnost pečiva. Registrace v ČR v roce 2018.

4.3 Hodnocení kvalitativních parametrů zrna

Po sklizni pšenice na VS Praha-Uhřetěves byly odebrány z každého opakování cca 3 kg vzorky zrna, které byly použity pro jakostní hodnocení. To probíhalo v laboratořích FAPPZ na ČZU v Praze.

U vzorků zrna byla stanovena objemová hmotnost – dle ČSN ISO 7971 (použita objemová váha, MEZOS s.r.o., Hradec Králové, ČR). Poté byla část zrna (cca 0,5 kg) sešrotována na laboratorním šrotovníku PSY MP 40 (MEZOS s.r.o., Hradec Králové, ČR) se sítkem s otvory o průměru 0,8 mm a získaný šrot byl použit pro stanovení následujících ukazatelů kvality zrna:

- vlhkost šrotu (%) dle ČSN 56 0512-7
- obsah N-látek v sušině zrna (%) dle ČSN ISO 1871 (přístroj Kjeltec KT 200, FOSS GmbH, Hilleroed, Dánsko)
- obsah mokrého lepku v sušině zrna (%) dle ČSN ISO 5531 (přístroj Glutomatic 2200) za současného stanovení Gluten Indexu (Pertin Instruments AB., Hluddinge, Švédsko)
- číslo poklesu (s) dle ČSN ISO 3093 (přístroj Falling Number 1400, Pertin Instruments AB., Hluddinge, Švédsko)

Ke stanovení sedimentačního indexu (Zelenyho test) byla použita mouka získaná semletím zrna na laboratorním mlýnku FQC pro Zelenyho test. Sedimentační index – Zelenyho test (ml) byl proveden dle ČSN ISO 5529 (přístroj Seditester, ZZN Strakonice a.s., ČR).

Zbývající část zrna (o hmotnosti cca 2 kg) byla přečištěna přes síto s obdélníkovými otvory o šířce 2,25 mm. Vyčištěný vzorek byl nasypán do uzavřeného zásobníku loupáčky (historický prototyp), kde byly nastaveny otáčky na hodnotu 600 ot/min. Zde dochází k povrchovému odírání zrna, odstranění prachu, nejvrchnější vrstvy obalů a klíčku. Následovalo nakropení zrna na 15% vlhkost. Nakropený vzorek zrna se nechal odležet do druhého dne, aby se vlhkost rovnoměrně rozptýlila v povrchových vrstvách zrna.

Takto připravený vzorek byl semlet na laboratorním mlecím automatu Bühler MLU 202 (Bühler AG, Uzwil, Švýcarsko) (před nasypáním do mlýna byl zvážen). Mletí probíhá ve dvou sekcích. Každá sekce je rozdělena na tři části; propad meliva skrze příslušná síta tvoří určitou velikostní frakci – pasáž mouky. Proces mletí se opakuje. Na levé straně mlýna jsou zachyceny tři frakce šrotových mouk, na pravé tři frakce vymílacích mouk a dále se ještě zvlášť oddělí hrubý odpad (otruby) a jemný odpad (drobnější částice obalových vrstev). Hmotnosti jednotlivých pasáží mouky byly použity k výpočtu výtěžnosti šrotových a vymílacích mouk a celkové výtěžnosti mouk.

Poté byly jednotlivé pasáže mouk smíchány takovým způsobem, aby odpovídaly běžné pekařské mouce T530 (získána smísením tří frakcí mouky vymílací a první frakce mouky šrotové). Laboratorně vyrobená mouka T530 pak byla použita pro stanovení vaznosti vody a reologických vlastností na farinografu a pro pekařský pokus.

Hodnocení farinografických ukazatelů bylo provedeno dle ČSN ISO 5530-1 (přístroj Brabender farinograph, Brabender GmbH, Duisburg, Německo). Stanovena byla vaznost vody moukou (%), doba vývinu těsta (min.), doba stability těsta (min.) a pokles konzistence (B.J. – Brabenderovy jednotky).

Pekařský pokus byl proveden dle interního předpisu převzatého z bývalého Výzkumného ústavu mlýnského a pekárenského průmyslu v Praze:

- receptura: 300 g pšeničné mouky, 12 g droždí, 3 g tuku, 4,5 g cukru, 5,1 g soli, 1,5 g diasty + množství vody dle vaznosti
- stanovené parametry: měrný objem pečiva (ml/100 g), poměr výšky a šířky pečiva, senziorické vlastnosti pečiva (legenda k senziorickému hodnocení pečiva se nachází v Přílohách).

4.4 Statistické vyhodnocení výsledků

Výsledky byly statisticky vyhodnoceny pomocí třífaktorové analýzy rozptylu (ANOVA) s interakcemi v programu SAS, verze 9.4 (SAS Institute, Cary, USA), na hladině významnosti $P < 0,001$, $P < 0,01$ a $P < 0,05$. Průkaznost rozdílů mezi průměry byla vyhodnocena pomocí Tukeyova HSD testu na hladině významnosti $P < 0,05$.

5 Výsledky

5.1 Hodnocení základních jakostních ukazatelů zrna

U souboru testovaných genotypů ozimé pšenice s barevným zrnem a kontrolní odrůdy pšenice seté Annie byly hodnoceny základní ukazatele technologické kvality zrna – objemová hmotnost zrna, obsah N-látek v sušině zrna, obsah mokrého lepku v sušině zrna, sedimentační index – Zelenyho test, Gluten Index a číslo poklesu.

Míru ovlivnění jednotlivých ukazatelů technologické jakosti zrna pšenice sledovanými faktory (odrůdou, ročníkem a systémem pěstování) a jejich interakcemi vyjadřují hodnoty testovacího kritéria F (Tab. 3).

Tabulka 3 Hodnocení míry ovlivnění základních ukazatelů technologické jakosti sledovanými faktory a jejich interakcemi (ANOVA, hodnoty testovacího kritéria F ; kompletní třífaktorový model s interakcemi)

| | Objemová hmotnost | Obsah N-látek v sušině zrna | Obsah mokrého lepku v sušině zrna | Gluten Index | Zelenyho test | Číslo poklesu |
|----------------------|-------------------|-----------------------------|-----------------------------------|--------------|---------------|---------------|
| Odrůda (O) | 898,48*** | 252,05*** | 346,11*** | 1008,25*** | 1192,79*** | 228,07*** |
| Rok (R) | 23,22** | 109,92*** | 83,78*** | 15,22* | 19,20* | 369,72*** |
| Systém pěstování (S) | 20,55** | 749,91*** | 545,21*** | 609,12*** | 832,70*** | 16,66* |
| R × O | 9,35* | 9,18* | 12,65* | 15,08* | 18,15* | 17,77* |
| R × S | 0,76* | 46,29** | 47,21** | 13,14* | 12,64* | 9,87** |
| O × S | 14,22** | 101,25** | 65,18** | 212,11*** | 305,37*** | 7,15* |
| R × O × S | 8,81* | 26,15** | 18,16** | 4,11* | 6,96* | 9,80* |

$P < 0,05^*$; $P < 0,01^{**}$; $P < 0,001^{***}$

Z výsledků je patrné, že objemová hmotnost zrna byla ovlivněna převažujícím způsobem odrůdou; vliv systému pěstování a ročníku byl slabší, přesto však statisticky průkazný. Statisticky průkazně se uplatnily i jednotlivé interakce.

Na obsahu N-látek se projevil nejvíce systém pěstování, nicméně i vliv odrůdy a ročníku byl statisticky průkazný, přičemž vliv odrůdy převažoval nad ročníkem. Méně se projevil jednotlivé interakce; jejich vliv byl však i přesto statisticky průkazný.

Obsah mokrého lepku byl opět ovlivněn především systémem pěstování; následoval vliv odrůdy a vliv ročníku, který byl slabší, přesto však statisticky průkazný, stejně jako vliv jednotlivých interakcí.

Gluten index byl ovlivněn poměrně výrazně převažujícím způsobem odrůdou; následoval vliv systému pěstování. Vliv ročníku a jednotlivých interakcí byl slabší, přesto statisticky průkazný, a poměrně výrazně se uplatnila interakce odrůda × systém pěstování. Velmi podobně se uplatnil vliv jednotlivých faktorů i jejich interakcí v případě Zelenyho testu – i zde byl zaznamenán výrazně převažující vliv odrůdy na tento jakostní parametr.

Odlišná situace byla zaznamenána v případě čísla poklesu. Zde převážil vliv ročníku následovaný odrůdou, vliv obou těchto faktorů byly vysoce statisticky průkazný. Naproti tomu

vliv systému pěstování a vliv jednotlivých interakcí byl znatelně nižší, přesto však statisticky průkazný.

Průkaznost rozdílů v hodnotách základních ukazatelů technologické jakosti mezi průměry odrůd, ročníků a systémů pěstování, zjištěná na základě Tukeyeho testu uvádí tabulka č. 4.

Tabulka 4 Průkaznost rozdílů v hodnotách základních ukazatelů technologické jakosti mezi průměry odrůd, systémů pěstování a ročníků (Tukey HSD_{0,05} test)

| | Objemová hmotnost (kg/hl) | Obsah N-látek v sušině zrna (%) | Obsah mokrého lepku v sušině zrna (%) | Gluten Index (%) | Zeleného test (ml) | Číslo poklesu (s) |
|---------------------------|---------------------------|---------------------------------|---------------------------------------|------------------|--------------------|-------------------|
| Annie | 78,04a | 11,37a | 25,86a | 82,50a | 36,25b | 284,25b |
| AF Jumiko | 77,50b | 10,78c | 23,94b | 68,75c | 26,75f | 298,75a |
| PS Karkulka | 76,17c | 11,36a | 26,10a | 79,50b | 29,50d | 242,50e |
| Citrus | 74,19d | 10,01d | 21,42c | 66,25c | 28,25e | 269,75c |
| AF Oxana | 73,55e | 11,21ab | 25,75a | 82,50a | 39,50a | 258,75d |
| Skorpion | 72,03f | 10,93c | 23,38b | 78,75b | 34,75c | 273,75c |
| <i>HSD_{0,05}</i> | <i>0,41</i> | <i>0,16</i> | <i>0,67</i> | <i>1,02</i> | <i>0,88</i> | <i>7,16</i> |
| EKO | 74,40b | 9,89b | 21,70b | 71,17b | 28,17b | 266,58b |
| KONV | 76,09a | 12,00a | 27,71a | 81,58a | 36,83a | 276,00a |
| <i>HSD_{0,05}</i> | <i>0,16</i> | <i>0,07</i> | <i>0,31</i> | <i>0,48</i> | <i>0,40</i> | <i>3,35</i> |
| 2016 | 74,38b | 11,14a | 25,28a | 76,00b | 33,67a | 285,17a |
| 2017 | 76,11a | 10,74b | 24,12b | 76,75a | 31,33b | 257,42b |
| <i>HSD_{0,05}</i> | <i>0,16</i> | <i>0,07</i> | <i>0,31</i> | <i>0,48</i> | <i>0,40</i> | <i>3,35</i> |

Z výsledků je patrné, že nejvyšší objemové hmotnosti v průměru dosáhla kontrolní odrůda pšenice Annie, následována odrůdami s purpurovým perikarpem AF Jumiko a PS Karkulka, odrůdou se žlutým endospermem Citrus a s modrým aleuronem AF Oxana. Nejnižší objemová hmotnost byla v průměru zaznamenána u odrůdy s modrým aleuronem Skorpion. Mezi všemi hodnocenými odrůdami byl zaznamenán statisticky průkazný rozdíl. Min. požadavek na OH pšenice potravinářské (76 kg/hl) by splnily tři odrůdy – Annie, AF Jumiko a PS Karkulka. Statisticky průkazný rozdíl byl zjištěn i mezi oběma systémy pěstování (vyšší hodnota OH byla v průměru zaznamenána v konvenčním systému) a mezi oběma ročníky (vyšší OH dosáhly hodnocené odrůdy v roce 2017).

V obsahu N-látek v sušině zrna se průměry jednotlivých odrůd pohybovaly pod minimální hranicí pro pšenici pekárenskou (11,5 %). Nejvyšší průměrné hodnoty obsahu N-látek byly zjištěny u odrůd Annie, PS Karkulka a AF Oxana, které se mezi sebou v tomto znaku statisticky průkazně nelišily. Následně se umístila odrůda AF Jumiko spolu se Skorpionem, nejnižší obsah N-látek v sušině zrna měla odrůda Citrus, která se statisticky průkazně lišila od všech ostatních odrůd. Celkově výrazně lepších výsledků dosahovaly dle očekávání konvenčně pěstované odrůdy, jejichž průměr činil 12 %. Hodnocené odrůdy z ekologického systému pěstování dosáhly obsahu N-látek v sušině zrna v průměru pouze

na úrovni 9,89 %; rozdíl mezi oběma systémy pěstování byl ovšem statisticky průkazný. Statisticky průkazný rozdíl v obsahu N-látek v sušině zrna byl zaznamenán i mezi oběma ročníky; v roce 2016 byl průměrný obsah N-látek v sušině zrna vyšší než v roce následujícím.

Pokud jde o obsah mokrého lepku v sušině zrna, průměrné výsledky jednotlivých odrůd, systémů pěstování i ročníků vykazovaly obdobný trend, jako tomu bylo v případě obsahu N-látek v sušině zrna. Nejvyšší obsah mokrého lepku v sušině zrna byl zaznamenán u odrůd PS Karkulka, Annie a AF Oxana; tyto odrůdy se v tomto znaku od sebe statisticky průkazně nelišily. Následovala dvojice odrůd AF Jumiko a Skorpion, která se rovněž mezi sebou statisticky průkazně nelišila. Nejnižší průměrný obsah mokrého lepku v sušině zrna byl zjištěn u odrůdy Citrus. Rozdíl mezi oběma systémy pěstování byl opět statisticky průkazný; vyšší obsah mokrého lepku byl zjištěn u konvenčně vypěstovaných odrůd. Stejně jako v případě obsahu N-látek v sušině zrna, i obsah mokrého lepku v sušině zrna byl v roce 2016 v průměru vyšší oproti roku 2017 a statisticky průkazně se od něj odlišoval.

Nejvyšších průměrných hodnot Gluten Indexu dosáhly odrůdy Annie a AF Oxana, které se od sebe statisticky průkazně neodlišovaly, stejně jako se od sebe průkazně nelišily odrůdy PS Karkulka a Skorpion. Nižší hodnoty Gluten Indexu byly zaznamenány u odrůd AF Jumiko a Citrus; ani mezi těmito dvěma odrůdami nebyl zjištěn statisticky průkazný rozdíl. Vyšší průměrná hodnota Gluten Indexu byla opět zjištěna u odrůd z konvenčního systému pěstování; z hlediska ročníku byla tentokrát mírně vyšší průměrná hodnota Gluten Indexu zaznamenána v roce 2017.

Nejvyšší průměrné hodnoty Zeleného testu dosáhla odrůda AF Oxana, následovala kontrolní odrůda Annie a odrůda Skorpion. Všechny tyto tři odrůdy by v průměru dosáhly minimální požadované hodnoty Zeleného testu pro pšenici pekárenskou (30 ml); zbývající odrůdy se umístily pod touto hranicí. V průměru vyšších hodnot Zeleného testu dosáhly opět sledované odrůdy vypěstované konvenčním způsobem. Mezi posuzovanými ročníky byl v tomto znaku opět statisticky průkazný rozdíl, vyšší hodnoty dosáhly odrůdy vypěstované v roce 2017 (33,67 ml), nicméně i v roce 2016 přesáhla průměrná hodnota Zeleného testu hranici 30 ml hranicí, konkrétně 31,33 ml.

Číslo poklesu přesáhlo v průměru všech odrůd minimální hranici 220 s pro pšenici potravinářskou pšenici; nejvyšší průměrné číslo poklesu bylo zaznamenáno u odrůdy Jumiko, následovala Annie, dále Skorpion a Citrus. Nejnižší číslo poklesu vykazala odrůda PS Karkulka (242,5 s). V případě konvenčního systému byla průměrná hodnota čísla poklesu opět vyšší než u systému ekologického; mezi oběma systémy pěstování byl statisticky průkazný rozdíl. Statisticky průkazný rozdíl byl zjištěn i mezi oběma ročníky; vyšší průměrné číslo poklesu bylo zjištěno v roce 2016.

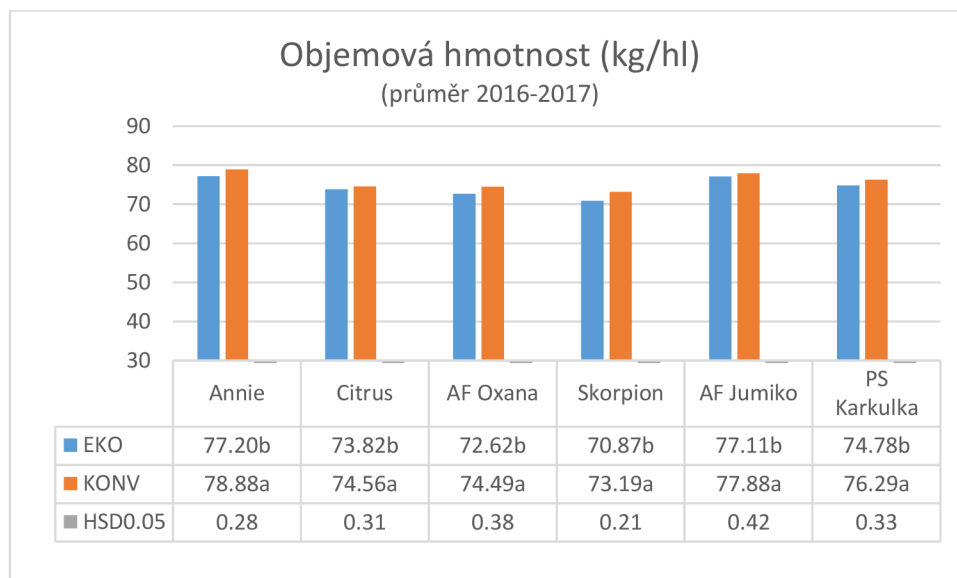
Podrobnější pohled na „chování“ hodnocených odrůd, vypěstovaných v ekologickém a konvenčním systému hospodaření (v průměru obou ročníků) uvádí grafy 1–6.

Objemová hmotnost

Z hodnocení objemové hmotnosti (graf 1) je zřejmé, že v obou systémech pěstování si hodnocené genotypy zachovaly shodný trend – nejvyšší OH byla v průměru zaznamenána u odrůd Annie, AF Jumiko a PS Karkulka. Rozdíly v OH mezi oběma systémy pěstování byly u všech hodnocených genotypů statisticky průkazné; vyšší OH v průměru dosahovaly hodnocené odrůdy v konvenčním systému pěstování. Pokud jde o minimální hodnotu OH

pro potravinářskou pšenici (76 kg/hl), v obou pěstebních systémech ji překonaly pouze odrůdy Annie a AF Jumiko. PS Karkulka přesáhla limit pro OH pšenice potravinářské (76 kg/hl) pouze v konvenčním pěstování (76,29 kg/hl), ostatní odrůdy (Citrus, AF Oxana a Skorpion v obou systémech pěstování + PS Karkulka v ekologickém systému) potřebné objemové hmotnosti nedosáhly.

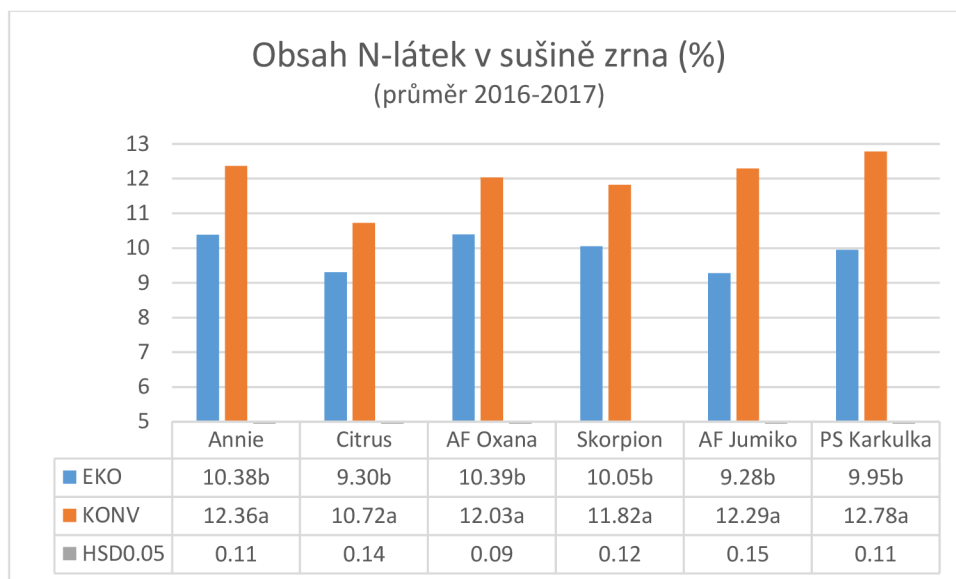
Graf 1



Obsah N-látek v sušině zrna

V obsahu N-látek v sušině zrna (graf 2) konvenčně pěstované odrůdy znatelně převyšovaly odrůdy z ekologického způsobu pěstování; rozdíly mezi nimi byly statisticky průkazné. V konvenčním systému dosáhla nejvyššího obsahu N-látek v sušině zrna odrůda PS Karkulka, následovaná odrůdami Annie a AF Jumiko. Z ekologicky pěstovaných odrůd dosáhla nejvyššího obsahu N-látek v sušině zrna AF Oxana, Annie a Skorpion. Přestože odrůda AF Jumiko dosáhla třetího nejvyššího obsahu N-látek v sušině zrna v konvenčním systému (12,29 %), v systému ekologickém dosáhla tato odrůda nejnižšího obsahu N-látek v sušině zrna ze všech testovaných vzorků (9,28 %). Druhá nejnižší hodnota obsahu N-látek v ekologickém pěstování připadla odrůdě Citrus (9,30 %), jež dosáhla nízkého obsahu N-látek i v konvenčním způsobu pěstování (10,72 %). Celkově odrůdy vypěstované ekologickým způsobem nedosahovaly obsahu N-látek v sušině zrna pro pšenici pekárenskou (min. 11,5 %), naproti tomu v konvenčním pěstitelském systému tuto hranici překonaly hodnocené odrůdy s výjimkou odrůdy Citrus.

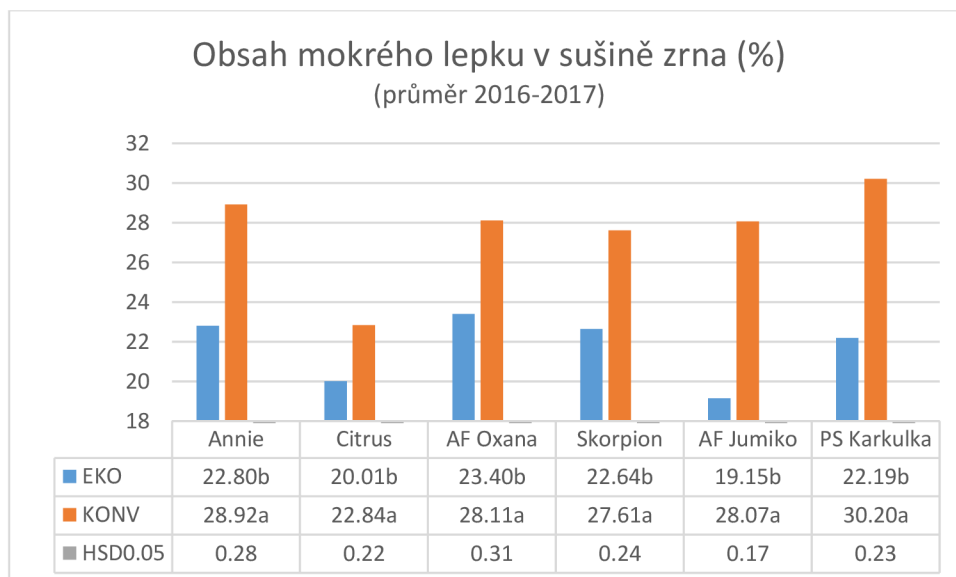
Graf 2



Obsah mokrého lepku v sušině zrna

Stejně jako u předchozích znaků, i v případě mokrého lepku v sušině zrna (graf 3) byly jeho hodnoty vyšší u konvenčně pěstovaných odrůd a statisticky průkazně se lišily od obsahu mokrého lepku v sušině zrna hodnocených odrůd z ekologického způsobu pěstování. Nejvyšší obsah mokrého lepku v konvenčním systému pěstování byl stejně jako u obsahu N-látek zaznamenán u odrůdy PS Karkulka, v ekologickém systému pěstování se umístila na prvním místě opět AF Oxana. Naopak nízkého obsahu mokrého lepku v sušině zrna dosáhla v obou systémech pěstování odrůda Citrus. Nejnižší obsah mokrého lepku v celém testovaném souboru byl zaznamenán u odrůdy AF Jumiko v ekologickém způsobu pěstování. Právě u odrůdy AF Jumiko byl zaznamenán největší procentuální rozdíl mezi konvenčním a ekologickým způsobem pěstování; v ekologickém systému měla výsledek horší o 8,92 %. Výrazný propad zaznamenala i odrůda PS Karkulka, konkrétně o 8,01 %.

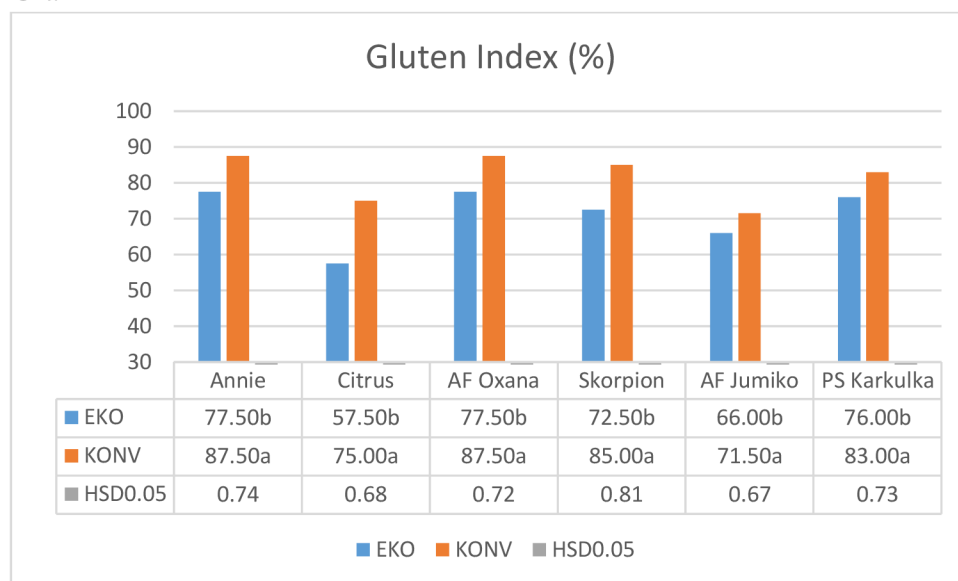
Graf 3



Gluten Index

Z výsledků Gluten Indexu (graf 4) je zřejmé, že odrůdy vypěstované konvenčním způsobem dosáhly vyšších hodnot Gluten Indexu a statisticky průkazně se lišily od odrůd z ekologického systému. Nejvyšších hodnot Gluten Indexu v konvenčním i ekologickém způsobu pěstování dosáhly odrůdy Annie, PS Karkulka, Skorpion a AF Oxana; v případě odrůd AF Jumiko a Citrus byly hodnoty Gluten Indexu nižší.

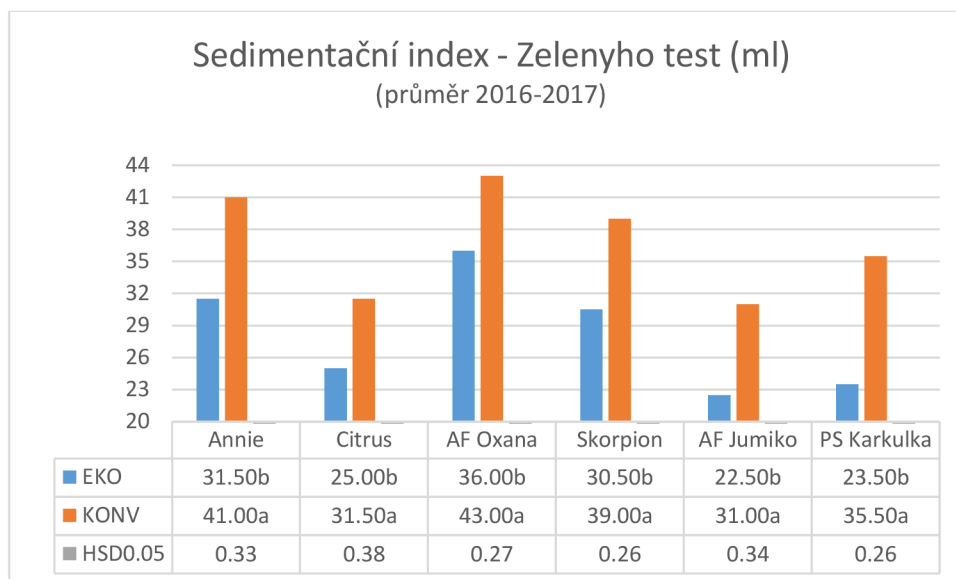
Graf 4



Sedimentační index – Zeleného testu

V případě výsledků Zeleného testu (graf 5) se opět potvrdily statisticky průkazně vyšší hodnoty tohoto znaku u konvenčně pěstovaných odrůd. Všechny konvenčně pěstované odrůdy dosáhly minimální hodnoty Zeleného testu pro pšenici pekárenskou (30 ml); nejvyšší hodnoty byly v tomto způsobu pěstování zaznamenány u odrůdy AF Oxana, dále u odrůd Annie a Skorpion. Naopak nejnižší hodnoty Zeleného testu byly v konvenčním systému zjištěny u odrůd Citrus a AF Jumiko. V ekologickém systému pěstování si udrželo nejvyšší hodnotu Zeleného testu AF Oxana, následovaná odrůdami Annie a Skorpion. Všechny zmíněné odrůdy překonaly minimální hranici pro pšenici pekárenskou, kdežto zbývající odrůdy Citrus, PS Karkulka ani AF Jumiko v ekologickém systému pěstování tohoto limitu nedosáhly.

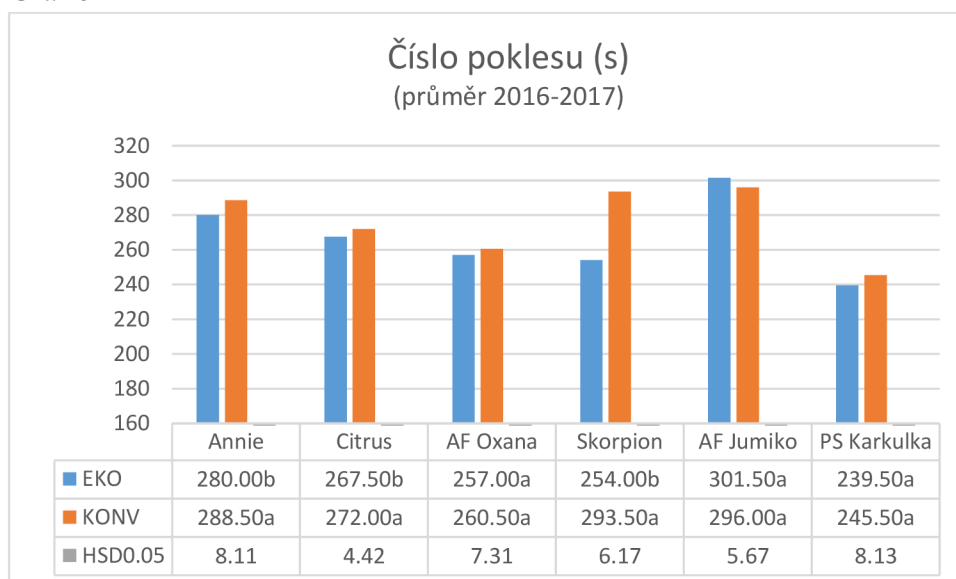
Graf 5



Číslo poklesu

Z hodnocení čísla poklesu (graf 6) je patrný podstatně nižší vliv způsobu pěstování, než tomu bylo u předchozích znaků – u odrůd AF Oxana, AF Jumiko a PS Karkulka nebyly rozdíly mezi oběma systémy pěstování statisticky průkazné. Navíc u odrůdy AF Jumiko dosáhlo číslo poklesu mírně vyšší hodnoty u ekologického systému pěstování (v průměru 301,50 s), což byla zároveň nejvyšší hodnota v celém souboru. Největší rozdíl v hodnotách čísla poklesu mezi ekologickým a konvenčním systémem pěstování byl zjištěn u odrůdy Skorpion, konkrétně 39,5 s. Všechny hodnocené odrůdy v obou systémech pěstování v průměru přesáhly minimální hodnotu čísla poklesu pro potravinářskou pšenici (220 s).

Graf 6



5.2 Hodnocení výsledků mlecího pokusu

V rámci hodnocení mlynářské kvality testovaných genotypů pšenice s barevným zrnem a kontrolní odrůdy pšenice seté Annie byl proveden mlecí pokus na laboratorním mlýnu Bühler. Během pokusného zámelu byly testovány výtěžnosti vymílacích mouk, šrotových mouk a celková výtěžnost mouk.

I u těchto parametrů byla hodnocena míra jejich ovlivnění sledovanými faktory, tedy odrůdou, ročníkem, systémem pěstování a jejich vzájemnými interakcemi (Tab. č. 5).

Tabulka 5 Hodnocení míry ovlivnění výtěžnosti mouk sledovanými faktory a jejich interakcemi (ANOVA, hodnoty testovacího kritéria F ; kompletní třífaktorový model s interakcemi)

| | Výtěžnost vymílacích mouk | Výtěžnost šrotových mouk | Celková výtěžnost mouk |
|----------------------|---------------------------|--------------------------|------------------------|
| Odrůda (O) | 298,22*** | 856,22*** | 932,12*** |
| Rok (R) | 11,84* | 105,8** | 88,95* |
| Systém pěstování (S) | 403,22*** | 102,5** | 211,84** |
| R × O | 4,21 | 43,25* | 19,17* |
| R × S | 7,36 | 3,16 | 4,27 |
| O × S | 10,12* | 37,11* | 31,05* |
| R × O × S | 4,22 | 4,27 | 6,13 |

$P < 0,05^*$; $P < 0,01^{**}$; $P < 0,001^{***}$

Z hodnot testovacího kritéria F je patrné, že výtěžnost vymílacích mouk byla ovlivněna převažujícím způsobem systémem pěstování, následoval vliv odrůdy. Výrazně nižší, přesto však stále statisticky průkazný byl vliv ročníku. Jednotlivé interakce se zpravidla statisticky průkazně neuplatnily.

Výtěžnost šrotových mouk byla ovlivněna převažujícím způsobem odrůdou; vliv ročníku a systému pěstování byl rovněž statisticky průkazný, avšak znatelně nižší. Statisticky průkazně, i když v menší míře, se uplatnily i interakce ročník × odrůda a odrůda × systém pěstování.

V případě celkové výtěžnosti mouk byla zaznamenána nejvyšší míra ovlivnění odrůdou, následoval vliv systému pěstování, a nakonec vliv ročníku. Statisticky průkazně se uplatnil i vliv interakcí ročník × odrůda a odrůda × systém pěstování.

Průkaznost rozdílů ve výtěžnostech testovaných mlýnských partií mezi jednotlivými odrůdami, pěstebními systémy a ročníky je uvedena v tabulce č. 6.

Nejvyšší výtěžnosti vymílacích mouk v průměru dosáhla odrůda Citrus (47,95 %). Následovaly odrůdy AF Jumiko, AF Oxana a PS Karkulka; mezi těmito třemi odrůdami nebyl zjištěn statisticky průkazný rozdíl. Následovala odrůda Annie a nejnižší výtěžnost vymílacích mouk byla v průměru zjištěna u odrůdy Skorpion (44,20 %) – tato odrůda se statisticky průkazně lišila od všech ostatních odrůd. Rozdíl ve výtěžnosti vymílacích mouk mezi ekologickým a konvenčním způsobem pěstování byl statisticky průkazný, vyšší průměrná výtěžnost vymílacích mouk byla zaznamenána u konvenčně pěstovaných odrůd. Statisticky průkazný rozdíl byl zjištěn i mezi testovanými ročníky, vyšší hodnoty výtěžnosti vymílacích mouk byly v průměru zjištěny v roce 2017.

Tabulka 6 Průkaznost rozdílů ve výtěžnosti vymílacích mouk, šrotových mouk a celkové výtěžnosti mouk mezi průměry odrůd, systémů pěstování a ročníků (Tukey HSD_{0,05} test)

| | Výtěžnost vymílacích mouk (%) | Výtěžnost šrotových mouk (%) | Celková výtěžnost mouk (%) |
|---------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|----------------------------------|
| Annie | 45,50c | 25,48a | 70,98a |
| AF Jumiko | 47,43b | 23,28b | 70,71a |
| PS Karkulka | 47,13b | 21,05d | 68,18b |
| Citrus | 47,95a | 22,58c | 70,53a |
| AF Oxana | 47,38b | 18,78e | 66,16c |
| Skorpion | 44,20d | 18,19f | 62,39d |
| <i>HSD_{0,05}</i> | <i>0,35</i> | <i>0,49</i> | <i>0,54</i> |
| EKO | 44,26b | 22,91a | 67,17b |
| KONV | 48,93a | 20,20b | 69,13a |
| <i>HSD_{0,05}</i> | <i>0,16</i> | <i>0,23</i> | <i>0,25</i> |
| 2016 | 46,37b | 21,33b | 67,70b |
| 2017 | 46,83a | 21,78a | 68,61a |
| <i>HSD_{0,05}</i> | <i>0,16</i> | <i>0,23</i> | <i>0,25</i> |

Nejvyšší výtěžnost šrotových mouk byla naproti tomu zaznamenána u odrůdy Annie (25,48 %). Dále následovala odrůda AF Jumiko, která byla na druhém místě i ve výtěžnosti vymílacích mouk, dále Citrus, PS Karkulka, AF Oxana a Skorpion (18,19 %). Ve výtěžnosti šrotových mouk měly větší podíl odrůdy vypěstované ekologickým způsobem; rozdíl mezi oběma způsoby pěstování byl statisticky průkazný. Statisticky průkazný rozdíl byl opět zjištěn i mezi oběma ročníky.

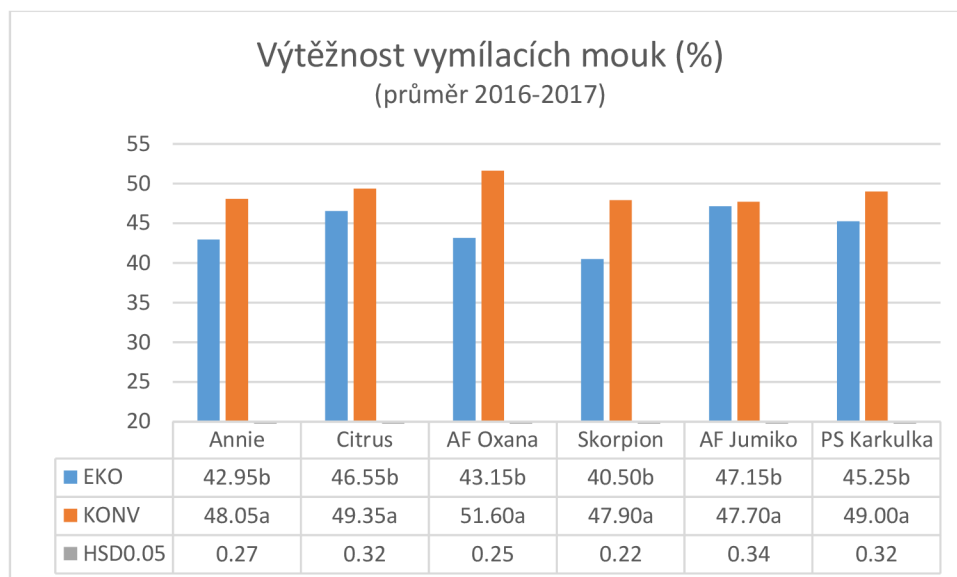
V průměru nejvyšší celková výtěžnost mouk byla zjištěna u odrůd Annie (70,98 %), AF Jumiko (70,71 %) a Citrus (70,53 %) - mezi nimi nebyl zjištěn statisticky průkazný rozdíl. Další v pořadí byla odrůda PS Karkulka (68,18 %), AF Oxana (66,16 %) a nejnižší celková výtěžnost mouk byla zaznamenána u odrůdy Skorpion (62,39 %). V celkové výtěžnosti mouk byla vyšší průměrná hodnota zjištěna u odrůd z konvenčního systému, který se statisticky průkazně lišil od systému ekologického. Statisticky průkazný rozdíl byl opět zjištěn i mezi oběma ročníky.

V následujícím grafech (7-9) jsou podrobněji znázorněny rozdíly ve výtěžnostech mouk jednotlivých odrůd mezi oběma systémy pěstování.

Výtěžnost vymílacích mouk (%)

U všech hodnocených odrůd byly průměrné výtěžnosti vymílacích mouk (graf 7) vyšší v konvenčním systému pěstování a statisticky průkazně se lišily od systému ekologického. Nejvyšší průměrná výtěžnost vymílacích mouk u konvenčně pěstovaných odrůd byla zjištěna u odrůdy AF Oxana (51,60 %), nejnižší u odrůdy AF Jumiko (47,70 %). U odrůd z ekologického způsobu pěstování se průměrná výtěžnost vymílacích mouk pohybovala mezi 40,50 % (Skorpion) a 47,15 % (AF Jumiko).

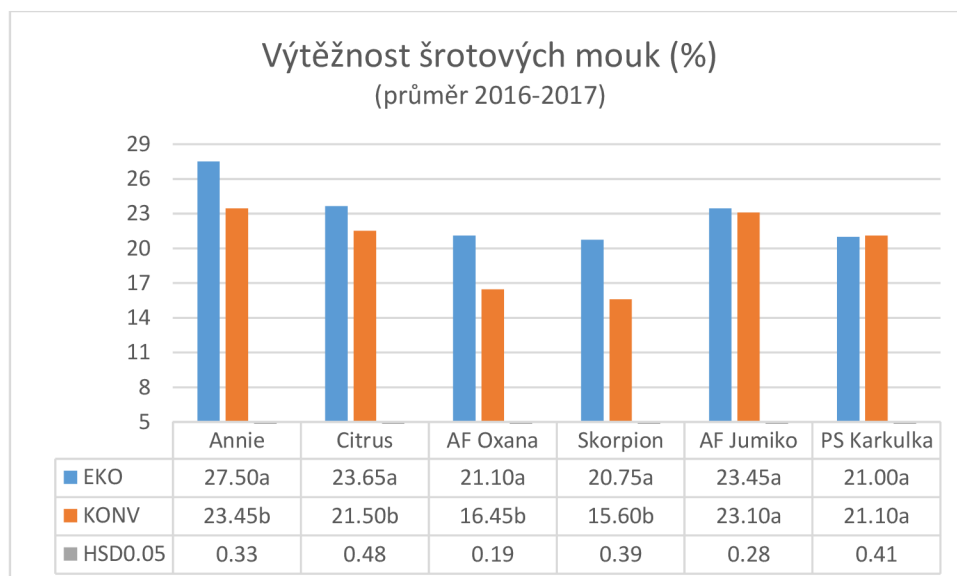
Graf 7



Výtěžnost šrotových mouk (%)

Na rozdíl od výtěžnosti vymílacích mouk, výtěžnost šrotových mouk (graf 8) byla na srovnatelné nebo vyšší úrovni u ekologicky vypěstovaných odrůd. U odrůd AF Jumiko a PS Karkulka nebyl rozdíl ve výtěžnosti šrotových mouk mezi oběma systémy pěstování statisticky průkazný; zbývající odrůdy se, v závislosti na způsobu pěstování, od sebe statisticky průkazně lišily, přičemž vyšší hodnoty byly zaznamenány u ekologicky pěstovaných odrůd. Nejvyšší výtěžnost šrotových mouk měla odrůda Annie, v ekologickém systému 27,50 % a v konvenčním 23,45 %. Naopak nejnižší výtěžnost šrotových mouk byla zjištěna u odrůdy Skorpion, konkrétně 20,75 % v ekologickém a 15,60 % v konvenčním pěstování.

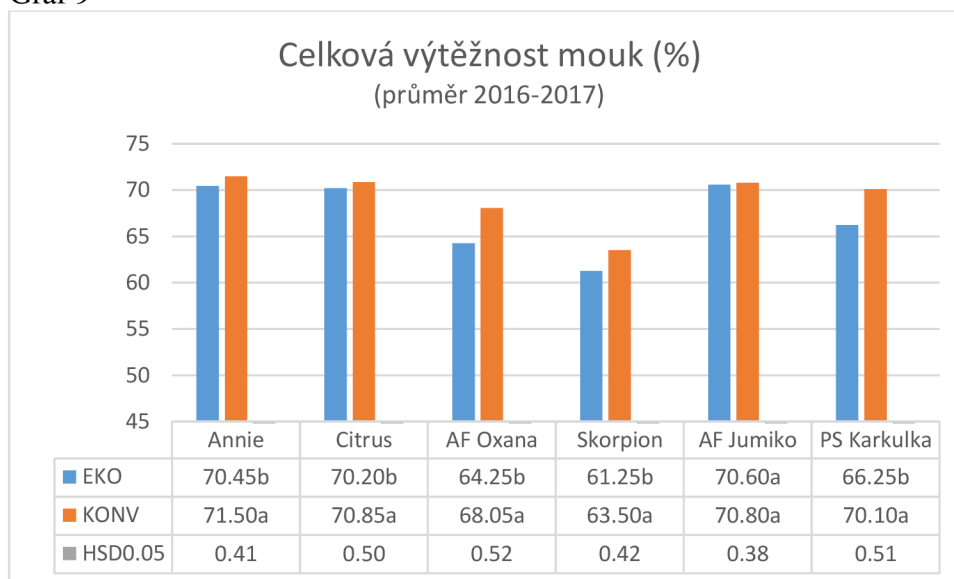
Graf 8



Celková výtěžnost mouk (%)

Celková výtěžnost mouk (graf 9) všech odrůd byla vyšší u vzorků z konvenčního systému pěstování; rozdíly mezi oběma systémy byly statisticky průkazné, s výjimkou odrůdy AF Jumiko, kde se celková výtěžnost mouk z ekologického a konvenčního systému od sebe statisticky průkazně neodlišovala. Nejvyšší celkové výtěžnosti mouk v konvenčním systému pěstování dostáhla odrůda Annie (71,5 %), následovaly odrůdy Citrus (70,85 %) a AF Jumiko (70,8 %); nejnižší celková výtěžnost mouk (63,50 %) byla zjištěna u odrůdy Skorpion. V případě vzorků pěstovaných ekologickým způsobem dosáhla nejvyšší celkové výtěžnosti mouk odrůda AF Jumiko (70,60 %), dále Annie (70,45 %) a Citrus (70,20 %). Nejnižší celkové výtěžnosti mouk v ekologickém způsobu pěstování dosáhla odrůda Skorpion 61,25 %.

Graf 9



5.3 Farinografické hodnocení

V rámci farinografického hodnocení byla u hodnocených odrůd posuzována vaznost vody moukou, doba vývinu a stability těsta a pokles konzistence.

Míru ovlivnění farinografických parametrů sledovanými faktory (odrůda, ročník, systém pěstování) a jejich vzájemnými interakcemi uvádí tabulka č. 7.

Z výsledků je patrné, že vaznost vody moukou byla ovlivněna především odrůdou; následoval vliv systému pěstování a vliv ročníku (na srovnatelné úrovni), statisticky průkazně, i když v menší míře se uplatnila i většina interakcí.

V případě doby vývinu těsta byl zaznamenán výrazně převažující vliv odrůdy na tento parametr; následoval opět vliv systému pěstování a ročníku. Obdobná situace byla zjištěna i u doby stability těsta – opět převažoval vliv odrůdy, následoval vliv systému pěstování, vliv ročníku a statisticky průkazně se uplatnily i některé interakce.

Také pokles konzistence byl ovlivněn v převažující míře odrůdou; následoval vliv systému pěstování a vliv ročníku, který byl znatelně slabší, přesto však statisticky průkazný, stejně jako vliv interakcí ročník × odrůda a odrůda × systém pěstování.

Tabulka 7 Hodnocení míry ovlivnění parametrů farinografu sledovanými faktory a jejich interakcemi (ANOVA, hodnoty testovacího kritéria F ; kompletní třifaktorový model s interakcemi)

| | Vaznost | Doba vývinu těsta | Doba stability těsta | Pokles konzistence |
|-------------------------|-----------|----------------------|-------------------------|-----------------------|
| Odrůda (O) | 593,65*** | 188,35*** | 305,61*** | 415,26*** |
| Rok (R) | 395,12** | 39,18** | 18,65* | 41,19* |
| Systém pěstování (S) | 402,51** | 79,64** | 84,11** | 296,74*** |
| R × O | 62,15** | 12,35* | 10,55* | 20,11* |
| R × S | 33,19** | 6,94 | 3,67 | 10,14 |
| O × S | 40,11** | 14,52* | 12,62* | 33,12* |
| R × O × S | 9,02 | 3,11 | 2,94 | 7,36 |

P < 0,05*; P < 0,01**; P < 0,001***

Průkaznosti rozdílů mezi průměry odrůd, systémů pěstování a ročníků u jednotlivých parametrů farinografu jsou uvedeny v tabulce č. 8.

Tabulka 8 Průkaznost rozdílů v hodnotách parametrů farinografu (Tukey HSD_{0,05} test)

| | Vaznost (%) | Doba vývinu těsta (min) | Doba stability těsta (min) | Pokles konzistence (B.J.) |
|---------------------|----------------|-------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|
| Annie | 56,33a | 2,56a | 3,81a | 95,00e |
| AF Jumiko | 54,05b | 2,31b | 2,50b | 100,00d |
| PS Karkulka | 54,10b | 2,13c | 2,19c | 122,50b |
| Citrus | 50,63d | 1,19e | 1,31e | 117,50c |
| AF Oxana | 53,35c | 1,63d | 1,94d | 130,00a |
| Skorpion | 53,58c | 1,69d | 2,06cd | 130,00a |
| HSD _{0,05} | 0,21 | 0,08 | 0,19 | 3,04 |
| EKO | 51,65b | 1,42b | 1,85b | 125,00a |
| KONV | 55,69a | 2,42a | 2,75a | 102,50b |
| HSD _{0,05} | 0,09 | 0,03 | 0,09 | 1,41 |
| 2016 | 54,04a | 2,02a | 2,50a | 110,00b |
| 2017 | 53,30b | 1,81b | 2,13b | 117,50a |
| HSD _{0,05} | 0,09 | 0,03 | 0,09 | 1,41 |

Nejvyšší průměrná vaznost vody byla zjištěna u kontrolní odrůdy Annie (56,33 %). Po ní následovaly odrůdy PS Karkulka (54,10 %) a AF Jumiko, mezi nimiž nebyl zjištěn statisticky průkazný rozdíl. Jako další se umístily odrůda Skorpion a AF Oxana, které se od sebe rovněž statisticky průkazně nelišily. Nejnižší průměrnou vaznost vody vykazala odrůda Citrus, konkrétně 50,63 %. Rozdíl mezi ekologickým a konvenčním způsobem pěstování byl statisticky průkazný, vyšší vaznosti dosáhly konvenčně pěstované odrůdy. Rovněž mezi ročníky byl zjištěn statisticky průkazný rozdíl, vyšší vaznost byla zjištěna u vzorků pěstovaných v roce 2016.

Nejdelší doba vývinu i doba stability těsta byla v průměru zaznamenána u odrůdy Annie (2,56 s a 3,81 s), následovaly odrůdy AF Jumiko, PS Karkulka, Skorpion a AF Oxana. Nejkratší dobu vývinu i dobu stability těsta vykazala odrůda Citrus (1,19 s a 1,31 s). Obě charakteristiky

farinografu dosahovaly vyšších hodnot u odrůd vypěstovaných konvenčním způsobem; rozdíl mezi ekologickým a konvenčním systémem byl statisticky průkazný. Také meziroční rozdíl byl statisticky průkazný, vyšších průměrných hodnot dosáhly hodnocené odrůdy v roce 2016.

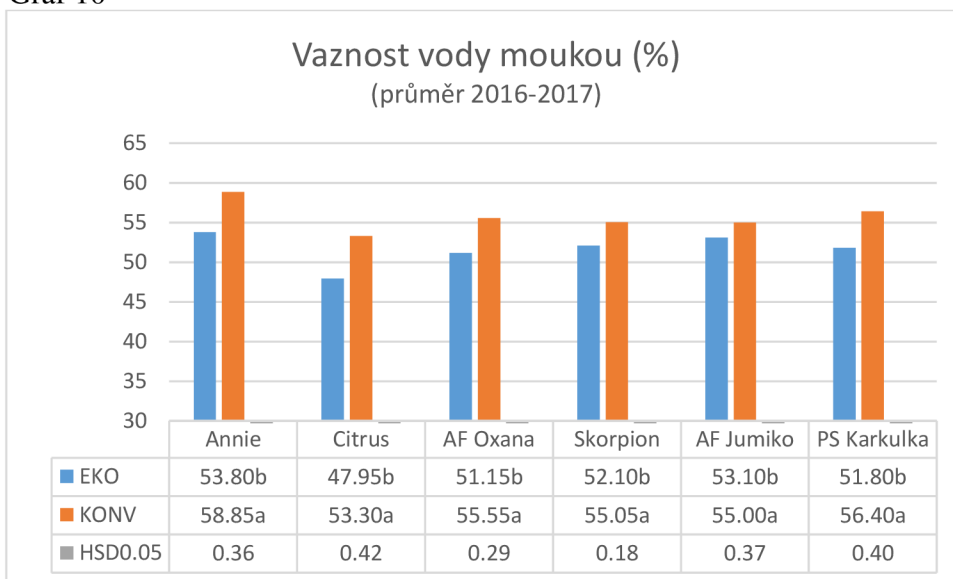
Pokud jde o pokles konzistence, nejnižší, a tedy nejpříznivější průměrná hodnota (95 B.J.) byla zaznamenána u odrůdy Annie. Druhou nejnižší hodnotu poklesu konzistence vykazala odrůda AF Jumiko (100 B.J.), dále Citrus (117,5 B.J.) a PS Karkulka (122,5 B.J.); rozdíly mezi těmito odrůdami byly statisticky průkazné. Nejvyšší průměrný pokles konzistence byl zjištěn u odrůd AF Oxana a Skorpion, jejichž hodnota 130 B.J. byla u obou odrůd shodná. Nižší pokles konzistence měly vzorky pěstované konvenčním způsobem, rozdíl mezi oběma pěstebními systémy byl statisticky průkazný. Při porovnání obou ročníků pěstování byla zjištěna statisticky průkazně nižší hodnota poklesu konzistence v roce 2016.

Podrobnější pohled na rozdíly ve vaznosti vody moukou, době vývinu a stability těsta a poklesu konzistence mezi oběma způsoby pěstování u jednotlivých odrůd znázorňují následující grafy 10 až 13.

Vaznost vody moukou (%)

Z hodnot vaznosti vody uvedených v grafu č.10 jsou opět patrné statisticky průkazné rozdíly mezi ekologickým a konvenčním systémem pěstování, a to u všech hodnocených odrůd, přičemž ve všech případech dosáhly vyšší vaznosti konvenčně pěstované odrůdy. Nejvyšší vaznost v obou pěstebních systémech měla odrůda Annie (58,85 % v konvenčním systému a 53,80 % v systému ekologickém). V konvenčním pěstování se jako druhá umístila odrůda PS Karkulka, dále AF Oxana, Skorpion, AF Jumiko a nejnižší vaznost byla zjištěna u odrůdy Citrus (53,30 %). V ekologickém systému pěstování dosáhla druhé nejvyšší vaznosti (po odrůdě Annie) odrůda AF Jumiko, po ní Skorpion, PS Karkulka, AF Oxana a nejnižší vaznosti opět dosáhla odrůda Citrus (47,95 %).

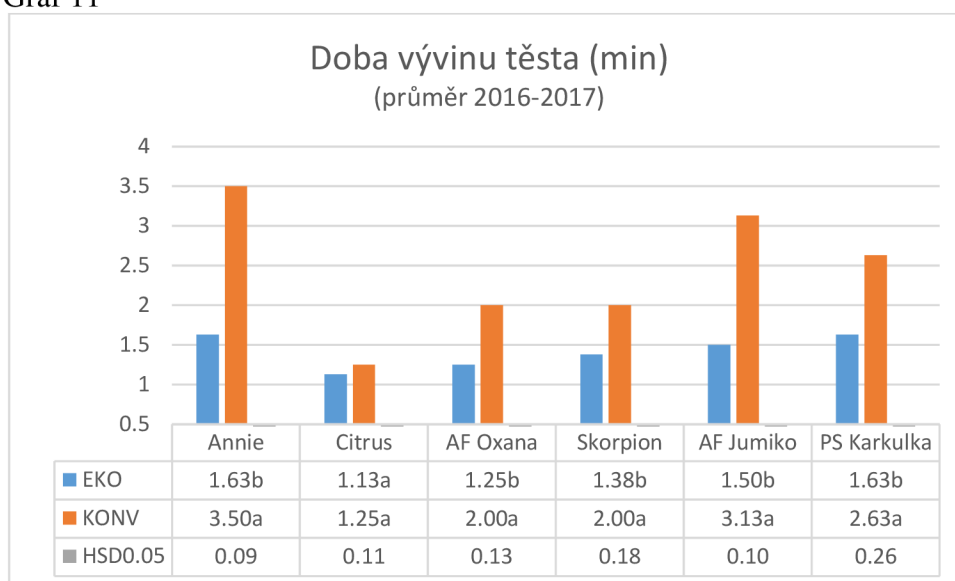
Graf 10



Doba vývinu těsta (min.)

I v případě doby vývinu těsta (graf č. 11) dosáhly vyšších hodnot odrůdy vypěstované konvenčním způsobem a statisticky průkazně se lišily od odrůd vypěstovaných ekologickým způsobem; výjimkou byla odrůda Citrus, kde nebyl mezi konvenčním a ekologickým způsobem pěstování zjištěn statisticky průkazný rozdíl. V konvenčním systému dosáhla nejdelší doby vývinu těsta odrůda Annie (3,5 min.), následovaly odrůdy AF Jumiko (3,13 min.) a PS Karkulka (2,36 min.). Nejkratší dobu vývinu těsta vykazala odrůda Citrus, konkrétně 1,25 min. V ekologickém systému pěstování byla nejdelší doba vývinu těsta zaznamenána u Annie společně s PS Karkulkou – u obou odrůd činila 1,63 min. Následovaly odrůdy AF Jumiko, Skorpion, AF Oxana a nejnižší doba vývinu těsta byla opět zaznamenána u odrůdy Citrus (1,13 min.).

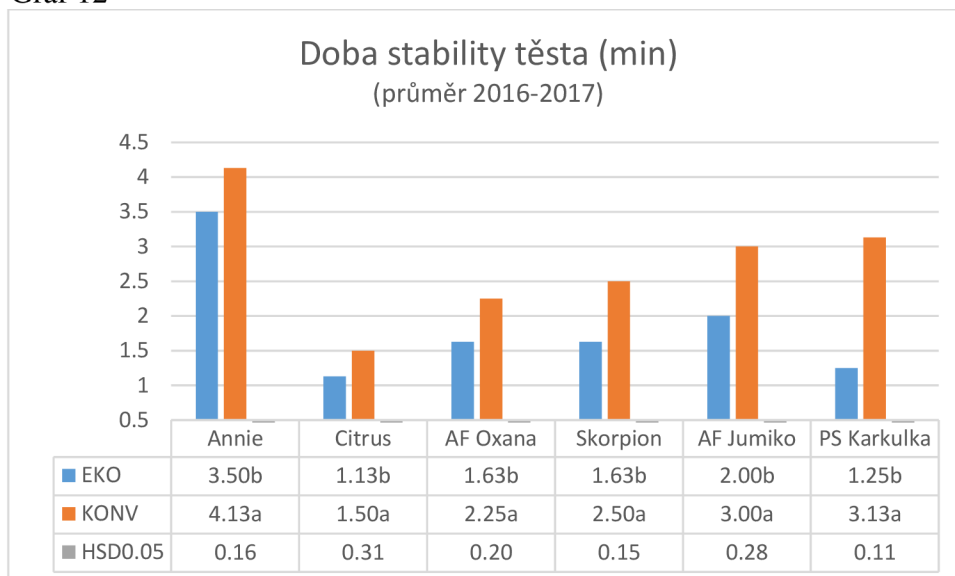
Graf 11



Doba stability těsta (min.)

Obdobný trend jako u doby vývinu těsta je patrný i u doby stability těsta (graf č. 12). U všech testovaných odrůd byly zjištěny statisticky průkazné rozdíly mezi oběma způsoby pěstování, přičemž vyšší hodnoty byly opět zjištěny v konvenčním systému. Nejdelší dobu stability těsta v obou systémech pěstování vykazala kontrolní odrůda pšenice seté Annie (4,13 min. v konvenčním systému a 3,50 min. v systému ekologickém). V konvenčním systému pěstování následovala po Annie opět PS Karkulka, AF Jumiko, Skorpion, AF Oxana a Citrus (1,5 min.). V ekologickém pěstování se po Annie s výrazným odstupem umístila odrůda AF Jumiko (2 min.), poté Skorpion spolu s AF Oxana. Odrůda PS Karkulka v ekologickém pěstování zaznamenala znatelný propad, a dosáhla doby stability těsta pouze na úrovni 1,25 min. Jen o málo kratší dobu stability těsta vykazala v ekologickém systému odrůda Citrus (1,13 min).

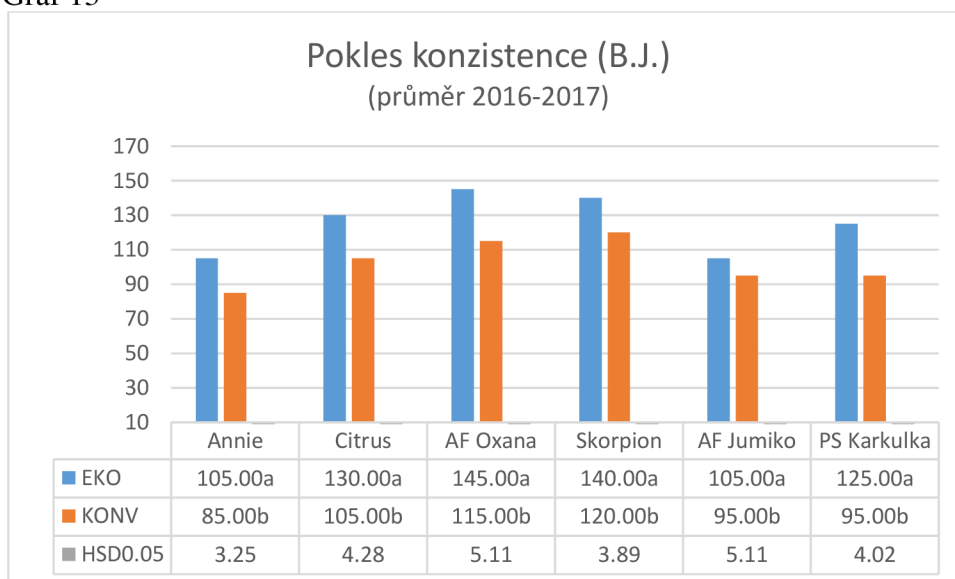
Graf 12



Pokles konzistence (B.J.)

V případě poklesu konzistence těsta (graf č. 13) byly opět zaznamenány u všech hodnocených odrůd statisticky průkazné rozdíly mezi ekologicky a konvenčně pěstovanými vzorky. Nižší, a tedy příznivější pokles konzistence byl zjištěn u odrůd pěstovaných konvenčně. V konvenčním systému byl nejnižší pokles konzistence zaznamenán u odrůdy Annie (85 B.J.). Následovaly odrůdy AF Jumiko spolu s PS Karkulkou, obě shodně 95 B.J. Jako další se umístil Citrus, dále AF Oxana a nejvyšší pokles konzistence byl zjištěn u odrůdy Skorpion (120 B.J.). Z ekologicky pěstovaných odrůd dosáhla nejnižšího poklesu konzistence opět odrůda Annie společně s AF Jumiko (obě 105 B.J.), poté PS Karkulka, Citrus, Skorpion a jako poslední AF Oxana (145 B.J.).

Graf 13



5.4 Hodnocení výsledků pekařského pokusu

Posledním podkladem pro posouzení pekařských vlastností pšeníc s barevným zrnem a jejich porovnání s výsledky běžně pěstované pšenice seté Annie bylo provedení pekařského pokusu, jež zahrnoval hodnocení měrného objemu pečiva a senzoričké posouzení.

Tabulka č. 9 vyjadřuje (prostřednictvím testovacího kritéria F) míru ovlivnění měrného objemu pečiva sledovanými faktory (odrůda, ročník, systém pěstování) a jejich interakcemi. Z výsledků je patrné, že měrný objem pečiva byl ovlivněn v převažující míře systémem pěstování; následoval vliv odrůdy a statisticky průkazně, i když v menší míře, se uplatnil i vliv ročníku a hodnocených interakcí.

Tabulka 9 Hodnocení míry ovlivnění měrného objemu pečiva sledovanými faktory a jejich interakcemi (ANOVA, hodnoty testovacího kritéria F ; kompletní třífaktorový model s interakcemi)

| | Měrný objem pečiva |
|----------------------|--------------------|
| Odrůda (O) | 307,12*** |
| Rok (R) | 98,65** |
| Systém pěstování (S) | 498,12*** |
| R × O | 11,64* |
| R × S | 20,14* |
| O × S | 40,65** |
| R × O × S | 8,11* |

$P < 0,05^*$; $P < 0,01^{**}$; $P < 0,001^{***}$

Průkaznost rozdílů v měrném objemu pečiva mezi průměry odrůd, pěstebních systémů a obou ročníků uvádí tabulka č. 10.

Tabulka 10 Průkaznost rozdílů v měrném objemu pečiva (Tukey HSD_{0,05} test)

| | Měrný objem pečiva (ml/100 g) |
|---------------------|-------------------------------|
| Annie | 394,50a |
| AF Jumiko | 361,25b |
| PS Karkulka | 368,00b |
| Citrus | 352,00c |
| AF Oxana | 362,75b |
| Skorpion | 393,00a |
| HSD _{0,05} | 8,44 |
| EKO | 343,08b |
| KONV | 400,75a |
| HSD _{0,05} | 4,11 |
| 2016 | 361,67b |
| 2017 | 382,17a |
| HSD _{0,05} | 4,11 |

Nejvyššího měrného objemu pečiva ze sledovaných odrůd dosáhla v průměru kontrolní odrůda pšenice seté Annie (394 ml/100 g) společně s odrůdou Skorpion (393 ml/100 g), mezi výsledky těchto dvou odrůd nebyl zjištěn statisticky průkazný rozdíl. Měrný objem pečiva odrůd PS Karkulka, AF Jumiko a AF Oxana se pohyboval v rozmezí od 368 ml/100 g

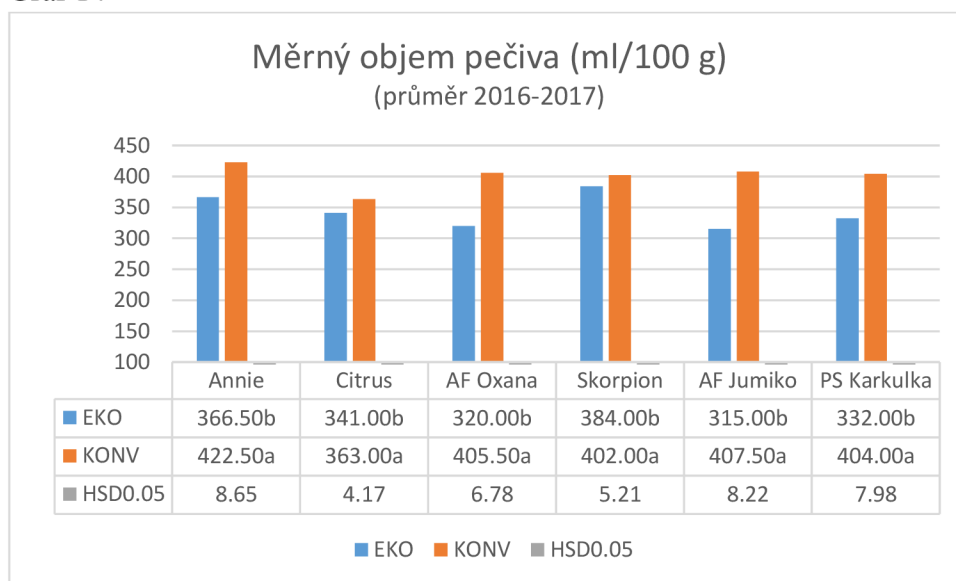
do 361,25 ml/100 g a rozdíly mezi nimi rovněž nebyly statisticky průkazné. Nejnižšího měrného objemu pečiva v průměru dosáhla odrůda Citrus (352 ml/100 g). Vyšší měrný objem pečiva byl zaznamenán u konvenčně vypěstovaných odrůd, přičemž rozdíl mezi oběma systémy pěstování byl statisticky průkazný. Vyššího měrného objemu pečiva dosáhly odrůdy vypěstované v roce 2017.

Graf č. 14 blíže znázorňuje vliv způsobu pěstování na měrný objem pečiva u jednotlivých sledovaných odrůd.

Měrný objem pečiva (ml/100 g)

Z grafu č. 14 je zřejmé, že odrůdy pěstované konvenčním způsobem dosáhly vyšších hodnot měrného objemu pečiva ve srovnání s odrůdami vypěstovanými ekologicky a statisticky průkazně se od nich odlišovaly. Nejvyššího měrného objemu pečiva dosáhla v konvenčním systému kontrolní odrůda Annie (422 ml/100 g); následovaly odrůdy AF Jumiko, AF Oxana, PS Karkulka a Skorpion s hodnotami od 407,5 ml/100 g do 402 ml/100 g. Znatelně nižší měrný objem pečiva v konvenčním pěstování měla pak odrůda Citrus s 363 ml/100 g. Naproti tomu v ekologickém způsobu pěstování byla nejvyšší hodnota měrného objemu pečiva zaznamenána u odrůdy Skorpion (384 ml/100 g), Annie se zde umístila jako druhá v pořadí. Odrůda Citrus, jež měla v konvenčním systému nejnižší měrný objem pečiva, se v ekologické režimu umístila jako třetí se 341 ml/100 g. Nižší hodnoty měrných objemů byly zjištěny u PS Karkulky, AF Oxana a AF Jumiko v ekologickém pěstování (od 332 do 315 ml/100 g).

Graf 14



V následující tabulce č. 11 jsou zaznamenány průměrné výsledky dalších parametrů, jež byly hodnoceny v rámci pekařského pokusu, konkrétně poměr výšky a šířky pečiva a výsledky senzoričského hodnocení.

Tabulka 11 Hodnocení pekařského pokusu z ekologického a konvenčního způsobu pěstování (průměr 2016–2017)

| | Annie | | Citrus | | AF Oxana | | Skorpion | | AF Jumiko | | PS Karkulka | |
|------------------------------|-------|------|--------|------|----------|------|----------|------|-----------|------|-------------|------|
| | EKO | KONV | EKO | KONV | EKO | KONV | EKO | KONV | EKO | KONV | EKO | KONV |
| Poměr výšky a šířky pečiva | 0,72 | 0,77 | 0,66 | 0,70 | 0,63 | 0,60 | 0,71 | 0,66 | 0,68 | 0,61 | 0,72 | 0,80 |
| Senzorické hodnocení pečiva* | | | | | | | | | | | | |
| tvar výrobku | 4 | 4 | 3 | 3 | 3 | 3 | 4 | 4 | 3 | 3 | 3 | 4 |
| barva kůrky | 4 | 4 | 4 | 4 | 3 | 3 | 3 | 4 | 3 | 3 | 4 | 4 |
| parcelace kůrky | 3 | 3 | 2 | 3 | 2 | 3 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| pružnost střídky | 4 | 4 | 3 | 4 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| pórovitost střídky | 3 | 4 | 3 | 3 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 |
| celkový chuťový vjem | 3 | 4 | 2 | 2 | 2 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 |

*legenda k senzorickému hodnocení pečiva se nachází v Přílohách (Tabulka č. 12)

Z hlediska tvaru pečiva, resp. jeho vyklenutí, vyjádřeného poměrem mezi výškou a šířkou pečiva, byly zaznamenány rozdíly mezi konvenčně a ekologicky pěstovanými odrůdami. U některých odrůd bylo vyklenutí vyšší v konvenčním způsobu pěstování (Annie, Citrus, PS Karkulka), kdežto u zbytku odrůd (AF Oxana, Skorpion, AF Jumiko) byl poměr výšky a šířky vyšší v ekologickém systému. Nejvyšší vyklenutí měla v konvenčním i ekologickém způsobu pěstování odrůda PS Karkulka (0,8 v konvenčním systému a 0,72 v ekologickém), naopak nejnižší hodnota byla zaznamenána u odrůdy AF Oxana (0,6 v konvenčním způsobu pěstování a 0,63 v ekologickém).

Z hlediska sensorického byl tvar výrobků hodnocen jako středně až dobře klenutý. Barva kůrky byla klasifikována jako normální, typicky pečivová, případně tmavší lesklá. Parcelace kůrky byla povětšinou dobrá, v některých případech méně výrazná. Pružnost střídky u většiny výrobků byla dobrá, jemná, výjimečně pak velmi dobrá. Co se týká pórovitosti střídky, většina vzorků byla klasifikována s pórovitostí méně rovnoměrnou s jemnými stěnami a středními póry. Lepší klasifikace tohoto parametru dosáhla Annie v konvenčním pěstování, naopak nerovnoměrnou pórovitost s hrubšími stěnami a menšími dutinami měla AF Oxana v ekologickém systému a PS Karkulka v systému konvenčním.

Na závěr byl hodnocen celkový chuťový vjem, jež byl u většiny vzorků hodnocen jako méně dobrý. Výjimkami byly PS Karkulka (KONV), AF Oxana (KONV) a Annie. Právě u Annie byl celkový chuťový vjem v ekologickém systému hodnocen jako dobrý, v konvenčním pěstování dokonce jako velmi dobrý, typicky pečivový. Pokud porovnáme sensorické parametry testovaných genotypů barevných pšenic s kontrolní odrůdou Annie, výsledky barevných pšenic byly z větší části horší, případně srovnatelné, nicméně ani v jednom ze sensorických ukazatelů nebyly vzorky z testovaného souboru hodnoceny známkami 0 nebo 1.

6 Diskuse

Prvním ukazatelem technologické kvality pšenice, jež byl hodnocen v rámci našeho pokusu, byla objemová hmotnost zrna. Dle Zimolky et al. (2005) je výsledná objemová hmotnost zrna ovlivněna odrůdou, ale také pěstitelskými podmínkami a ročníkem, především průběhem povětrnostních podmínek v době tvorby zrna a dozrávání. Z našich výsledků je zřejmé, že právě odrůda ovlivnila objemovou hmotnost nejvíce ze všech sledovaných faktorů. Naproti tomu Hubík (1995b) uvádí pro tento parametr převažující vliv ročníku. Dle Polišíenské et al. (2016) se jedná o jeden ze znaků, jež je významně ovlivňován průběhem počasí, zejména pak v závěru vegetačního období. Khazratkulova et al. (2015) pak uvádí významný vliv interakce genotyp \times prostředí na tento znak. Pokud se zaměříme na porovnání výsledků mezi ekologicky a konvenčně pěstovanými odrůdami, v konvenčním pěstování dosahovaly odrůdy vyšších hodnot OH, což potvrzují i výsledky Annicchiarico et al. (2010). Naproti tomu Carcea et al. (2006) statisticky průkazný rozdíl mezi způsoby pěstování pro tento znak nepotvrdili. Pro pšenici potravinářskou uvádí ČSN 46 1100-2 požadavek na minimální hodnotu objemové hmotnosti 76 kg/hl. Z námi testovaných odrůd pšenic s barevným zrnem dosáhla tohoto limitu pouze odrůda AF Jumiko (Martinek et al. 2018 pro tuto odrůdu uvádí vysokou OH) v obou systémech pěstování a PS Karkulka v konvenčním pěstování. Kontrolní odrůda Annie předčila výsledky všech barevných odrůd. Nicméně ani ona nedosáhla svého plného potenciálu, z hlediska zařazení do tříd jakosti byla tato jinak elitní odrůda v konvenčním pěstování na úrovni kvalitní a v ekologickém pěstování dokonce chlebové jakosti. Právě nižší objemová hmotnost byla limitujícím faktorem kvality sklizně obou hodnocených ročníků (Polišíenská et al. 2016, Polišíenská et al. 2017). V případě odrůdy Skorpion může být nižší objemová hmotnost důsledkem zasychání zrna (Martinek et al. 2012).

Obsah N-látek v sušině zrna byl dle očekávání nejvíce ovlivněn systémem pěstování. Důvodem pro nižší obsah N-látek u ekologicky pěstovaných odrůd je absence používání rychle rozpustných dusíkatých hnojiv (Václavíková et al. 2012). Dle Prugara (1999) je zásadní pro akumulaci zásobních bílkovin zrna dostatečné zásobení dusíkem především v pozdních vegetačních fázích, kdy je potřeba tohoto prvku zvýšená. Váňová (2008) uvádí průměrný deficit obsahu N-látek u ekologicky pěstované pšenice 2 % oproti pšenici pěstované konvenčně. V případě našeho souboru činil rozdíl v obsahu N-látek v sušině zrna mezi oběma způsoby pěstování 2,11 % a ekologicky pěstované odrůdy v tomto parametru nesplnily normu pro pšenici pekárenskou (obsah N-látek v sušině zrna min. 11,5 %). Nízký obsah N-látek v sušině zrna ekologicky pěstovaných odrůd pšenice potvrzují i výsledky Capouchové & Konvaliny (2014), kteří zároveň uvádí, že odrůdy, jež dosáhly vysokého obsahu N-látek v sušině zrna v konvenčním pěstování, zpravidla dosahovaly lepších hodnot i v režimu ekologickém. V našem souboru odrůd se tento trend neuplatnil zcela, přesto byl vliv genotypu na obsah N-látek statisticky průkazný. Ve srovnání s kontrolní odrůdou Annie dosáhla PS Karkulka vyššího obsahu N-látek v konvenčním pěstování, v ekologickém pak Annie předčila AF Oxana. Vysoký obsah N-látek v sušině zrna u odrůdy AF Oxana potvrzují i Martinek et al. (2019). Naopak nízký obsah N-látek měla v obou způsobech pěstování odrůda Citrus, jež ani v konvenčním pěstování nesplnila požadavek pro pšenici pekárenskou. Vaculová et al. (2010) rovněž zaznamenali nejnižší obsah N-látek u odrůdy Citrus ve srovnání

s ostatními genotypy pšeníc s barevným zrnem. U odrůdy AF Jumiko pak velmi nízký obsah N-látek v režimu bez dodání dusíkatých hnojiv potvrzují i Jirsa et al. (2022).

Obsah mokrého lepku v sušině zrna byl největší měrou ovlivněn systémem pěstování, dále pak odrůdou a ročníkem. Dle Surma et al. (2015) má na obsah mokrého lepku, obsah bílkovin i na výsledek Zeleného testu největší vliv prostředí, avšak i vliv genotypu je značný. Dle Hubíka (1995b) spolu obsah mokrého lepku a obsah N-látek velmi úzce koreluje. I z našich výsledků je patrné, že odrůdy s vyšším obsahem N-látek v sušině zrna dosahovaly vyššího obsahu mokrého lepku. Nejvyšší obsah mokrého lepku měla odrůda PS Karkulka v konvenčním pěstování, která opět předčila kontrolní úrodu Annie. V ekologickém režimu měla nejvyšší obsah mokrého lepku AF Oxana, po ní následovala opět Annie. Nízkých hodnot v obou systémech pěstování dosáhla i v tomto parametru odrůda Citrus, což potvrzují i výsledky Vaculové et al. (2010). Ačkoli stanovení obsahu mokrého lepku není součástí normy pro výkup pšenice potravinářské (ČSN 46 1100-2), Hubík (1995a) doporučuje pro zpracování zrna na mouku minimální obsah mokrého lepku v sušině zrna 25 %. Z ekologicky pěstovaných odrůd by tomuto požadavku nedostála žádná, naproti tomu v konvenčním režimu výsledky všech odrůd kromě Citrusu 25% hranici převyšovaly.

Gluten index byl dle našich výsledků převažujícím způsobem ovlivněn odrůdou, následovanou systémem pěstování. Z hlediska síly lepku měly konvenčně pěstované odrůdy lepek silný až velmi silný, lepek ekologicky pěstovaných odrůd byl střední až silný. Vyšší hodnota GI pro konvenčně pěstované odrůdy platila v celém souboru, což potvrzují i výsledky Augspole et al. (2019). Ti rovněž uvádí významný vliv systému pěstování i genotypu na tento parametr. Metoda GI ovšem není na rozdíl od Zeleného testu součástí normy pro pšenici potravinářskou a dle Davida et al. (2012) v případě ekologicky pěstovaných vzorků Zeleného test vykazují těsnější korelaci s objemem pečiva než GI.

I v případě Zeleného testu byl zaznamenán převažující vliv odrůdy, po kterém následoval systém pěstování. Co se týče rozdílů mezi způsoby pěstování, naše výsledky jsou v souladu s výsledky Bicanové et al. (2007) a vyšší hodnoty sedimentačního indexu měly opět konvenčně pěstované odrůdy. Ve shodě je i Capouchová & Konvalina (2014), kteří dodávají, že obdobně jako v případě obsahu N-látek měly odrůdy s vyšším objemem sedimentu v konvenčním pěstování tendenci dosahovat lepších výsledků i v režimu ekologickém. V našem souboru měla v obou způsobech pěstování nejvyšší objem sedimentu AF Oxana, jež jediná předčila kontrolní odrůdu Annie; vysoké hodnoty Zeleného testu u odrůdy AF Oxana potvrzují i Martinek et al. (2019). Přesto i ostatní konvenčně pěstované odrůdy dosáhly dostatečné hodnoty sedimentačního indexu (min. 30 ml) pro pšenici pekárenskou. V ekologickém režimu normu pro pšenici pekárenskou splnily odrůdy AF Oxana, Annie a Skorpion. Právě Skorpion dosahoval vyšších hodnot Zeleného testu i v pokusu Jirsy et al. (2022). Vliv ročníku byl dle našich výsledků spíše nižší, avšak přesto statisticky průkazný, vyšších průměrných hodnot bylo dosaženo v roce 2016. Naproti tomu dle statistik zveřejňovaných každoročně společností Agrotest Fyto byl rok 2016 v České republice z hlediska výsledků Zeleného testu spíše podprůměrný, rok 2017 byl mírně nad dlouhodobým průměrem (Polišenská et al. 2016, Polišenská et al. 2017).

Jako poslední ze základních ukazatelů technologické jakosti bylo posuzováno číslo poklesu, v jehož hodnotách se nejvíce projevil vliv ročníku. Vliv systému pěstování nebyl v našem souboru úplně jednoznačný, přestože byl statisticky průkazný. V průměru byly

hodnoty čísla poklesu vyšší u konvenčně pěstovaných odrůd. Capouchová & Konvalina (2014) uvádí vyšší číslo poklesu u odrůd pěstovaných ekologicky, tyto případy se vyskytly i v našem souboru odrůd. Carcea et al. (2006) v případě čísla poklesu statisticky významný rozdíl mezi oběma systémy pěstování nezaznamenali. Všechny testované odrůdy splnily minimální požadavek pro pšenici pekárenskou (220 s), což bylo pravděpodobně způsobeno příznivým průběhem povětrnostních podmínek (nižší srážky) v době dozrávání pšenice (Polišenská et al. 2016, Polišenská et al. 2017). Ve srovnání s kontrolní odrůdou Annie převýšila její číslo poklesu odrůda AF Jumiko v obou způsobech pěstování (ve shodě s Jirsou et al. 2022 a Martinkem et al. 2018) a Skorpion v konvenčním režimu. Naproti tomu Martinek et al. (2012) uvádí, že číslo poklesu u odrůdy Skorpion bývá velmi nízké, nižší pádové číslo měla tato odrůda i dle Jirsy et al. (2022). Dle Hubíka (1995b) existuje významná negativní korelace mezi pádovým číslem a poklesem konzistence těsta.

V rámci mlecího pokusu byly hodnoceny tři parametry – výtěžnost vymílacích mouk, výtěžnost šrotových mouk a celková výtěžnost mouk. U výtěžnosti vymílacích mouk převážil vliv systému pěstování následovaný odrůdou, u výtěžnosti šrotových mouk a celkové výtěžnosti mouk měla nejzásadnější vliv odrůda. Právě vliv genotypu na výtěžnost mouk považují Souza et al. (2008) za zásadní; Carcea et al. (2006) nezaznamenali statisticky významný rozdíl mezi ekologicky a konvenčně pěstovanými genotypy. Dle Hruškové et al. (2010) je cílem mletí získání co největšího procenta krupic, jež jsou dále zpracovávány na kvalitní pekařskou mouku, a naopak malý podíl šrotové mouky s nízkým obsahem popelovin. Tomuto požadavku lépe vyhověly pšenice pěstované konvenčním způsobem. Z testovaných odrůd měla nejvyšší výtěžnost vymílacích mouk v konvenčním pěstování AF Oxana následovaná odrůdami Citrus a PS Karkulka, jež všechny překonaly kontrolní odrůdu Annie. Z ekologicky pěstovaných odrůd pak Annie předčily ve výtěžnosti vymílacích mouk téměř všechny odrůdy s barevným zrnem (kromě odrůdy Skorpion). V celkové výtěžnosti mouk měla Annie nejvyšší hodnotu v konvenčním pěstování, nicméně odrůdy Citrus a AF Jumiko byly horší o pouhých 0,65, resp. 0,70 %. V ekologickém systému dosáhla nejvyšší celkové výtěžnosti odrůda AF Jumiko. Naopak nejnižší celkovou výtěžnost měla překvapivě v obou režimech odrůda Skorpion, Martinek et al. (2012) naproti tomu charakterizuje její výtěžnost jako střední.

Dle našich výsledků byly všechny farinografické parametry nejvíce ovlivněny odrůdou, u poklesu konzistence pak hrál kromě odrůdy významnou roli i systém pěstování. Naproti tomu Augspole et al. (2019) zjistili pro vaznost vody převažující vliv systému pěstování, vliv genotypu byl sice statisticky průkazný, ale nižší. Dle Krejčířové et al. (2007) mají konvenčně pěstované pšenice oproti ekologicky pěstovaným lepší výsledky farinografických ukazatelů – vyšší vaznost vody moukou, delší dobu stability těsta i nižší pokles konzistence, což potvrzují i výsledky našich pokusů. Tito autoři rovněž uvádí kladné, statisticky průkazné korelace mezi dobou stability a dobou vývinu těsta a obsahem N-látek a Zelenyho testem; naopak záporné korelace s těmito kvalitativními ukazateli má pokles konzistence těsta. Z námi testovaných genotypů dosáhla nejlepších výsledků kontrolní odrůda Annie – měla nejvyšší vaznost vody, nejdelší dobu vývinu i stability těsta, a naopak nejnižší hodnotu poklesu konzistence těsta. Pouze v parametru doby vývinu těsta jí konkurovala odrůda PS Karkulka v ekologickém režimu a v poklesu konzistence těsta AF Jumiko rovněž pěstovaná ekologicky. Výsledky reologických ukazatelů v případě odrůdy Citrus byly ve shodě s hodnocením Vaculové et al. (2010) nízké.

Ve prospěch pšeníc s barevným zrnem hovoří výsledky Burešové et al. (2019), kteří při porovnání odrůd PS Karkulka, AF Jumiko a Skorpion s komerčně prodávanou moukou nezaznamenali zásadnější rozdíly ve farinografických ukazatelích, naopak vaznost vody měly vyšší právě barevné odrůdy.

Posledním ukazatelem technologické kvality zrna, jež byl analyzován pomocí statistických metod, byl měrný objem pečiva. Dle našich výsledků byl nejvíce ovlivněn systémem pěstování a vlivem genotypu. Švec & Hrušková (2009) doplňují, že měrný objem pečiva koreluje s některými technologickými ukazateli, jako je množství bílkovin v sušině zrna, Zelenyho testem a číslem poklesu. Co se týče vlivu způsobu pěstování, ekologicky pěstované odrůdy dosahovaly nižšího objemu pečiva, což je v souladu i s výsledky Carcea et al. (2006). V konvenčním způsobu pěstování dosáhla nejvyššího objemu pečiva kontrolní odrůda Annie, výsledky většiny barevných pšeníc byly sice nižší, ale poměrně vyrovnané. Nejnižšího měrného objemu pečiva v tomto způsobu pěstování dosáhla odrůda Citrus, což je v rozporu s charakteristikou odrůdy publikovanou ÚKZÚZ (Horáková et al. 2011). V ekologickém režimu panovala odlišná situace – nejvyšší měrný objem pečiva měla překvapivě odrůda Skorpion, pro niž je charakteristický spíše střední objem pečiva (Martinek et al. 2012). Ta jediná předčila kontrolní Annie, Citrus se zde umístil jako třetí v pořadí.

V případě hodnocení senzorické jakosti dosáhla suverénně nejlepšího výsledku kontrolní odrůda Annie v konvenčním a následně i ekologickém způsobu pěstování. U odrůd s barevným zrnem byly výsledky konvenčně pěstovaných odrůd oproti kontrole nižší, zato poměrně vyrovnané, o něco horšího bodového hodnocení dosáhla v tomto způsobu pěstování AF Jumiko. Navzájem velmi srovnatelných výsledků dosáhly i barevné pšenice pěstované ekologickým způsobem, jako horší se zde projevila odrůda AF Oxana. Janečková et al. (2015) se rovněž věnovali senzorickému hodnocení pečiva z pšeníc s barevným zrnem. Jejich pokus zahrnoval jiné odrůdy (až na odrůdu Skorpion). Jejich výsledky také ukazují na horší senzorickou jakost barevných odrůd, nicméně odrůda s modrým zrnem Skorpion ve srovnání s genotypy s purpurovou barvou zrna dosáhla lepšího výsledku.

Ačkoli konvenčně pěstované odrůdy pšeníc s barevným zrnem ve většině parametrů splňovaly normu pro pšenici pekárenskou, závěrečný pekařský pokus potvrdil jejich obecně horší pekařskou jakost. Výsledky ekologicky pěstovaných odrůd byly pro tyto účely ještě méně příznivé. Z tohoto hlediska by se mohly zdát díky nižšímu obsahu N-látek a nízkým hodnotám Zelenyho testu ekologicky pěstované odrůdy Citrus, AF Jumiko a PS Karkulka vhodné pro pečivářské účely. Pro ně byla však limitující jejich objemová hmotnost a minimální hodnotu OH z nich splnila pouze odrůda AF Jumiko. Výrobě sušenek z mouk z pšeníc s barevným zrnem se ve své diplomové práci věnoval Hamáček (2022), který ve výsledcích senzorického hodnocení zmiňoval právě u odrůd s vysokým obsahem anthokyanů přítomnost přípachů. Přítomnost sloučenin způsobujících nežádoucí aroma zaznamenali u sušenek z pšenice s purpurovým zrnem i Pasqualone et al. (2015).

Kromě pekárenského a pečivářského zpracování by jistě bylo zajímavé zvážit i další způsoby užití pšeníc s barevným zrnem, nicméně u všech typů zpracování je důležité mít na paměti, že existuje mnoho proměnných, které ovlivní finální obsah nutričně výhodných složek v hotovém produktu. Různou stabilitu mají tyto bioaktivní složky pocházející z různých odrůd pšenice, jejich stabilitu ovlivňují i skladovací podmínky, pH potravin a její interferující složky a v neposlední řadě zvolené technologie zpracování (Garg et al. 2022). Zrno by mohlo

být zpracováno například za použití extruze či pufování, nicméně Paznocht et al. (2021) nepovažují z hlediska zachování obsahu karotenoidů tyto technologie za nejvhodnější. Z výsledků Escalante-Aburto et al. (2013) ovšem plyne vysoká míra ovlivnění obsahu anthokyanů v extrudátech z modré kukuřice vhodným nastavením fyzikálních parametrů procesu. Zajímavé z pohledu možností zpracování jsou výsledky pokusů Gamel et al. (2020), kteří porovnávali obsah anthokyanů v prototypch potravin z purpurové pšenice. Vysoký obsah anthokyanů měla celozrnná mouka i celozrnné vločky (ty jsou konec konců v zahraničních e-shopech již poměrně dobře dostupné), ovšem mnohonásobně více jich bylo obsaženo v samotných otrubách. Z různých poměrů těchto surovin byly připravovány cereální tyčinky, kreky, chléb, palačinky a kaše. Nejvyšší obsah anthokyanů byl zaznamenán u cereálních tyčinek a kreků, které byly obohaceny o otruby. Na tomto místě by jistě bylo zajímavé mít k dispozici i data týkající se technologických vlastností a sensorické přijatelnosti těchto produktů. Na závěr také stojí za zmínku možnost využití vařeného celého zrna jako přílohy či zavářky do polévky, ovšem i zde platí, že výsledný obsah nutričně cenných složek závisí z velké části na způsobu tepelné úpravy a je třeba zvážit i ztráty vyluhováním (Tananuwong & Tangsrianugul 2013).

7 Závěr

V rámci této diplomové práce bylo provedeno hodnocení technologické jakosti souboru odrůd pšenice seté s barevným zrnem, jež zahrnovalo posouzení základních ukazatelů kvality pšenice potravinářské, jejich mlynářské kvality, farinografických ukazatelů a výsledků pekařského pokusu. Z výsledků vyplynuly statisticky průkazné rozdíly ve většině sledovaných parametrů mezi konvenčně a ekologicky pěstovanými odrůdami. Konvenčně pěstované odrůdy vykazovaly lepší hodnoty parametrů z hlediska mlynářské jakosti i z hlediska vhodnosti pro pekárenské užití, nicméně až na výjimky nedosahovaly kvalit běžně pěstované kontrolní odrůdy pšenice seté a požadavky normy pro pšenici pekárenskou by splnily pouze dvě z hodnocených odrůd – PS Karkulka a AF Jumiko.

V případě ekologicky pěstovaných odrůd byly pro pekárenské užití limitující především obsahy N-látek v sušině zrna a výsledky Zeleného testu, jejichž nízké hodnoty jsou naopak požadovány pro pšenici pečivářskou. Limity pro pšenici pečivářskou by ovšem splnila pouze odrůda AF Jumiko, jež dosáhla vyšší objemové hmotnosti zrna za současného splnění dostatečně nízkého obsahu N-látek a hodnot Zeleného testu.

První hypotéza, jež hovoří o možnosti dosažení rozdílné kvality produkce díky pěstování pšenic s barevným zrnem v různých systémech, byla potvrzena. Naproti tomu druhá hypotéza, jež obsahovala tvrzení, že v rámci hodnoceného souboru odrůd pšenic s barevným zrnem bude možné najít odrůdu se srovnatelnou technologickou jakostí jako u kontrolní klasické odrůdy pšenice seté, potvrzena nebyla.

Z dostupných zdrojů je však patrné, že výzkum týkající se pšenic s barevným zrnem neustále postupuje a probíhá i jejich další šlechtění, jehož cílem je optimalizovat výnosové a technologické parametry za současné maximalizace obsahu biologicky aktivních složek zrna. Příkladem může být první evropská odrůda s černým zrnem AF Zora registrovaná v ČR v roce 2021, jejíž intenzivní barva zrna je způsobena kombinací genů pro purpurový perikarp a modrý aleuron. I její pekařská kvalita je spíše horší, na úrovni B (chlebová) (Martinek et al. 2021), nicméně existují i další, alternativní možnosti zpracování. Těmi by mohla být například extruze, vločkování, pufované výrobky, výroba plochého chleba (např. typu indického chapatti), krekrů, cereálních tyčinek nebo sušenek, případně využití celého zrna ve vařené formě. Martinek et al. (2021) rovněž zmiňuje možnost využití anthokyanů separovaných z povrchových vrstev zrna jako náhradu syntetických barviv v potravinářských, farmaceutických a kosmetických výrobcích. Vhodnost odrůd pšenic s barevným pro navrhované způsoby zpracování by bylo třeba dále ověřit, neboť vlastnosti jednotlivých genotypů se velmi různí. Zároveň by bylo nutné optimalizovat výrobní procesy se zřetelem na zachování co největšího podílu nutričně cenných složek zrna ve finálním produktu.

8 Literatura

- AACC. (2010). Method 55-10.01. In AACC International Approved Methods of Analysis, 11th Edition. Available at <https://www.cerealsgrains.org/>.
- Annicchiarico P, Chiapparino E, Perenzin M. 2010. Response of common wheat varieties to organic and conventional production systems across Italian locations, and implications for selection. *Field Crops Research* 116:230-238. DOI: 10.1016/j.fcr.2009.12.012.
- Augspole I, Linina A, Rutenberga-Ava A, Svarta A, Strazdina V. 2019. Effect of organic and conventional production systems on the winter wheat grain quality. *FOODBALT 2019*:93-97. DOI: 10.22616/FoodBalt.2019.041.
- Bartl P, Albrecht A, Skrt M, Tremlová B, Ošřádalová M, Šmejkal K, Vovk I, Ulrih NP. 2015. Anthocyanins in purple and blue wheat grains and in resulting bread: quantity, composition, and thermal stability. *International Journal of Food Sciences and Nutrition* 66:514-519. DOI: 10.3109/09637486.2015.1056108. ISSN: 09637486.
- Bartl P, Tremlová B, Ošřádalová M, Čáslavková P, Eliášová M, Žďárský M. 2013. Stanovení anthokyanů v pšenících s purpurově a modře zbarveným zrnem. *Obilnářské listy* XXI:75-77.
- Belderok B, Mesdag J, Donner DA. 2000. Assay methods and instrumentation. 67-86 in *Bread-making quality of wheat*. Springer Netherlands, Dordrecht. DOI: 10.1007/978-94-017-0950-7_8.
- Bicanová E, Erhartová D, Dvořák P, Capouchová I. 2007. Možnosti zlepšení kvality ozimé pšenice v ekologickém zemědělství. 70-72 in *Organic farming 2007*.
- Burešová B, Paznocht L, Kotíková Z, Giampaglia B, Martinek P, Lachman J. 2021. Changes in carotenoids and tocopherols of colored-grain wheat during unleavened bread preparation. *Journal of Food Composition and Analysis* 103. DOI: 10.1016/j.jfca.2021.104108.
- Burešová B, Paznocht L, Jarošová V, Doskočil I, Martinek P. 2023. The Effect of Boiling and in Vitro Digestion on the Carotenoid Content of Colored-grain Wheat. *Journal of Food Composition and Analysis* 115. DOI: 10.1016/j.jfca.2022.105002.
- Burešová I, Trojan V, Helis M. 2019. Characteristics of flour and dough from purple and blue wheat grain. *Potravinárstvo Slovak Journal of Food Sciences* 13:163-166.
- Burešová V, Kopecký D, Bartoš J, Martinek P, Watanabe N, Vyhnánek T, Doležel J. 2015. Variation in genome composition of blue-aleurone wheat. *Theoretical and Applied Genetics* 128:273-282.
- Capouchová I, Konvalina P. 2014. Pšenice setá (*Triticum aestivum* L.). 1-31 in *Pěstování vybraných plodin v ekologickém zemědělství*. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Zemědělská fakulta, České Budějovice.
- Castañeda-Ovando A, Pacheco-Hernández M de L, Páez-Hernández ME, Rodríguez JA, Galán-Vidal CA. 2009. Chemical studies of anthocyanins: A review. *Food Chemistry* 113:859-871. DOI: 10.1016/j.foodchem.2008.09.001. ISSN: 03088146.

- Carcea M, Salvatorelli S, Turfani V, Mellara F. 2006. Influence of growing conditions on the technological performance of bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *International Journal of Food Science and Technology* 41:102-107. DOI: 10.1111/j.1365-2621.2006.01422.x.
- Cisowska A, Wojnicz D, Hendrich AB. 2011. Anthocyanins as Antimicrobial Agents of Natural Plant Origin. *Natural Product Communications* 6. DOI: 10.1177/1934578X1100600136.
- Český statistický úřad. 2020. Spotřeba potravin, nápojů a cigaret na 1 obyvatele v ČR v letech 2010–2019. Available at <https://www.czso.cz/csu/czso/spotreba-potravin-2019#> (accessed August 19, 2021).
- Chun OK, Chung SJ, Song WO. 2007. Estimated Dietary Flavonoid Intake and Major Food Sources of U.S. Adults. *The Journal of Nutrition* 137:1244-1252.
- ČSN EN ISO 16634-2 (461086) Potraviny – Stanovení obsahu celkového dusíku spalováním podle Dumasovy metody a výpočet obsahu hrubého proteinu – Část 2: Obiloviny, luštěniny a mlýnské výrobky. 12/2016AD. Český normalizační institut, Praha.
- ČSN EN ISO 20483 (461401). Obiloviny a luštěniny – Stanovení obsahu dusíku a výpočet obsahu dusíkatých látek – Kjeldahlova metoda. 06/2014AD. Český normalizační institut, Praha.
- ČSN EN ISO 5529 (461022) Pšenice – Stanovení sedimentačního indexu – Zeleného test. 01/2011AD. Český normalizační institut, Praha.
- ČSN 46 1100-2 (461100) Obiloviny potravinářské – Část 2: Pšenice potravinářská. 05/2001AD. Český normalizační institut, Praha.
- David C, Celette F, Abecassis J, Carcea M, Dubois D, Friedel JK, Hellou G, Jeuffroy MH, Mäder P, Thomsen IK. 2012. Technological quality of organic wheat in Europe. *AGTEC-Org – AGronomical and TEchnological methods to improve Organic wheat quality*.
- Dhua S, Kumar K, Kumar Y, Singh L, Sharanagat VS. 2021. Composition, characteristics and health promising prospects of black wheat: A review. *Trends in Food Science & Technology* 112:780-794.
- Dvořáček V. 2018. Krmná kvalita pšenice. *Šlechtitelský seminář 2018:33-38*. Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i., Praha.
- Dvořáček V, Bradová J, Papoušková L, Prohlašová A, Štočková L, Hermuth J, Dotlačil L. 2012. Perspektivní genetické zdroje pšenice pro zvýšení diverzity technologických a nutričních parametrů zrna. 11-19 in *Aktuální otázky v práci s genetickými zdroji rostlin a zhodnocení výsledků Národního programu*. VÚRV, Praha.
- Eliášová M, Kotíková Z, Lachman J, Orsák M, Martinek P. (2020): Influence of baking on anthocyanin content in coloured-grain wheat bread. *Plant Soil Environ.*, 66: 381–386.
- Escalante-Aburto A, Ramírez-Wong B, Torres-Chávez PI, Figueroa-Cárdenas JD, López-Cervantes J, Barrón-Hoyos JM, Morales-Rosas I. 2013. Effect of extrusion processing parameters on anthocyanin content and physicochemical properties of nixtamalized blue corn expanded extrudates. *CyTA – Journal of Food* 11:29-37.

- Faměra O, Riljáková B, Hálová I, Erhartová D. 2010. Tvrdost zrna pšenice jako ukazatel charakteristiky mletí. *Obilnářské listy*. XVIII. (3). 67-71. ISSN: 1212138X.
- Gabrovská D, Hálová I, Chrpová D, Ouhrabková J, Sluková M, Vavreinová S, Faměra O, Kohout P, Pánek J, Skřivan P. 2015. *Obiloviny v lidské výživě: Stručné shrnutí poznatků se zvýšeným zaměřením na problematiku lepku*. ISBN: 9788088019077.
- Galanakis CM. 2020. *Trends in Wheat and Bread Making*. Academic Press, Elsevier Science & Technology. ISBN: 978012821048
- Gamel TH, Wright AJ, Pickard M, Abdel-Aal E-SM. 2020. Characterization of anthocyanin-containing purple wheat prototype products as functional foods with potential health benefits. *Cereal Chemistry* 97:34-38. 2.
- Gamel TH, Wright AJ, Tucker AJ, Pickard M, Rabalski I, Podgorski M, Di Ilio N, O'Brien C, Abdel-Aal E-SM. 2019. Absorption and metabolites of anthocyanins and phenolic acids after consumption of purple wheat crackers and bars by healthy adults. *Journal of Cereal Science* 86:60-68.
- Garg M et al. 2016. Transfer of grain colors to elite wheat cultivars and their characterization. *Journal of Cereal Science* 71:138-144.
- Garg M, Kaur S, Sharma A, Kumari A, Tiwari V, Sharma S, Kapoor P, Sheoran B, Goyal A, Krishania M. 2022. Rising Demand for Healthy Foods-Anthocyanin Biofortified Colored Wheat Is a New Research Trend. *Frontiers in Nutrition* 9. DOI: 10.3389/fnut.2022.878221.
- Ghafoor K, Özcan MM, AL-Juhaimi F, Babiker EE, Sarker ZI, Ahmed IAM, Ahmed MA. 2017. Nutritional composition, extraction, and utilization of wheat germ oil: A review. *European Journal of Lipid Science and Technology* 119.
- Gonçalves AC, Nunes AR, Falcão A, Alves G, Silva LR. 2021. Dietary Effects of Anthocyanins in Human Health: A Comprehensive Review. *Pharmaceuticals* 14. DOI: 10.3390/ph14070690.
- Grausgruber H, Atzgersdorfer K, Bohmdorfer S. 2018. Purple and Blue Wheat—Health-Promoting Grains with Increased Antioxidant Activity. *Cereal Foods World*. DOI: 10.1094/CFW-63-5-0217.
- Hamáček J. 2022. *Texturní vlastnosti sušenek ze zrna barevných pšeníc*. Diplomová práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Zlín.
- Havrlentová M, Pšenáková I, Žofajová A, Rückschloss L, Kraic J. *Anthocyanins in Wheat Seed – A Mini Review*. ISSN: 13386905.
- Hidalgo A, Brandolini A, Pompei C. 2010. Carotenoids evolution during pasta, bread and water biscuit preparation from wheat flours. *Food Chemistry* 121:746-751. DOI: 10.1016/j.foodchem.2010.01.034.
- Horáková V, Dvořáčková O, Mezlík T. 2009. *Seznam doporučených odrůd 2009 - pšenice ozimá, pšenice jarní, ječmen jarní, ječmen ozimý, žito ozimé, tritikale ozimé, oves setý pluchatý, hrách polní*. Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský, Brno.

- Horáková V, Dvořáčková O, Mezlík T. 2011. Seznam doporučených odrůd 2011 - pšenice ozimá, pšenice jarní, ječmen jarní, ječmen ozimý, žito ozimé, tritikale ozimé, oves setý pluchatý, hrách polní. Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský, Brno.
- Horáková V, Dvořáčková O, Nečas M. 2022. Seznam doporučených odrůd 2022. Pšenice ozimá, pšenice jarní, ječmen jarní, ječmen ozimý, tritikale ozimé, oves setý. Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský, Brno.
- Hrušková M, Bednářová M, Šmejda P. 2004. Předpověď reologických parametrů pšeničného těsta analýzou NIR spekter pšeničné mouky. Chemické listy. 98 (7). 423-431. ISSN: 1213-7103.
- Hrušková M, Švec I, Biolková M. 2010. Komplexní hodnocení vybraných mlýnských meziproduktů a výrobků průmyslového mlýna. Obilnářské listy. XVIII. (2). 40-43. ISSN: 1212-138X.
- Hubík K. 1995a. Metody hodnocení technologické jakosti potravinářské pšenice. Obilnářské listy. III. (3). 35-36. ISSN: 1212138X.
- Hubík, K. 1995b. Vliv hnojení a ročníku na jakost potravinářské pšenice. Rostlinná výroba. 41 (11). 521-527. ISSN: 0370-663X.
- Hubík K, Mareček J. 2002. Kvalita obilnin. Farmář: Speciál: Jak letos vypadají obilniny? 8(4). 58-61. ISSN: 1210-9789.
- Chrprová J, Štočková L, Šíp V. 2012. Hygienická jakost pšenice. 44-50 in Pšenice 2012 "Od genomu po chleba." Pšenice 2012 "Od genomu po chleba", Praha. ISBN: 978-80-7427-122-9.
- Ionescu V, Stoenescu G, Vasilean I, Aprodu I, Banu I. 2010. Comparative evaluation of wet gluten quantity and quality through different methods. The Annals of the University Dunarea de Jos of Galati. Fascicle VI-Food Technology, 34(2), 49-53.
- Janečková M, Hřivna L, Machálková L, Dostálová Y, Mrkvicová E, Vyhnánek T, Trojan V, Plucarová D, Nedomová Š. 2015. Use of colour varieties of wheat in the bakery industry In MendelNet 2015 – Proceedings of International PhD Students Conference. Brno, Mendel University in Brno, pp. 350–355.
- Jeewani DC, Hua WZ. 2017. Grain Color Development and Segregation of Blue Wheat. Research Journal of Biotechnology 12:40-45.
- Ji T, Ma F, Baik B. 2020. Biochemical characteristics of soft wheat grain associated with endosperm separation from bran and flour yield. Cereal Chemistry. 97. DOI: 10.1002/cche.10271.
- Jirsa O, Martinek P, Podloucká P, Blandino M, Sedláčková I, Polišínská I. 2022. The influence of nitrogen fertilization on the content of starch, protein and gluten in perspective genotypes of coloured wheat. 82-84 in Proceedings of the 18th International Conference on Polysaccharides – Glycoscience. Czech Chemical Society, Prague.

- Jirsa O, Vaculová K, Martinek P, Stehno Z, Laknerová I. 2012. Hodnocení netradičních genotypů pšenice a ječmene pro potravinářské využití. 124-127 in XLII. Symposium o nových směrech výroby a hodnocení potravin. Praha.
- Johansson E, Branlard G, Cuniberti M, Flagella Z, Hüsken A, Nurit E, Peña RJ, Sissons M, Vazquez D. 2020. Genotypic and Environmental Effects on Wheat Technological and Nutritional Quality. 171-204 in *Wheat Quality For Improving Processing And Human Health*. Springer International Publishing, Cham. DOI: 10.1007/978-3-030-34163-3_8.
- Kadlec P, Melzoch K, Voldřich M. 2009. Co byste měli vědět o výrobě potravin? - technologie potravin. Ostrava: Key Publishing. ISBN 978-80-7418-051-4.
- Kapoor P, Tiwari A, Sharma S, Tiwari V, Sheoran B, Ali U, Garg M. 2023. Effect of anthocyanins on gut health markers, Firmicutes-Bacteroidetes ratio and short-chain fatty acids: a systematic review via meta-analysis. *Scientific Reports* 13. DOI: 10.1038/s41598-023-28764-0.
- Khan K, Shewry PR. 2009. *Wheat: Chemistry and Technology*. 4. edition. American Association of Cereal Chemists International Ser.
- Kumari A, Kaur S, Sharma N, Kaur J, Krishania M, Tiwari V, Garg M. 2022. Effect of processing on the phytochemicals and quality attributes of vermicelli developed from colored wheat. *Journal of Cereal Science* 108. DOI: 10.1016/j.jcs.2022.103560.
- Kumari A, Sharma S, Sharma N, Chunduri V, Kapoor P, Kaur S, Goyal A, Garg M. 2020. Influence of Biofortified Colored Wheats (Purple, Blue, Black) on Physicochemical, Antioxidant and Sensory Characteristics of Chapatti (Indian Flatbread). *Molecules* 25. DOI: 10.3390/molecules25215071.
- Kocourková Z, Sedláček T. 2011. Mixografické hodnocení kvality pšenice pomocí přístroje Reomixer. *Pekař cukrář*:40-41.
- Konvalina P et al. 2017. Rheological and Technological Quality of Minor Wheat Species and Common Wheat. in *Wheat Improvement, Management and Utilization*. InTech. DOI: 10.5772/67229
- Krejčířová L, Capouchová I, Petr J, Bicanová E, Kvapil R. 2006. Protein composition and quality of winter wheat from organic and conventional farming. *Agriculture* 93:285-296.
- 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. DOI: 10.1016/j.jcs.2017.02.007. ISSN: 07335210.
- Li W, Beta T. 2011. Evaluation of antioxidant capacity and aroma quality of anthograin liqueur. *Food Chemistry* 127:968-975. DOI: 10.1016/j.foodchem.2011.01.066.
- Mäder P et al. 2007. Wheat quality in organic and conventional farming: results of a 21 year field experiment. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 87:1826-1835. DOI: 10.1002/jsfa.2866

- Martinek P. 2021. AF ZORA – první evropská odrůda pšenice s černým zrnem. *Obilnářské listy* XXIX:82-84.
- Martinek P, Coufalová O, Eva N, Kurečka R, Mikulcová J. 2006. Netradiční barva obilek pšenice (*Triticum aestivum* L.), její genetická podmíněnost a možnost využití v potravinářství: Nové poznatky z genetiky a šlechtění polnohospodářských rostlin. Zborník z 13. vedeckej konferencie. VÚRV, Piešťany. ISBN: 80-88872-57-X.
- Martinek P, Chytrá H, Mikulcová J, Vyhnánek T, Bobková L, Koval SF. 2018. AF Jumiko – odrůda ozimé pšenice s purpurovým perikarpem. Available at https://www.vukrom.cz/userfiles/files/Odr%C5%AFdy/AF%20Jumiko_popisy_pro_web_opr.pdf
- Martinek P, Chytrá H, Mikulcová J, Vyhnánek T, Škorpík M. 2019. AF Oxana – odrůda ozimé pšenice s modrým aleuronem. Available at https://www.vukrom.cz/userfiles/files/Odr%C5%AFdy/AF_Oxana_popisy_pro_web_opr.pdf
- Martinek P, Jirsa O, Vaculová K, Chrpová J, Watanabe N, Burešová V, Kopecký D, Štiasna K, Vyhnánek T, Trojan V. 2014. Use of wheat gene resources with different grain colour in breeding. 75-78 in 64. *Tagung der Vereinigung der Pflanzenzüchter und Saatgutkaufleute Österreichs 2013*.
- Martinek P, Lachman J, Mrkvicová E, Azenbacherová E, Kobzová Š. 2016. Využití pšenice s odlišnou barvou zrna. *Úroda* 64:63-66. ISSN: 0139-6013.
- Martinek P, Škorpík M, Chrpová J, Fučík P. 2012. Skorpion – odrůda ozimé pšenice s modrým zrnem. *Obilnářské listy* XX:78-79.
- Martinek P, Vyhnánek T. 2014. Barevné zrno pšenice jako zdroj antioxidantů. *Úroda* LXII:68-70. ISSN: 0139-6013.
- Martinek V, Filip P. 2012. Skladování a příprava surovin. *Svaz průmyslových mlýnů České republiky*. ISBN: 978-80-239-9475-9.
- Mazzoncini M, Antichi D, Silvestri N, Ciantelli G, Sgherri C. 2015. Organically vs conventionally grown winter wheat: Effects on grain yield, technological quality, and on phenolic composition and antioxidant properties of bran and refined flour. *Food Chemistry* 175:445-451. DOI: 10.1016/j.foodchem.2014.11.138.
- Mollakhalili-Meybodi N, Sheidaei Z, Khorshidian N, Nematollahi A, Khanniri E. 2022. Sensory attributes of wheat bread: a review of influential factors. *Journal of Food Measurement and Characterization*. DOI: 10.1007/s11694-022-01765-9.
- Morgounov A et al. 2020. Yield and Quality in Purple-Grained Wheat Isogenic Lines. *Agronomy* 10. DOI: 10.3390/agronomy10010086.
- Mrkvicová E et al. 2016. The influence of feeding purple wheat with higher content of anthocyanins on antioxidant status and selected enzyme activity of animals. *Acta Veterinaria Brno* 85:371-376. DOI: 10.2754/avb201685040371.

- Olaerts H, Courtin CM. 2018. Impact of Preharvest Sprouting on Endogenous Hydrolases and Technological Quality of Wheat and Bread: A Review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 17:698-713.
- Pasqualone A, Bianco AM, Paradiso VM, Summo C, Gambacorta G, Caponio F, Blanco A. 2015. Production and characterization of functional biscuits obtained from purple wheat. *Food Chemistry* 180:64-70. DOI: 10.1016/j.foodchem.2015.02.025.
- Paznocht L, Burešová B, Kotíková Z, Martinek P. 2021. Carotenoid content of extruded and puffed products made of colored-grain wheats. *Food Chemistry* 340.
- Paznocht L, Kotíková Z, Burešová B, Lachman J, Martinek P. 2020. Phenolic acids in kernels of different coloured-grain wheat genotypes. *Plant, Soil and Environment* 66:57-64. DOI: 10.17221/380/2019-PSE
- Paznocht L, Kotíková Z, Orsák M, Lachman J, Martinek P. 2019. Carotenoid changes of colored-grain wheat flours during bun-making. *Food Chemistry* 277:725-734.
- Paznocht L, Kotíková Z, Šulc M, Lachman J, Orsák M, Eliášová M, Martinek P. 2018. Free and esterified carotenoids in pigmented wheat, tritordeum and barley grains. *Food Chemistry* 240:670-678.
- Pelshenke PF, Schulz A, Stephan H, Unbehend G, Neumann H. 2007. Rapid-Mix-Test (RMT)—Standard-Backversuch für Weizenmehle der Type 550. Merkblatt 62 der Arbeitsgemeinschaft Getreideforschung. Merkblatt der Arbeitsgemeinschaft Getreideforschung.
- Petr J. 2001. Pěstování pšenice podle užitkových směrů. Ústav zemědělských apotravinářských informací, Praha. ISBN: 8072710907.
- Podloucká P, Vaculová K, Martinek P, Polišenská I. 2021. Polyfenolické sloučeniny v obilovinách. *Obilnářské listy XXIX*:71-76.
- Polišenská I, Jirsa O, Sedláčková I. 2016. Kvalita potravinářské pšenice sklizně 2016 v České republice. *Úroda LXIV*:10-15.
- Polišenská I. 2017. Mykotoxiny v obilovinách a jejich dopad na kvalitu potravin a krmiv. Česká společnost rostlinolékařská. Available at www.rostlinolekari.cz.
- Posner E S, Hibbs A N. 1997. Wheat flour milling. Amer. Assoc. of Cereal Chemists, St. Paul, MN, USA, 1997, pp. 16-19
- Prugar, J. 1999: Kvalita rostlinných produktů ekologického zemědělství. Studijní informace ÚZPI, 5/1999 (rostlinná výroba), 79 s.
- Prugar J, Hraška Š. 1986. Kvalita pšenice. Příroda, Bratislava.
- Prugar J et al. 2008. Kvalita rostlinných produktů na prahu 3. tisíciletí. Výzkumný ústav pivovarský a sladařský ve spolupráci s komisí jakosti rostlinných produktů ČAZV. Praha. ISBN: 9788086576282

- Příhoda J, Hrušková M. 2007. Hodnocení kvality: aplikace doporučených přístrojů, metod a interpretace výsledků pro praxi. Svaz průmyslových mlýnů České republiky, Praha. ISBN: 9788023994759.
- Příhoda J, Hrušková M, Skřivan P. 2003. Cereální chemie a technologie. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Praha. ISBN: 80-708-0530-7.
- Rodriguez-Concepcion M et al. 2018. A global perspective on carotenoids: Metabolism, biotechnology, and benefits for nutrition and health. *Progress in Lipid Research* 70:62-93.
- Rückschloss L, Matúšková K, Hanková A, Jančík D. 2010 Vplyv pšenice s purpurovou farbou zrna na parametre užítkovosti vajec. *Potravinárstvo* 4: 231–234.
- Saini P, Kumar N, Kumar S, Mwaurah PW, Panghal A, Attkan AK, Singh VK, Garg MK, Singh V. 2021. Bioactive compounds, nutritional benefits and food applications of colored wheat: a comprehensive review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 61:3197-3210.
- Schuster C, Huen J, Scherf KA. 2022. Comprehensive study on gluten composition and baking quality of winter wheat. *Cereal Chemistry*.
- Sharma N, Kumari A, Chunduri V, Kaur S, Banda J, Goyal A, Garg M. 2022. Anthocyanin biofortified black, blue and purple wheat exhibited lower amino acid cooking losses than white wheat. *LWT* 154.
- Sharma N, Tiwari V, Vats S, Kumari A, Chunduri V, Kaur S, Kapoor P, Garg M. 2020. Evaluation of Anthocyanin Content, Antioxidant Potential and Antimicrobial Activity of Black, Purple and Blue Colored Wheat Flour and Wheat-Grass Juice against Common Human Pathogens. *Molecules* 25. DOI: 10.3390/molecules25245785.
- Shewry PR. 2009. Wheat. *Journal of Experimental Botany* 60:1537-1553. DOI: 10.1093/jxb/erp058. ISSN: 0022-0957.
- Sluková M, Skřivan P, Hrušková M. 2017. Cereální chemie a technologie: zpracování obilovin – mlýnská a těstářenská výroba. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Praha. ISBN: 978-80-7592-000-3.
- Skřivan M, Englmaierová M. 2020. Nová odrůda pšenice Pexeso se zvýšeným obsahem karotenoidů je v pokusech u drůbeže ve VÚŽV. *Drůbežář*:12-15.
- Souza EJ, Graybosch RA, Guttieri MJ. 2008. Breeding Wheat for Improved Milling and Baking Quality. *Journal of Crop Production* 5:39-74. DOI: 10.1300/J144v05n01_03.
- Surma M, Adamski T, Banaszak Z, Kaczmarek Z, Kuczyńska H, Majcher M, Ługowska B, Obuchowski W, Salmanowicz B, Krystkowiak K. 2015. Effect of Genotype, Environment and Their Interaction on Quality Parameters of Wheat Breeding Lines of Diverse Grain Hardness. *Plant Production Science* 15:192-203. DOI: 10.1626/pps.15.192.
- Sytar O, Boško P, Živčák M, Brestic M, Smetanska I. 2018. Bioactive Phytochemicals and Antioxidant Properties of the Grains and Sprouts of Colored Wheat Genotypes. *Molecules* 23.

- Šramková Z, Gregová E, Šturdík E. 2009. Chemical composition and nutritional quality of wheat grain. *Acta Chimica Slovaca* 2:115-138.
- Štiasna K et al. 2014. Barevné pšenice – studium genetických aspektů a technologického využití. 89-94 in *Pšenice 2014 "Rez nikdy nespí."* Výzkumný ústav rostlinné výroby, Praha. ISBN: 978-80-7427-157-1.
- Šťastník O, Vyhnánek T, Pavlata L, Mrkvicová E, Trojan V, Doležal P, Martinek P. 2017. Použití pšeníc s barevným zrnem ve výživě zvířat. *Krmivářství*. 21(1): 27–28. ISSN 1212–9992
- Šulová R. 2011. Zavedení metody stanovení β -karotenu ve vybraných odrůdách pšenice. *Bulletin Národní referenční laboratoře XV*:22-36. ÚKZÚZ, Brno. ISSN: 1801-9196.
- Šulová R, Pospíchalová M, Balarinová A, Kabátová N, Paličková A. 2012. Žluté pigmenty v odrůdách pšenice seté. 79-81 in *XLII. Symposium o nových směrech výroby a hodnocení potravin*. Praha.
- Tananuwong K, Tangsrianugul N. 2013. Effects of storage conditions and cooking on colour and antioxidant activities of organic pigmented rice. *International Journal of Food Science & Technology* 48:67-73.
- Tian S-qi, Chen Z-cheng, Wei Y-chun. 2018. Measurement of colour-grained wheat nutrient compounds and the application of combination technology in dough. *Journal of Cereal Science* 83:63-67.
- Torbica A, Antov M, Mastilović J, Knežević D. 2007. The influence of changes in gluten complex structure on technological quality of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Food Research International* 40:1038-1045.
- ÚKZÚZ. 2018. Seznam doporučených odrůd pro ekologické zemědělství (EZ) - ječmen jarní, pšenice jarní. Available at https://eagri.cz/public/web/file/574270/SDO_EZ_2018_web.pdf
- ÚKZÚZ. 2019. Jednotné pracovní postupy – testování odrůd. 50191.1 – Stanovení obsahu mokrého lepku a hodnoty gluten indexu. Národní referenční laboratoř.
- UKZÚZ. 2021. Nově registrované odrůdy (2021). Pšenice setá jarní. Available at https://eagri.cz/public/web/file/677365/PseniceJ_EKO_2021.pdf
- ÚKZÚZ. 2023. Seznam doporučených odrůd pro ekologické zemědělství (EZ) - ječmen jarní, pšenice jarní, pšenice ozimá. Available at https://eagri.cz/public/web/file/716049/SDO_EZ_2023_JJ_PJ_PO.pdf
- Vaculová K, Jirsa O, Martinek P, Balounová M. 2010. Hodnocení kvality zrna vybraných vzorků netradiční pšenice a bezpluchého ječmene. *Obilnářské listy*. XVII. (3). 71-77. ISSN: 1212138X.
- Václavíková M, Konvalina P, Hajšlová J. 2012. Kvalita pšenice v ekologickém zemědělství. *Zemědělec* XX:33. ISSN: 1211-3816.

- Váňová, M., Klem, K., Míša, P., Matušinsky, P., Hajšlová, J., Lancová, K. (2008): The content of Fusarium mycotoxins, grain yield and quality of winter wheat cultivars under organic and conventional cropping systems. *Plant, Soil and Environment*, 54(9):395–402
- Velíšek J, Hajšlová J. 2009. *Chemie potravin. Rozš. a přeprac. 3. vyd. OSSIS, Tábor. ISBN: 9788086659176.*
- Veraverbeke WS, Delcour JA. 2002. Wheat Protein Composition and Properties of Wheat Glutenin in Relation to Breadmaking Functionality. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 42:179-208. DOI: 10.1080/10408690290825510.
- Vyhnánek T, Trojan V, Štiasna K, Presinszká M, Jakubcová Z, Šťastník O, Karásek F, Janečková M, Dostálová Y, Mrkvicová E, Hřivna L, Martinek P, Havel L. 2015. Barevné pšenice – genetika a možnosti zpracování. XLI. Konference o jakosti potravin a potravinových surovin. Mendelova univerzita v Brně. s. 22-28. ISBN: 978-80-7509-220-5.
- Wang J, Pawelzik E, Weinert J, Zhao Q, Wolf GA. 2008. Factors influencing falling number in winter wheat. *European Food Research and Technology* 226:1365-1371. DOI: 10.1007/s00217-007-0666-0.
- Zimolka J. 2005. *Pšenice: pěstování, hodnocení a užití zrna. Profi Press, Praha. ISBN: 8086726096.*
- Zrcková M, Capouchová I, Eliášová M, Paznocht L, Pazderů K, Dvořák P, Konvalina P, Orsák M, Štěřba Z. 2018. The effect of genotype, weather conditions and cropping system on antioxidant activity and content of selected antioxidant compounds in wheat with coloured grain. *Plant, Soil and Environment* 64:530-538.
- Žofajová A, Havrlentová M, Ondrejovič M, Juraška M, Michalíková B, Deáková Ľ. 2017. Variability of quantitative and qualitative traits of coloured winter wheat. *Agriculture (Pol'nohospodárstvo)* 63:102-111. DOI: 10.1515/agri-2017-0010.

9 Samostatné přílohy

Tabulka 12 Legenda k sensorickému hodnocení pečiva

| znak | koeficient důležitosti | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
|--|---------------------------|---|--|--|--------------------------------------|---|
| tvar výrobku | 1 | dobře klenutý | středně klenutý | méně klenutý | kulatý | velmi nízký, nepravidelný |
| barva kůrky | 1 | normální, typicky pečivová | tmavší lesklá | světlejší lesklá | tmavá matná | velmi světlá matná |
| parcelace | 1,5 | velmi dobrá | dobrá | méně výrazná | málo výrazná | neznatelná |
| vlastnosti střídky – pružnost | 1,5 | velmi dobrá, jemná | dobrá, jemná | dostatečná | nízká, drolivá střídka | nepružná, lepivá |
| pórovitost střídky | 1,5 | rovnoměrná, jemné stěny, střední póry | méně rovnoměrná, jemné stěny, střední póry | nerovnoměrná, hrubší stěny, menší dutiny | nerovnoměrná, hrubé stěny, dutiny | nerovnoměrná, hrubé stěny, husté póry, od fouklá kůrka |
| celkový chuťový vjem | 2 | velmi dobrý, typicky pečivový | dobrá | méně dobrý | mdlý | cizí příchutě, cizí pach |