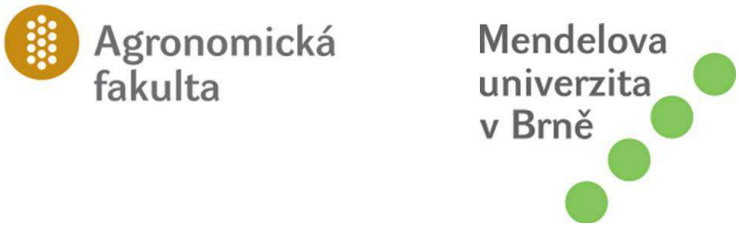
MENDELOVA UNIVERZITA V BRNĚ
AGRONOMICKÁ FAKULTA

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BRNO 2015 **MARTINA ANDRÝSKOVÁ**

Mendelova univerzita v Brně
Agronomická fakulta
Ústav biologie rostlin



Barevné pšenice – genetická determinace a technologické využití

Bakalářská práce

Vedoucí práce:
MVDr. Ing. Václav Trojan, Ph. D.

Vypracovala:
Martina Andrýsková

Brno 2015

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem práci: Barevné pšenice – genetická determinace a technologické využití vypracovala samostatně a veškeré použité prameny a informace uvádím v seznamu použité literatury. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách ve znění pozdějších předpisů a v souladu s platnou *Směrnicí o zveřejňování vysokoškolských závěrečných prací.*

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

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

V Brně dne:……

……..
podpis

ABSTRAKT

Cílem této práce s názvem „Barevné pšenice – genetická determinace a technologické využití“ bylo vybrat optimální způsoby zpracování barevných pšenic (*Triticum aestivum* L.) v potravinářském průmyslu. Běžně pěstované pšenice mají červenou barvu zrna. Jsou zde však i genotypy s geneticky podmíněným netradičním zabarvením zrna. Jedná se o pšenice s purpurovou, modrou, žlutou nebo bílou barvou zrna. Barva pšenic s purpurovou a modrou barvou zrna je dána obsahem antokyanů a barva pšenice se žlutým zrnem je způsobena zvýšenou koncentrací karotenoidů. Tyto sloučeniny jsou známé pro jejich antioxidační účinek. Z tohoto důvodu by pšenice s nestandardním zabarvením zrna mohly být využity pro výrobu nových potravin, které by byly pro spotřebitele nejen atraktivní svým vzhledem, ale také přínosné pro jejich zdraví. V různých pletivech zrna je různé zastoupení barevných látek, které ovlivňuje obsah těchto látek v mouce a šrotu, proto je nezbytné zohlednit tento fakt při zpracování. Technologický proces musí být také vhodně upraven z důvodu nízké stability pigmentů. Práce se také zabývá genetickou podmíněností nestandardního zabarvení zrna pšenic, zdravotními tvrzeními a označováním potravin.

Klíčová slova: barevné zrno, antioxidanty, antokyany, karotenoidy, biosyntetická dráha, zpracování potravin, označování potravin

ABSTRACT

The aim of this work entitled „Coloured wheat - genetic determination and technological processing" is to select the most appropriate way of treatment of coloured wheat (*Triticum aestivum* L.) in food industry. The grown common wheat has red coloured grain. However, there are several genotypes of wheat with different, genetically determined, grain colour: purple, blue, yellow and white. The purple and blue forms content different anthocyanins, the yellow forms the higher level of carotenoids. These compounds are known for their antioxidant effect. Therefore the different colour grains can be used in food industry for the production of new products which could be not only attractive for consumers but they would be also good for their health. In different grain tissues there are different amounts of coloured substances that affect their content in flour and meal. Hence there is necessary to choose the suitable grain tissue. Moreover the technological proces should be modify because of low stability of pigments. This work also deals with genetic determination of different coloured grain of wheat and with the possibilities of healing claims and food labeling.

Keywords: coloured grain, antioxidants, anthocyanins, carotenoids, biosynthetic pathway, food processing, food labeling

OBSAH

1 ÚVOD 9

2 PŠENICE SETÁ (*Triticum aestivum* L.) 10

2.1 Botanická systematika 10

2.2 Historie a vývoj 11

2.3 Význam v současnosti 12

2.4 Anatomická stavba obilky 12

2.5 Chemické složení 13

2.5.1 Sacharidy 13

2.5.2 Lipidy 13

2.5.3 Vitaminy 13

2.5.4 Minerální látky 14

2.5.5 Bílkoviny 14

3 PŠENICE S NESTANDARDNÍM ZABARVENÍM ZRNA JAKO FUNKČNÍ POTRAVINA 15

3.1 Antioxidanty 16

4 PIGMENTY 17

4.1 Antokyany 17

4.2 Karotenoidy 19

5 GENETICKÁ DETERMINACE ZABARVENÍ ZRN PŠENICE 21

5.1 Červené zabarvení zrna 23

5.2 Bílé zabarvení zrna 24

5.3 Žluté zabarvení zrna 25

5.4 Modré zabarvení zrna 26

5.5 Purpurové zabarvení zrna 28

6 TECHNOLOGICKÉ VYUŽITÍ NESTANDARDNĚ ZABARVENÝCH ZRN PŠENICE 29

6.1 Pšenice s nestandardním zabarvením zrna jako surovina pro technologické využití v potravinářství 30
6.1.1 Červené zrno 30
6.1.2 Bílé zrno 31
6.1.3 Žlutý endosperm 32
6.1.4 Modrý aleuron 32
6.1.5 Purpurový perikarp 33
6.2 Mlýnské zpracování 34
6.2.1 Princip a schéma mlýnského zpracování 34
6.2.2 Produkty mlýnského zpracování 35
6.2.3 Charakterizace produktů mlýnského zpracování ve vztahu k fytochemikáliím 35
6.3 Pekárenské využití 37
6.3.1 Požadavky na surovinu a výběr suroviny 37
6.3.2 Princip a schéma pekárenské výroby 39
6.3.3 Charakterizace produktu pekárenského zpracování ve vztahu k fytochemikáliím 40
6.4 Pečivárenský průmysl 41
6.5 Expandované výrobky 42
6.6 Výroba těstovin 42
6.7 Výroba pšeničného sladu 44
7 OZNAČOVÁNÍ POTRAVIN 45
7.1 Označování balených potravin dle § 6 zákona č. 110/1997 Sb. o potravinách a tabákových výrobcích a o změně a doplnění některých souvisejících zákonů v platném znění 46
7.2 Potravina zabalená bez přítomnosti spotřebitele dle § 7 zákona č. 110/1997 Sb. o potravinách a tabákových výrobcích a o změně a doplnění některých souvisejících zákonů v platném znění 47

7.3 Označování nebalených potravin dle § 8 zákona č. 110/1997 Sb. o potravinách a tabákových výrobcích a o změně a doplnění některých souvisejících zákonů v platném znění 47
7.4 Pokrmy dle § 9a zákona č. 110/1997 Sb. o potravinách a tabákových výrobcích a o změně a doplnění některých souvisejících zákonů v platném znění 48
8 VÝŽIVOVÁ, ZDRAVOTNÍ A JINÁ LÉČIVÁ TVRZENÍ PRO OZNAČOVÁNÍ BALENÝCH POTRAVIN 48
9 ZÁVĚR 50
10 LITERATURA 51
11 SEZNAM ZKRATEK 66

1 ÚVOD

Pšenice patří k nejstarším kulturním plodinám. V současnosti je v celosvětovém měřítku nejdůležitějším potravinovým zdrojem a její pěstování je neoddělitelně spjato s rozvojem moderní civilizace. Představuje základní zdroj potravy pro minimálně jednu třetinu světové populace. Z ekonomického hlediska je nejvýznamnější hexaploidní pšenice setá (*Triticum aestivum* L.) a tetraploidní pšenice tvrdá (*Triticum durum* L.).

Původní druhy pšenic byly postupně selektovány. Pozdější genetický vývoj probíhal šlechtěním jejich různých odrůd. Dnes mezi hlavní cíle šlechtění pšenic patří zvyšování jejich výnosové schopnosti, zlepšování jakosti zrna a jejich odolnost vůči chorobám a negativnímu vlivu vnějšího prostředí.

Plodinami s lepší jakostí zrna, konkrétně jakostí nutriční, mohou být právě odrůdy pšenic s geneticky podmíněným nestandardním zabarvením zrna. Ještě do nedávna se tyto odchylky v zabarvení zrna pokládaly za zvláštnost. V současné době však zájem o ně prudce vzrostl. Tento trend souvisí s nárůstem poznatků o rostlinných barvivech. Některá rostlinná barviva totiž mohou pozitivně ovlivňovat zdraví člověka. Jejich významnou vlastností je antioxidační schopnost. Jestliže je tedy pšenice nejvýznamnější obilovinou zajišťující výživu lidské populace, pak rozšíření sortimentu potravin z barevných pšenic by mohl mít za předpokladu dlouhodobé a pravidelné konzumace příznivý vliv na lidské zdraví. Dlouhodobý a pravidelný příjem těchto antioxidantů může být zajištěn díky současné masové konzumaci jistých potravin z pšenice a současně podpořen co nejširším sortimentem výrobků, se kterými se konzument může setkat a jejich prostřednictvím tak zvýšit příjem těchto antioxidantů. Produkty z pšenic s nestandardním zabarvením zrna by se mohly stát funkčními potravinami, takže by kromě prosté výživové hodnoty měly i příznivý vliv na zdraví konzumenta.

V této práci budu popisovat problematiku technologického zpracování pšenic v potravinářském průmyslu. Bude zároveň přihlédnuto k jejich senzorické a nutriční jakosti. Důležitou stránkou věci je také obsah pigmentů v surovině a v její zpracované formě, tedy ve výsledné potravině. Kromě vhodného technologického zpracování barevných pšenic se budu zabývat i jejich genetickou podmíněností. Zmíním i problematiku označování potravin a uvádění léčivých tvrzení, a to v rámci legislativy.

2 PŠENICE SETÁ (*Triticum aestivum* L.)

2.1 Botanická systematika

Triticum aestivum je kulturní rostlinou, náležející do čeledi lipnicovitých (*Poaceae*), která patří do oddělení krytosemenných (*Magnoliophyta*), (Novák, Skalický, 2012). Rod *Triticum* se dle počtu chromozomů dělí do tří skupin. Základním chromozomovým číslem je n = 7. Pšenice setá patří spolu s pšenicí špaldou (*Triticum spelta* L.) do skupiny hexaploidních pšenic (2n = 42). Dalšími dvěma skupinami jsou diploidní pšenice (2n = 14) a pšenice tetraploidní (2n = 28), (Zimolka, 2005).

V současnosti se používá taxonomické dělení rodu *Triticum* především na základě dvou rozdílných klasifikací (MacKey, 1977; Dorofeev et al., 1979). Goncharov upozorňuje na vhodnost sjednocení těchto dvou odlišných klasifikací. Až do nedávné doby se klasifikace prováděla pomocí morfologických znaků (Zohary, 2000). Dnes je snaha klasifikovat na základě fylogenetických vztahů, protože co nejpřesnější klasifikace je důležitá pro pochopení jak původu pšenice, tak její fylogeneze. Její správná klasifikace má taktéž obrovský význam pro šlechtění (Goncharov, 2011).

Tabulka č. 1: Ukazuje jeden z nejaktuálnějších pohledů na nomenklaturu rodu *Triticum*. Upraveno dle van Slageren 1994 (Hancock, 2004).

Druh	Poddruh	Status	Chromozomové číslo	Genom
T. monococcum	*aegilopoides*	Planá	2n = 14	AA
	monococcum	Kulturní		
T. turartu		Planá		
T. turgidum	*carthlicum*	Kulturní	2n = 28	AABB
	dicoccoides	Planá		
	dicoccum	Kulturní		
	durum	Kulturní		
	turgidum	Kulturní		
	paleocolchicum	Archeologická		
	polonicum	Kulturní		
T. timopheevii	*armeniacum*	Planá	2n = 28	AAGG
	timopheevi	Kulturní		
T. aestivum	*spelta*	Kulturní	2n = 42	AABBDD
	macha	Kulturní		
	aestivum	Kulturní		
	compactum	Kulturní		
	sphaeroccum	Kulturní		

2.2 Historie a vývoj

Čeleď lipnicovitých (*Poaceae*) vznikla před 65 – 100 milióny let. Diploidní druhy se oddělily od společného předka před 3 milióny let a vzájemnou hybridizací pak začaly přibližně před 500 000 lety vznikat polyploidní pšenice (Gill, 2004). Hexaploidní pšenice, která je dnes nejvíce hodnotná a rozšířená, vznikla před zhruba 7 000 lety př. n. l. na území úrodného půlměsíce (Smith, 1995). Dosud nebyla nalezena její planá forma – na rozdíl od pšenice diploidní a triploidní (Zohary, 2000).

Historie pšenice je nerozlučně spjata s rozvojem zemědělství (Smith, 1995). Nejstarší archeologické nálezy z Tell Abu dokazují, že lidé pěstovali divoké formy pšenice, konkrétně *T. monococcum* subsp. *aegiloploides*, již v období 10 000 let př. n. l. První kulturní jednozrnka je datována do období 8 000 let př. n. l. do některých oblastí Blízkého východu – Iráku, Iránu a Turecka (Hancock, 2004).

Vývoj rodu *Triticum* je výsledkem hybridizace primitivní pšenice s druhy *Aegilops* a následné aploidizace, což znamená spojení a zmnožení chromozomů různého druhového původu (Bednář, Vyhnánek, 2004). Proces aploidizace přispěl ke zvýšení plasticity a adaptibility genomu a usnadnil tak vytvoření kulturních forem pšenice, které jsou využívány v současnosti (Dubcovsky, Dvořák, 2007).

Přirozenou hybridizací diploidní plané trávy *Triticum urartu*, nesoucí genom AA, s diploidním druhem trávy, mající genom BB, vznikl diploidní kříženec, který měl genom AB a byl sterilní. Po zdvojení vznikla planá tetraploidní pšenice *T. turgidum* s genomem AABB, která již byla fertilní. Nebyla nalezena žádná konkrétní planá diploidní tráva s genomem B, ale stále více výzkumů poukazuje na předka současného *Aegilopsis speltoides*. Může tu však konfigurovat více druhů, které by mohly být teoretickými donory genomu B, prostřednictvím introgrese. Hexaploidní pšenice *T. aestivum* je poměrně nedávným výsledkem hybridizace mezi kulturní tetraploidní *T. turgidum* subsp. *dicoccoides* (AABB) a divokou diploidní trávou *Aegilops tauschii* (DD). Jejich kříženec byl opět neplodný, avšak zdvojením všech tří sad chromozomů vznikla planá hexaploidní pšenice s genomem AABBDD v šesti řadách chromozomů po sedmi (Goncharov et al., 2008; Gustafson et al., 2009; Hancock, 2004).

Velké množství mezidruhových hybridizací, v současnosti se vyskytujících na Středním východě, potvrzuje polyfyletický původ většiny polyploidních druhů. Chromozomální a genové modifikace pravděpodobně zvýšily adaptivní schopnost rodu *Triticum*, o to náročnější však je rozluštit původ pšenic (Hancock, 2004).

2.3 Význam v současnosti

Pšenice je nejdůležitější obilovinou z hlediska výživy a také hlavní zemědělskou obilovinou (Skoupil, 1994). V průměru za posledních pět let činí roční objem globální sklizně pšeničného zrna 673,8 mil. tun, což odpovídá 30 % roční obilnářské produkce. Evropská unie je jejím největším světovým producentem (20,6 % světové produkce). Mezi další významné světové producenty patří Čína (17,2 % světové produkce), Indie (12,5 %), USA (9 %) a Rusko (7,8 %). Hlavními importéry jsou Brazílie, Itálie, Japonsko a Alžírsko. Celosvětově činí využití pšenice pro lidskou výživu 66 % z celkového globálně vyprodukovaného množství (Burešová, Lorencová, 2013). Její největší spotřebu mají v asijských, evropských a afrických zemích.

Produkce pšenice v České republice je okolo 3,7 mil. t (Novotný, 2012). Ozimá pšenice má v našich podmínkách větší výnos. Je vhodnější pro výrobu kynutého pečiva než jarní (Burešová, Lorencová, 2013). Pšenice je na trhu ČR dominantní plodinou, která tvoří 61,6 % nabídky všech obilovin. Je zde však dlouhodobý trend poklesu spotřeby pšenice pro lidskou výživu. Pouhých 35 % produkce zrna je pro pekařské využití a celých 60 % se zkrmuje. Pro nadbytečné objemy se hledá nepotravinářské využití (Prugar, 2008).

Dle ÚKZÚZ se odrůdy pšenice dělí do kategorií dle způsobu jejich dalšího využití (Zimolka, 2005):

1.) pšenice pro pekárenské využití
2.) pšenice pečivárenské
3.) pšenice pro speciální využití (výroba škrobu a lihu)
4.) pšenice pro výrobu těstovin
5.) krmné pšenice

2.4 Anatomická stavba obilky

Plodem pšenice je obilka, která je plodem nepukavým. Na jednom jejím konci je zárodek, na opačném konci několik vlásků a shora dolů jí prochází rýha. Obilku tvoří tři hlavní části: obaly, endosperm a embryo. Obal je tvořen srostlým oplodím, tj. perikarpem, a osemením, tj. testou. Oplodí se dělí na epidermis, epikarp a endokarp. Osemení obsahuje v buňkách barviva, která dávají obilce její barevný vzhled. Pod osemením je aleuronová vrstva, která přiléhá k endospermu. Endosperm se nachází

ve vnitřní části a má zásadní technologický význam. Embryo je uloženo šikmo na bázi obilky a od endospermu je odděleno štítkem (Slabý, Krejčí, 2005; Burešová, Lorencová, 2013).

2.5 Chemické složení

2.5.1 Sacharidy

Tvoří největší podíl pšeničného zrna, celých 65 % z hmotnosti zrna. Pouhé 2 – 4 % tvoří nižší cukry a zbytek je tvořen škrobem (Chloupek et al., 2005). Škrob je polysacharidem zásobním, který je ve formě škrobových granulí, uložených v amyloplastech. Je tvořen glukopyranosovými jednotkami, navzájem propojenými glykosidovou vazbou. Dělí se na dvě frakce: amylózu a amylopektin (Burešová, Lorencová, 2013).

Klíčovým enzymem pro biosyntézu škrobu je tzv. waxy protein, který katalyzuje tvorbu amylózy. Tento enzym je u hexaploidních pšenic kódován třemi waxy geny (*Wx-A1*, *Wx-B1* a *Wx-D1*), (Štiasna et al, 2014).

Škrob je ve vodě nerozpustný, avšak při zahřátí na asi 65 °C škrobová zrna bobtnají a zvětšují se natolik, že praskají. Jejich obsah pak vytéká a vzniká tak silně viskózní roztok – škrobový maz (Burešová, Lorencová, 2013).

2.5.2 Lipidy

Nejvíce lipidů je v klíčku, kde je 34 – 42 % z celkového obsahu lipidů v zrnu. Kromě klíčku se také nacházejí v aleuronové vrstvě (Burešová, Lorencová, 2013). Při skladování obilí a mouk může docházet k oxidačním změnám lipidů – žluknutí. Lipidy se však také uplatňují při biochemických procesech během pečení a kynutí (Prugar, 2008).

2.5.3 Vitaminy

Pšenice je dobrým zdrojem vitaminů skupiny B, ale obsah vitaminů rozpustných v tucích, které jsou obsaženy především v klíčku a aleuronové vrstvě, je nízký (Burešová, Lorencová, 2013).

2.5.4 Minerální látky

Jsou obsaženy zejména v povrchových vrstvách zrna, a proto se vyskytují v celozrnných potravinách. Pšenice jsou zdrojem vápníku, fosforu, železa, mědi, zinku a manganu (Chloupek et al., 2005).

2.5.5 Bílkoviny

Mají největší význam z hlediska technologického i nutričního. Dle Osbornova dělení se obilné bílkoviny dělí na čtyři základní frakce: albuminy rozpustné ve vodě, globuliny rozpustné v solných roztocích, prolaminy rozpustné v 70 – 90% alkoholu a gluteliny, rozpustné ve zředěných roztocích kyselin a zásad.

Albuminy a globuliny jsou protoplazmatickými bílkovinami, prolaminy a gluteliny zase zásobními bílkovinami. Prolaminy jsou bohaté na prolin a glutamin. Pšeničný prolamin se nazývá gliadin a pšeničný glutelin jako glutenin (Burešová, Lorencová, 2013). Gliadin a glutenin tvoří lepek. Lepek vzniká po smíchání pšeničné mouky s vodou (Příhoda et al., 2004). Jeho množství a kvalita určuje pekařskou kvalitu mouky. Lepek díky své tažnosti poutá plyny při kynutí (Chloupek et al., 2005), a tím následně ovlivňuje strukturu a pórovitost střídy těsta (Vaculová et al., 2010).

Glutenin zlepšuje pružnost, pevnost a bobtnavost těsta. Je tvořen podjednotkami, které se dle hmotnosti dělí na HMW a LMW podjednotky. HMW podjednotky gluteninu jsou spojovány s dobrými pekárenskými vlastnostmi lepku. Zvyšují pevnost a pružnost lepku a pozitivně ovlivňují viskoelastické vlastnosti těsta. LMW podjednotky mohou vytvářet velké bílkovinné agregáty, které ovlivňují pevnost těsta. Ty, které vytvářejí komplexy s HMW podjednotkami, mají největší vliv na pekárenskou kvalitu.

Gliadiny ovlivňují viskozitu a tažnost lepku, a tím i těsta (Burešová, Lorencová, 2013). U citlivých osob však gliadiny mohou vyvolat celiakii (Chloupek et al., 2005).

Na základě přítomnosti gliadinových a gluteninových podjednotek může být predikována technologická jakost pšeničného zrna. Jedná se o vlastnost silně geneticky podmíněnou, avšak vliv mají i environmentální faktory (Vaculová et al., 2010).

Technologická jakost je u pšenice podmíněna řadou genů, kódujících syntézu právě zásobních bílkovin zrna. Z nich významnou úlohu mají HMW bílkovinné podjednotky. Ty se nacházejí na chromozomech první (1A, 1B, 1D) a šesté (6A, 6B, 6D) homologické skupiny. Mezi HMW podjednotky patří u pšenice kromě některých gluteninů i gliadiny, ale zvláště HMW gluteniny mají rozhodující význam. Míru, jakou

jednotlivé HMW podjednotky ovlivňují kvalitu lepkových bílkovin, lze vyjadřovat pomocí tzv. „skóre“. Gluteninový lokus *Glu-D1d* (syn. *Glu-D1 5+10*) s alelickým blokem *d* (kódující HMW podjednotky *5+10*, které fungují jako jediný gen) významně přispívá k dobré pekařské kvalitě u pšenice – má vysoké GLU-skóre (Martinek et al., 2006a).

3 PŠENICE S NESTANDARDNÍM ZABARVENÍM ZRNA JAKO FUNKČNÍ POTRAVINA

Potraviny můžeme považovat za funkční, jestliže mají blahodárné účinky na organismus a zajišťují tak jeho dobrý zdravotní stav a pomáhají předcházet vzniku nemocí. Tyto potraviny se vyznačují nejen prostou výživovou funkcí, ale disponují především přidanou hodnotou, díky které mají na organismus významný fyziologický účinek. Měly by být konzumovány jako součást běžné stravy, nemají mít tudíž podobu pilulek či kapslí (Thompson, Moughan, 2008). Na rozdíl od léků je třeba funkční potraviny konzumovat mnohem déle (měsíce, roky), abychom dosáhli jejich příznivého účinku (Kalač, 2003). Funkční látky mohou být přidávány do minimálně zpracované potraviny, obsah v produktu taktéž můžeme ovlivnit šlechtěním nebo pomocí genetického inženýrství, či úpravou krmiva pro hospodářská zvířata. Moderní pojetí funkční potraviny představili jako jedni z prvních roku 1980 Japonci, kteří uznali důležitost vlákniny (Thomson, Moughan, 2008).

Z legislativního hlediska není funkční potravina definovaná, ale souvisí s ní nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1924/2006. Cílem tohoto nařízení je, aby u látek, které jsou předmětem tvrzení, byl vědecky prokázán pozitivní výživový či fyziologický účinek. Jednotlivá tvrzení, předložená členskými státy posuzuje EFSA. Má tak vzniknout seznam povolených tvrzení o funkčních potravinách či látkách. Tvrzení, která na tomto seznamu nebudou uvedena, musí být výrobcem předložena EFSA, která je následně schválí (Moors, 2012).

Úřad pro kontrolu potravin a léčiv (FDA) dovolují potraviny daného charakteru označovat tvrzením o „výživovém obsahu“, dále tvrzením o „funkci“ a „zdravotním tvrzením“. Tvrzení o výživovém obsahu říká, jaké je dané množství látky v produktu. Tvrzení o funkci vysvětluje, jak produkt či jeho složka může ovlivnit zdraví organismu. Není ale dovoleno uvádět konkrétní nemoci. Zdravotní tvrzení popisuje vztah mezi potravinou a prevencí vzniku choroby.

Současným problémem funkčních potravin je nedostatečná informovanost spotřebitelů. Je zde nutnost pochopení a přijetí této problematiky. Dalším problémem je nedostatek vědeckých důkazů, které by doložily přidanou hodnotu výrobku (Thompson, Moughan, 2008).

Pšenice v lidské výživě hraje velkou roli. Pšenice je mimo sacharidů významným zdrojem energie, rostlinných bílkovin, ale také minerálních látek a vitamínů – zejména skupiny B. Významné jsou produkty hlavně z celozrnné mouky, která zachovává poměr zastoupení všech tří hlavních částí zrna. Konzumace těchto produktů může díky obsažené vláknině prevencí civilizačních chorob, jako jsou nádorová a kardiovaskulární onemocnění či diabetes 2. typu a pomáhat v udržení váhy (Kučerová, 2004; Štechová, 2012; Jiang, Peterson, 2013). Barevné pšenice jsou navíc bohaté na přírodní pigmenty, které jsou významné antioxidanty s příznivým vlivem na zdraví člověka. Zdravotní účinek pšenic s vyššími obsahy přírodních barviv ve výživě člověka dosud nebyl ověřen klinickými testy (Martinek et al., 2010). Bylo však prokázáno, že mají příznivý vliv na užitkovost a kvalitu produkce hospodářských zvířat (Rückschloss et al., 2010).

3.1 Antioxidanty

Antioxidanty jsou redukční látky reagující s oxidačními substancemi, čímž chrání důležité molekuly před oxidací (Koolman et al., 2012).

Antioxidanty ve stravě jsou nezbytné pro prevenci četných chorob. Během procesu zisku energie v buňkách pomocí kyslíku vznikají i volné radikály. Volný radikál se vyznačuje nepárovým elektronem, a proto má vysokou reaktivitu. V lidském těle patří mezi hlavní radikály reaktivní formy kyslíku. Pokud jejich tvorba není dostatečně kontrolována antioxidačními systémy, nastává antioxidační stres. Ten vede k poškození buněk a může být příčinou vzniku onemocnění.

V poslední době je velmi diskutována skupina polyfenolů, což jsou látky s možným antioxidačním účinkem. Tyto polyfenoly jsou mimo jiné obsažené i u pšenic. Pomocí epidemiologických studií byla prokázána souvislost mezi příjmem polyfenolů a zdravotním stavem konzumenta (Prior, Xianli, 2013). Do skupiny polyfenolů patří flavonoidy, k nimž se řadí i antokyany (Basu et al., 1999). K dalším biologickým antioxidantům patří některé karotenoidy, kterými jsou α i β-karoten, lykopen, zeaxantin, lutein a β-kryptoxantin (Koolman et al., 2012; Smolin, Grosvenor, 2010; Basu et al., 1999).

4 PIGMENTY

Kromě pigmentů, které způsobují tradiční červené zabarvení díky derivátům katechinu a taninu v tradičně pěstovaných odrůdách pšenice seté, existují i odrůdy a genotypy, obsahující pigmenty antokyany, které způsobují purpurové a modré zabarvení zrna, a karotenoidy (jejich zvýšený obsah) v případě žlutých zrn (Musilová et al., 2010a).

4.1 Antokyany

Antokyany jsou látky flavonoidní povahy, které jsou nejrozšířenější a nejobsáhlejší skupinou rostlinných barviv (Velíšek, Hajšlová, 2009). Flavonoidy se řadí do skupiny fenolických fytochemikálií společně s flavonoly, flavony, flavanoly, flavanony a isoflavanoidy (Žofajová et al, 2012; Havrlentová et al., 2014). Polyfenolové látky jsou aromatické sloučeniny s jednou či více hydroxylovými skupinami a jejich deriváty. Třemi hlavními skupinami polyfenolů v potravinách jsou fenolové kyseliny, kyselina skořicová a její deriváty a skupina flavonoidů. Největší pozornost je věnována právě skupině flavonoidů, která disponuje širokým spektrem pozitivních fyziologických účinků (Pšenáková, Faragó, 2006).

Antokyany jsou pigmenty odpovědné za modré, fialové, červené či oranžové zabarvení rostlinných tkání a orgánů (Havrlentová et al., 2014). Barevností, kterou poskytují rostlinám, lákají opylovače. Slouží také jako ochrana proti UV záření (Burešová et al., 2015). Obecně se dá říci, že chrání rostlinu vůči biotickým a abiotickým stresovým faktorům (Žofajová et al., 2012). Patří do skupiny barviv, která jsou rozpustná ve vodě. Dosud bylo v přírodních zdrojích identifikováno asi 300 různých antokyanů. Aglykonová část antokyanů se označuje jako antokyanidin. Antokyanidiny jsou odvozeny od základní struktury, kterou je flavyliový kation (Velíšek, Hajšlová, 2009). Nejběžnějšími sacharidy vyskytujícími se v antokyanech jsou xylóza, arabinóza, rhamnóza, glukóza a galaktóza. Cukry mohou být acylovány organickými kyselinami, zejména kyselinou octovou, malonovou, p-kumarovou, kávovou nebo hydroxybenzoovou (Escribano-Bailón et al., 2011). V ovoci a zelenině se nejběžněji vyskytuje šest antokyanidinů: kyanidin, pelargonidin, peonidin, delfinidin, petunidin a malvidin (Abdel-Aal, Hucl, 2003).

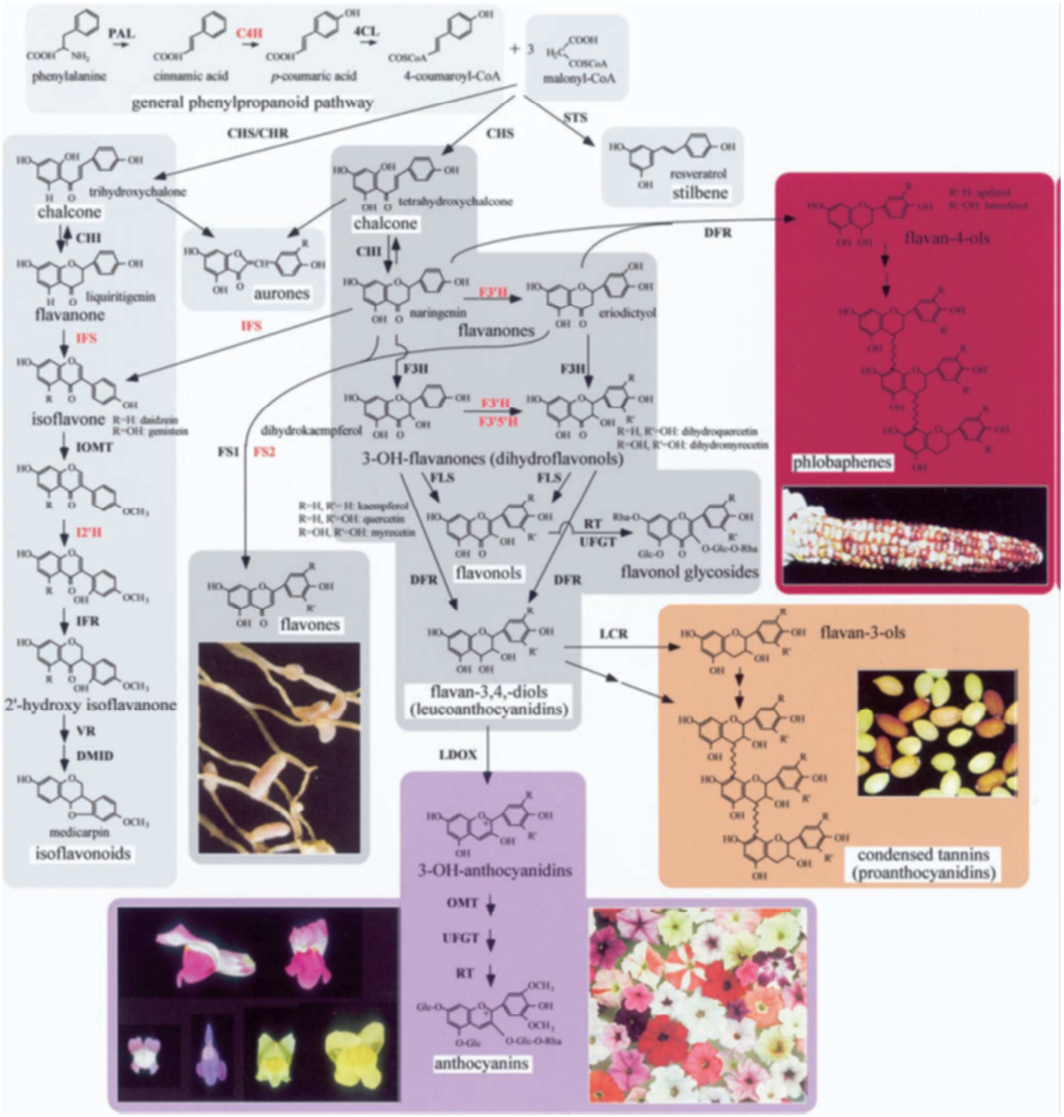
Nejvyšší obsah antokyanů byl zaznamenán například u borůvek, brusinek či hroznového vína, a to v koncentraci přes 5 000 mg/kg. Mohou být obsaženy

ve značném množství i v obilovinách, například v purpurové kukuřici, červené a černé rýži nebo pšenici s modrým a purpurovým zrnem (Burešová et al., 2015). Charakter antokyanů v purpurové pšenici je odlišný od antokyanů v modré pšenici. V důsledku toho se liší i jejich stabilita a další jejich charakteristiky (Abdel-Aal, Hucl, 2003). Hlavním antokyanem v purpurové pšenici je kyanidin-3-glukosid. Tento antokyan se nalézá také u pšenic s modrým aleuronem, avšak u nich je dominantním antokyanem delphinin-3-glukosid (Abdel-Aal et al., 2006).

U barevných pšenic jde z biochemického hlediska o to, že z flavanonů vznikají mimo jiných sloučenin flavan-4-oly a dihydroflavonoly. Z těch následně vznikají leukoantokyany. Pomocí enzymu leukoantokyanidinreduktázy vznikají z leukoantokyanů flavan-3-oly. Ty mají bílé a žluté zabarvení. Enzym leukoantokyanidindioxygenáza katalyzuje tvorbu 3-hydroxyantokyanů, ze kterých za účasti enzymů vznikají další typy antokyanů, včetně modrých a purpurových (Musilová et al., 2010a).

Antokyany mají kromě antioxidačních vlastností také vlastnosti protizánětlivé, protinádorové a hypoglykemické (Abdel-Aal et al., 2006). Dále disponují antimikrobiálními a neuroprotektivními účinky. Mohou působit preventivně vůči srdečním chorobám (Burešová et al., 2015). Antokyany disponují dokonce vyšší antioxidační aktivitou než vitamin C a E (Žofajová et al, 2012). Mají také schopnost vázat těžké kovy jako je železo, zinek a měď a jsou induktory enzymů glutation-S-transferázy a superoxiddismutázy.

Stabilita antokyanů se zvyšuje s počtem methoxyskupin v kruhu B a naopak snižuje s počtem OH skupin. Z nejběžnějších antokyanů jsou relativně stabilní malvidin, peonidin, petunidin, kyanidin a delfinidin. Glykosylace a acylace také zvyšuje jejich stabilitu – diglykosidy jsou stabilnější než jejich odpovídající monoglykosidy. Rychlost rozkladu antokyanů stoupá se zvyšující se teplotou. Světelné záření taktéž urychluje degradaci antokyanů (Esribano-Bailón et al., 2011). Antokyany modré pšenice jsou nejvíce stabilní při pH 1. Jejich degradace při pH 3 je mnohem menší než při pH 5. Zvyšováním teploty od 65 °C do 95 °C se zvyšuje degradace antokyanů modrých pšenic. Přidáním optimálního množství SO_2 (500 – 3 000 ppm) při zahřívání, dojde k jejich stabilizaci (Abdel-Aal, Hucl, 2003).



Obrázek č. 1: Biosyntetická dráha antokyanů (Winkel-Shirley, 2001).

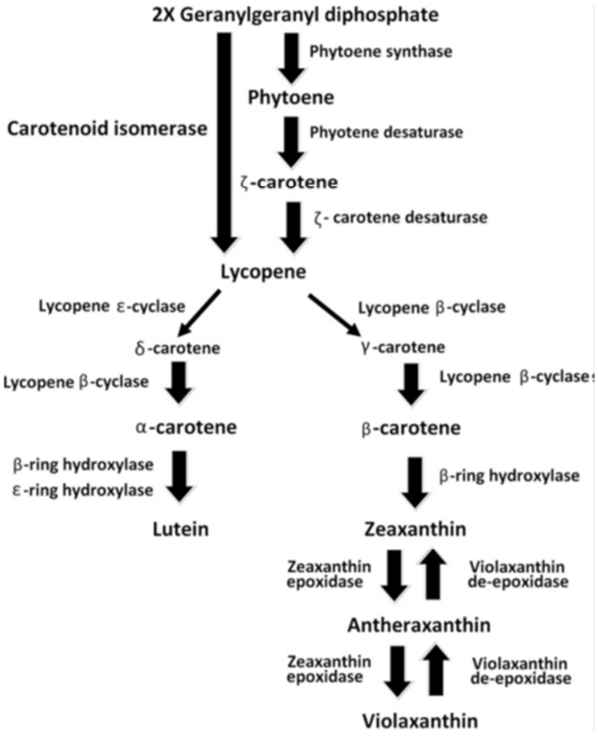
4.2 Karotenoidy

Karotenoidy jsou rozšířené, nejčastěji žluté a oranžové pigmenty nejen rostlin, ale i hub, řas, mikroorganismů a některých živočichů. Dnes je známo asi 700 přirozeně se vyskytujících karotenoidních pigmentů. Většina karotenoidních látek se řadí mezi tetraterpeny. Jejich barevnost je dána řetězcem konjugovaných dvojných vazeb, který se vyskytuje v několika základních strukturách a jejich obměnách. Mezi karotenoidy se řadí karotenoidy a xantofyly (Velíšek, Hajšlová, 2009).

Ke karotenoidům, které se běžně vyskytují v zrnu, patří lutein, zeaxantin, β-kryptoxantin, β-karoten a α-karoten (Liu, 2007). Žlutou mouku některých odrůd pšenice seté způsobuje lutein, zeaxantin a β-karoten (Martinek et al., 2011).

V rostlinách mají zásadní roli v procesu fotosyntézy. Brání foto-oxidačnímu poškození, a tím poškození buněčných membrán. Barvou, kterou dávají rostlinám, lákají opylovače. Jsou také nezbytnou složkou lidské stravy (Howitt et al., 2009). Lidé a zvířata nejsou schopna si je sama vytvářet – na rozdíl od rostlin a některých bakterií a hub, a proto je musí přijímat z potravy (Atienza et al., 2007). Obecně jsou považovány za látky s pozitivním vlivem na zdraví (Howitt et al., 2009). Jedná se totiž o provitaminy a antioxidanty. α-karoten, β-karoten a β-kryptoxantin jsou hlavními prekurzory vitaminu A (Liu, 2007). Konzumace potravin bohatých na karotenoidy je spojována také s poklesem rizika vzniku jistých typů rakoviny a dalších degenerativních a chronických chorob (Atienta et al., 2007).

Karotenoidy jsou citlivé na světlo a teplo (Luthria et al., 2015). V důsledku jejich antioxidační aktivity jsou snadno degradovatelné kyslíkem. Ke ztrátám karotenoidů dochází během mletí i skladování, avšak hlavní vliv na zachování karotenoidů až do konečných produktů má enzymatická aktivita (Hidalgo et al, 2010).



Obrázek č. 2: Biosyntetická dráha karotenoidů (Ramachandran et al, 2010).

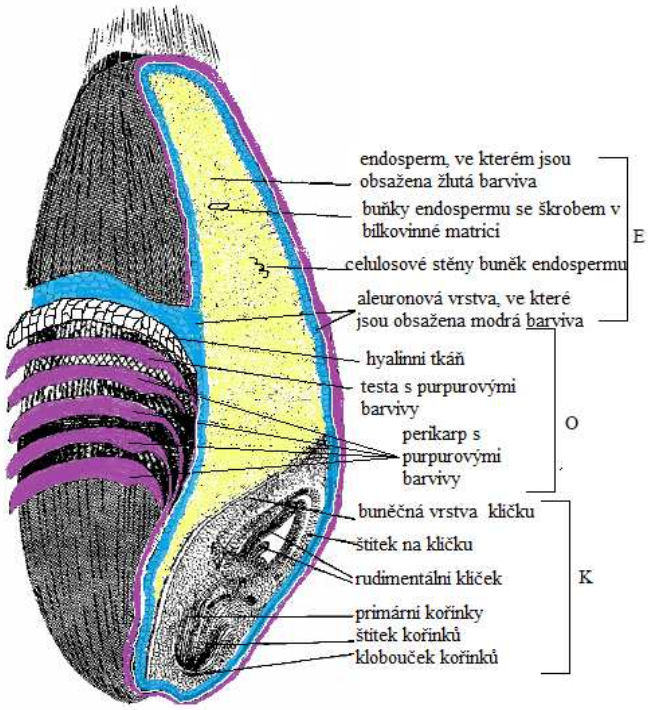
5 GENETICKÁ DETERMINACE ZABARVENÍ ZRN PŠENICE

Pšenice s purpurovým perikarpem, modrým aleuronem a žlutým zrnem by mohly být z výše zmíněných důvodů donory pro vyšlechtění odrůd se zvýšeným obsahem zdraví prospěšných látek (Martinek et al., 2010). U barevných odrůd pšenic je požadována dobrá genetická stabilita, výborná odolnost a vysoký výnos (Havrlentová et al., 2014). V současnosti jsou vytvářeny kolekce genových zdrojů hexaploidních pšenic s nestandardní barvou zrn, která bude zahrnovat existující genetické varianty barev zrn. Pro přenos genů zodpovědných za nestandardní zabarvení zrn do genetického základu běžných odrůd, je používáno běžné a zpětné křížení a následná standardní rodokmenová selekce. Jako alternativa je využíván princip spontánní hybridizace. Je možné kombinovat různé barvy do jednoho genotypu (Martinek et al., 2011).

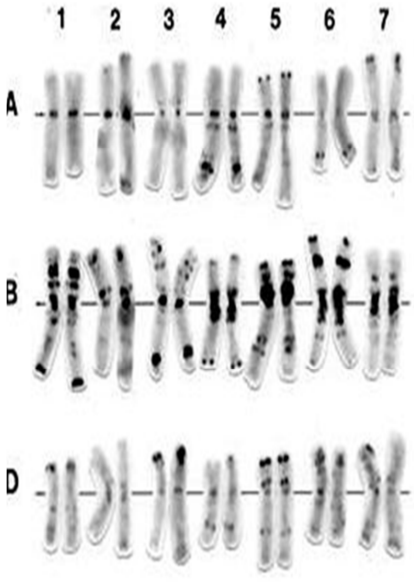
Poznatky o expresi genů a lokalizaci této exprese umožňují regulovat produkci pigmentů. Pro cílené šlechtění pšenic s netradičním zabarvením zrn je nezbytná detailní znalost o umístění a složení genů, které podmiňují tvorbu antokyanů a karotenoidů v zrnech pšenic (Musilová et al., 2010a).

Pšeničné zrno je tvořeno ze tří typů geneticky odlišných pletiv. Diploidní epidermis a perikarp je tvořený pletivem mateřského původu, diploidní embryo nese polovinu genetické informace od matky a polovinu od otce. Triploidní endosperm nese dvě identické genetické dávky od matky a jednu od otce. To znamená, že se v nich alely mohou projevovat rozdílnou expresí a obsah barviv se v různých částech zrna liší (Martinek et al., 2010).

Pigmenty pro purpurovou barvu zrna jsou uloženy v perikarpu a testě zrna, pro modrou v aleuronové vrstvě a žlutou v endospermu (Musilová et al., 2010a).



Obrázek č. 3: Řez zrnem a jeho morfologický popis včetně vrstev, které přechází do mouky (označeno jako E), do otrub (označeno jako O) a ty, které jsou odstraňovány s klíčkem (označeno jako K). Barevně je zaznačen i výskyt pigmentů. Upraveno dle Příhoda et al. (2004).



CHROMOZOM	OZNAČENÍ GENU
Červená barva	
3AL	R-A1
3BL	R-B1
3DL	R-D1
Purpurová barva	
2A	Pp3a, Pp3b
6A	Pp2
7D	Pp-D1
Modrá barva	
4A	Ba2
4BS	Ba1
Žlutá barva	
5A	Psy2-A1
5B	Psy2-B2
7AL	Psy1-A1
7BL	Psy1-B1
7DL	Psy1-D1

Obrázek č. 4: Chromozomy hexaploidní pšenice a geny odpovědné za zabarvení zrn a jejich umístění (Trojan, 2014).

Pro šlechtění pšenic s nestandardním zabarvením zrn je důležité také studium genetické variability donorů s požadovanými vlastnostmi. Toto studium probíhá za pomocí morfologických, proteinových a DNA markerů. V rámci DNA markerů jsou zvláště vhodné SSR markery, s vysokým stupněm polymorfismu a kodominantním charakterem dědičnosti. Statistické vyhodnocení umožnilo sestavení dendrogramu podobnosti analyzovaných genotypů pšenice seté s různým zabarvením zrna. Pomocí nich se podařilo odlišit tři genotypy pšenic s purpurovými zrny, které vytvořily samostatný klaster. Z výsledků vyplynula genetická podobnost pšenic s modrými zrny, ty však nepotvrzují takovou podobnost s *Thinopyrum ponticum* (předpokládaný donor modrého zabarvení zrna pšenice), jak se předpokládalo. Byla také potvrzena příbuznost pšenic se žlutým endospermem (v případě Citrus a Luteus je to dáno společnými předky v rodokmenu). Samostatná skupina pšenic s červeným zrnem potvrzuje jejich izogenní charakter (Musilová et al., 2010; Trojan et al, 2010).

5.1 Červené zabarvení zrna

První studie o genetické podmíněnosti červeného zabarvení pšeničného zrna byly provedeny počátkem 20. století. R. Biffen roku 1905 zaznamenal monogenní dominantní dědičnost červeného zabarvení zrna. H. Nilson-Ehle roku 1914 poprvé poukázal na přítomnost tří nezávislých genů, které podmiňují červené zabarvení zrna. Zároveň prokázal souvislost mezi přítomností těchto genů a prodlouženou dobou dormance zrna.

S rozvojem monosomické analýzy bylo u odrůdy Chinese Spring zjištěno, že má jeden gen (*R1*), který nese znak pro červené zbarvení zrna, a je lokalizován na chromozomu 3D. Byly lokalizovány další dva geny – *R2* na chromozomu 3A a *R3* na chromozomu 3B. R-geny byly zařazeny do jedné z homologních řad genů (díky jejich podobné lokalizaci na chromozomech 3A, 3B a 3D) a nově označeny*: R-A1* (dříve *R2*), *R-B1* (*R3*) a *R-D1* (*R1*), (Khlestkina, 2013). Červené zabarvení zrna je tedy řízeno jednou až třemi zmíněnými dominantními alelami (Martinek et al., 2011).

Bylo zjištěno, že R-geny se nacházejí v oblasti dlouhých ramen pšeničných chromozomů 3A, 3B a 3D (Himi et al., 2005) a kromě toho se nacházejí v oblasti pšeničného genomu, který je bohatý na geny řídící rezistenci proti rzi pšeničné a rzi travní (Khlestkina, 2013).

U červených zrn je jejich dormance spojena právě s genem (R-genem) pro červenou barvu zrna, lokalizovaném na homologní skupině chromozomu 3 (Mares et al., 2005). Proto je červené zabarvení zrna obecně spojováno s lepší odolností k porůstání (Lachman, 2003). Díky tomu jsou tyto červené pšenice obecně vhodné pro pěstování do oblastí se zvýšenou vlhkostí (Khlestkina, 2013).

Při biochemické analýze pigmentů červených pšeničných zrn bylo určeno, že hlavní pigment je tvořen deriváty katechinu a katechintaninu (Miyamoto, Everson, 1958). Autoři předpokládají, že tímto pigmentem jsou flobafeny. Winkel-Shirley (2001) uvádí, že z katechinů a taninů vznikly spíše proantokyanidiny, než flobafeny. K tomuto názoru se přiklání i Khlestkina, (2013). Jak flobafeny, tak proantokyanidiny jsou polyfenolickými sloučeninami, které jsou syntetizovány v procesu biosyntézy flavonoidů (spolu s antokyany), (Winkel-Shirley, 2001).

R-geny kódují „Myb-like“ transkripční faktor, který reguluje expresi enzymů chalkonsyntázy, chalkonizomerázy, flavono-3-hydroxylázy, dihydroflavonol-4-reduktázy, které vznikají v procesu biosyntézy flavonoidů a za jejichž účasti jsou pigmenty tvořeny (Khlestkina, 2013).

5.2 Bílé zabarvení zrna

Bílé zrno je podmíněno sestavou recesivních alel, označovaných jako: *R-A1a*, *R-B1a* a *R-D1a* (Martinek et al., 2012). Exprese genů biosyntézy flavonoidů není u bílého zrna aktivována (Himi et al., 2005). Enzymy chalkonsyntáza, chalkonizomeráza, flavovono-3-hydroxyláza a dihydroflavonol-4-reduktáza, vznikající v procesu biosyntézy flavonoidů u červeného zrna, jsou u bílých zrn téměř úplně potlačeny (Himi, Noda, 2005). V bílých zrnech se tedy pigmenty netvoří (Trojan et al., 2010).

V bílém zrnu pšenice je výrazně nižší obsah fenolických látek. V důsledku nepřítomnosti těchto fenolických hořkých látek bývá zrno také náchylnější k porůstání (Martinek et al., 2011). Vystavením bílé pšenice vysoké vlhkosti při zrání se spouští řada fyziologických procesů, včetně aktivace hydrolytických enzymů. To má za následek špatnou technologickou kvalitu mouky. Dochází k poklesu objemu pekařských produktů. Produkty z naklíčeného pšeničného zrna mají také sníženou nutriční kvalitu. Rezistence k porůstání je nezbytně nutná pro úspěšnou produkci pšenic s bílým zrnem. Proto jsou v současnosti vedeny četné výzkumy, zabývající se touto problematikou (Liu et al., 2010).

V České republice je registrována odrůda Heroldo. U nás se však nerozšířila kvůli její náchylnosti k porůstání (Martinek et al., 2006).

5.3 Žluté zabarvení zrna

Pigmenty, podmiňující žluté zabarvení zrna, jsou obsaženy zejména v jeho endospermu (Pozniak et al., 2007). Žlutá barva je podmíněna širokým spektrem alel, které jsou odpovědné za biosyntetické dráhy enzymu fytoensyntázy (Martinek et al., 2011).

Fytoensyntáza je považována za klíčový enzym v procesu biosyntézy karotenoidů (Pozniak et al., 2007). Podmiňuje syntézu fytoenu, což je jeden z prvních produktů biosyntetické dráhy karotenoidů. Přeměna fytoenu na lykopen je katalyzována fytoendesaturázou, z-karotendesaturázou a karotenoidisomerázou. Biosyntetická dráha karotenoidů se dále dělí na dvě větve. Jedna vede k syntéze α-karotenu a luteinu, druhá k syntéze β-karotenu a zeaxantinu. Enzymy zúčastňující se tohoto kroku biosyntézy jsou β-karotencykláza, ε-cykláza, β-karotenhydroxyláza a ε-karotenhydroxyláza (Zhang, Dubcovsky, 2008).

Bylo zjištěno, že žluté zabarvení zrna je podmíněno dvěma lokusy, *Psy1* a *Psy2*, které se nacházejí na 7. a 5. skupině homologických chromozomů (Pozniak et al., 2007). Právě ty ovlivňují enzym fytoensyntázu. Největšímu zkoumání byly podrobeny geny *Psy1-A1*, který je lokalizován dlouhém rameni chromozomu 7A a gen *Psy1-B1*, jenž se nachází na chromozomu 7B (Howitt et al., 2009). Předpovídalo se, že právě skupina 7. chromozomu obsahuje cílové geny pro žlutý endosperm zrna. Lokusy kvantitativních znaků (QTL) pro obsah žlutého pigmentu byly opakovaně zaznamenány v distálních oblastech chromozomových ramen 7AL a 7BL. Právě gen pro fytoensyntázu 1 (*Psy 1*), který je lokalizován v této oblasti, byl navržen na kandidátní gen. U pšenice obecné byly hlavní lokusy kvantitativních znaků pro žluté zabarvení zrna lokalizovány na chromozomu 7A a 7B (Pozniak et al., 2007).

Nová obilovina tritordeum, což je kříženec pšenice tvrdé a divokého ječmene, obsahuje 5 – 8krát více karotenoidů než tvrdá pšenice, avšak genetická podmíněnost této abnormální akumulace karotenoidů zůstává neobjasněna (Rodríguez-Suárez et al., 2014).

V České republice jsou registrovány dvě odrůdy s vyšším obsahem karotenoidů – Citrus (ozimá pšenice) a Luteus (jarní pšenice), které pocházejí od německého šlechtitele (ústní sdělení, Ing. Vladimíra Horáková, ÚKZÚZ, 2014).

Mezi další odrůdy pšenice seté se žlutým zrnem, které jsou v současnosti k dispozici, patří ozimé odrůdy Caroti a Yellow a jarní odrůda Safrania (Šulová et al., 2012).

5.4 Modré zabarvení zrna

Modré zabarvení zrna je způsobeno pigmenty antokyany, které se ukládají do aleuronové vrstvy (Zheng et al., 2009).

Tyto pšenice byly získány již v 1. polovině 20. století křížením mezi pšenicí a jejími příbuznými druhy. Toto křížení se původně provádělo z mnoha jiných důvodů, kterým byl například přenos genů pro rezistenci vůči chorobám či kvůli větší výtěžnosti (Syed Jaafar et al., 2013).

Exprese genu pro modrý aleuron (*Ba*) v pšenici je spojována s přítomností chromozomu či jeho úseku, který byl zde přenesen z cizích druhů, takzvanou introgresí (Burešová et al., 2015). Bylo identifikováno několik genů pro expresi modrého aleuronu.

Jedná se jednak o kodominantně působící gen *Ba1*, který pochází z *Thinopyrum ponticum*. *Ba1* byl zmapován na dlouhém rameni 4Ag v oblasti 0,71 – 0,8 od centromery (Zheng et al., 2006). Tento gen se dostal do pšenice přenesením celého ramena chromozomu, které bylo zabudováno do chromosomu 4BS. Gen *Ba1* se vyskytuje u významného genetického zdroje UC66049 (Qualset et al., 2005).

Dále se jedná o gen *Ba2*, lokalizovaný blízko centromery dlouhého ramene 4A v *Triticum boeoticum*, který z něj byl do pšenice přenesen disomickou substitucí chromosomu 4A (Dubcovsky et al., 1996; Singh et al., 2007). V případě *Ba1* a *Ba2* se jedná o různé geny, což dokazují odchylky v dědičnosti (Mettin et al., 1991).

Dalším pravděpodobným genem pro expresi modrého aleuronu je *BaThb*, který byl přenesen do pšenice z *Th. Bessarabicum*. Byl zmapován na chromozomu 4J mezi centromerou a FL0.52. Je však velmi pravděpodobné, že geny pro modrý aleuron z *Th. bessarabicum* a *Th. Ponticum* mají společný původ (Burešová et al., 2015).

V katalogu genetických symbolů pšenice je zmíněn také gen se slabší expresí modré barvy (*half-blue*), nalezen u vzorku *T. boeoticum*.

U čínského genotypu Xiao Yian byl nalezen další možný gen pro modrý aleuron na chromozomu 4D, který byl substituován chromozomovým párem z *Agropyron elongatum* (Martinek et al., 2014).

Intenzita modrého zbarvení závisí na genové dávce *Ba1*. V případě tří dávek *Ba1* jsou zrna tmavě modrá. U dvou dávek tohoto genu jsou středně modrá, u jedné dávky bledě modrá a bílá jsou pak v nepřítomnosti tohoto genu.

Gen *Ba1* vyjadřuje silný efekt tzv. xenie, kdy jsou znaky endospermu ovlivněny otcovským genotypem (Burešová et al., 2015). Burešová et al. (2013) využila u pšenic s modrým aleuronem metodu FISH a GISH pro charakterizaci jejich genomických konstitucí. V několika pšeničných genotypech byl detekován chromozom přenesený z *Th. ponticum*. Bylo identifikováno 6 typů přenosu chromozomu, čímž je podpořen fakt, že různý chromozomový přenos aktivuje biosyntetickou dráhu pigmentu pro modrý aleuron.

Hlavními antokyany modrého aleuronu jsou delphinidin-3-glukosid a delphinidin-3-rutinosid. V menším množství byly detekovány také kyanidin-3-glukosid nebo peonidin-3-glukosid (Knievel et al., 2009). Chabinová et al. (2011) také zaznamenali, že nejvíce obsaženým antokyanem ve vzorcích modré pšenice je delphinidin-3-glukosid, avšak jako druhý nejčastější antokyan uvedli kyanidin-3-glukosid. Zjistili, že k největší koncentraci obou sledovaných látek došlo během 35. dne *post anthesis* u genotypu modré pšenice UC66049 a 30. den *post anthesis* u genotypu TBS. V době zralosti (40. den) však obsah antokyanů v modrém aleuronu prudce klesá.

Modrou barvou zrna se v České republice po dlouhou dobu zabýval Miroslav Škorpík z VÚVR, který pravděpodobně pracoval s materiálem, který nastřádal již Erich von Tschermak-Seysenegg, jeden ze znovu objevitelů Mendelových zákonů. V Rakousku je od roku 2011 registrována Škorpíkova linie R4 440-6, která nese název Skorpion. Jedná se vůbec o první registraci odrůdy pšenice s modrým aleuronem (Martinek et al., 2012). O tuto iniciativu se zasadil český šlechtitel Ing Martinek z ZVÚ Kroměříž, který se věnuje práci s barevnými pšenicemi. U nás se s odrůdou Skorpion může obchodovat na základě zápisu ve Společném katalogu odrůd druhů zemědělských rostlin (ústní sdělení, Ing. Vladimíra Horáková, ÚKZÚZ, 2014). Miroslav Škorpík, autor odrůdy Skorpion se domnívá, že jeho zabarvení může pocházet z mezirodového křížení pšenice s *Aegilops ovata* L., případně z žita. Vzorek modro-zrnné pšenice TBS z genové banky IPK Gatersleben, evidentně pochazející z pozůstalosti E. von Tschermaka, je pravdepodobně podobný materiál, jaký byl použit pro vyšlechtění odrůdy Skorpion. Dle některých názorů je gen pro modrý aleuron v TBS

odlišný od *Ba1*a rovněž i od *Ba2*. Nevyrovnané technologické parametry odrůdy Skorpion mohou bránit jejímu uplatnění ve větších pekárenských provozech. Mouka z této odrůdy má slabě šedomodré zabarvení, otruby jsou však zabarveny výrazněji (Martinek et al., 2012). V USA se Dr. Emilovi Šebestovi, z Oklahoma State University, podařilo získat v období 1958 – 1988 linie BS-1, BS-2 a BS-3 (Blue Sebesta) s chromozomálními segmenty přenesenými z *Th. ponticum* a s pravděpodobně stejným původem jako UC66049 (Martinek et al., 2011).

5.5 Purpurové zabarvení zrna

Purpurové odrůdy pšenic se u obecné pšenice vyskytují zřídka. Pigmenty, které způsobují purpurové zabarvení zrna, jsou antokyany, umístěné v perikarpu zrna (Dobrovolskaya et al., 2006). U pšenic existují nejen geny pro expresi pigmentů v zrně, ale také ve stéble (*Pc*), listové čepeli (*Plb*), u oušek (*Ra*), v listové pochvě (*Pls*), koleoptyle (*Rc*), prašníku (*Pan*) nebo u pluchy (*Pg*).

Geny řídící purpurový perikarp jsou označovány jak *Pp*. Nové poznatky nasvědčují tomu, že geny *Pc*, *Plb*, *Pls* a *Pb* jsou transkripčními regulátory v dráze biosyntézy antokyanů, avšak vzhledem k velikosti a komplexnosti pšeničného genomu nejsou nukleotidové sekvence těchto genů dosud známy (Tereshchenko et al., 2013). Geny pro purpurový perikarp byly do pšenice seté pravděpodobně přeneseny z tetraploidních pšenic, pocházejících z oblasti východní Afriky (Knievel et al., 2009).

Doposud bylo identifikováno několik genů pro purpurový perikarp. Byly vytvořeny dvě téměř izogenní linie pro purpurovou barvu zrna, pocházející z australské odrůdy Purple Feed a kanadské odrůdy Purple, na genetickém základě odrůdy Saratovskaya 29. Pomocí monosomické analýzy byly u odrůdy Purple Feed detekovány 2 geny. Gen *Pp1* na chromozomu 7B a gen *Pp2* na 6A. U odrůdy Purple byly zaznamenány geny *Pp1* na chromozomu 7B a *Pp3* na 2A (Arbuzova, Maystrenko, 2000). Později však bylo zjištěno, že gen *Pp3* je tvořen dvěma alelami. Ty byly pojmenovány jako *Pp3a* a *Pp3b*. Obě byly lokalizovány v oblasti centromery chromozomu 2A. U genů *Pp1* a *Pp2* byl popsán komplementární efekt (Dobrovolskaya et al., 2006).

Při křížení purpurové pšenice s červeno-zrnnou, dochází k segregaci v poměru 11 purpurové a 5 červeno-zrnné, což naznačuje, že se jedná o dihybridní křížení a míra pigmentace závisí na dávce genu (Martinek et al., 2011).

Tereshchenko et al. (2012) uvedli, že genom D obecné pšenice Purple, nese jeden ze dvou komplementárních genů, podmiňujících purpurové zabarvení zrna. Tento gen byl zmapován na krátkém rameni chromosomu 7D, 2,5 cM distálně od lokusu *Rc-D1*, podmiňujícího červené zabarvení zrna. Tato pozice je srovnatelná s pozicí *Pp1* genu, zmapovaného u tetraploidní pšenice *Triticum durum*. Dobrovolskaya et al. (2006) zjistili, že působení *Pp* genů nemá vliv na odolnost k porůstání.

Dedio et al., (1972) zveřejnil, že hlavním antokyanem perikarpu je kyanidin-3-glukosid a peonidin-3-glukosid. Abdel-Aal a Hucl (2003) také určili, že hlavním antokyanem perikarpu je kyanidin-3-glukosid. Kromě něho identifikovali i kyanidin-3-galaktosid, peonidin-3-glukosid a další množství neidentifikovaných antokyanů.

Během vývoje zrna jsou antokyany perikarpu zpočátku obsaženy v osemení, postupně se však ukládají v perikarpu (Knievel et al., 2009). U pšenic s purpurovým perikarpem (genotyp ANK-28A a 62/0) byla zjištěna největší koncentrace antokyanů 22. den *post anthesis*. Po tomto dnu se však jejich množství postupně snižovalo (Žofajová et al., 2012). U genotypů s purpurovým perikarpem (Abyssinskaja arrasajta a ANK-28B) byly zaznamenány nízké koncentrace delphinidin-3-glukosidu během celého zrání. Koncentrace kyanidin-3-glukosidu u Abissinskaja arrasajta byly nejvyšší během 30. dne *post anthesis* a u ANK-28 během 25. dne. U vzorků byl patrný trend poklesu koncentrace kyanidin-3-glukosidu v době zralosti zrna (Chabinová et al., 2011).

V roce 2006 byl v Rakousku povolen pšeničný kultivar Indigo s fialovým perikarpem. Tento kultivar má asi 200 mg/kg antokyanu v zrnu. V roce 2014 byl ve Slovenské republice schválen pšeničný kultivar PS Karkulka s purpurovým perikarpem. V Číně byl vyšlechtěn černo-zrnný pšeničný kultivar. Ten kromě jiného disponuje vysokým obsahem proteinu, selenu a aminokyselin. Má nižší pekařskou kvalitu (Havrlentová et al., 2014).

6 TECHNOLOGICKÉ VYUŽITÍ NESTANDARDNĚ ZABARVENÝCH ZRN PŠENICE

Výběrem vhodné suroviny – celého zrna nebo jeho části, může být ovlivněna dietetická hodnota vyráběných potravinářských produktů (Musilová et al., 2010a). V různých částech zrna je různý obsah pigmentů, což ovlivní obsah pigmentů v otrubách, mouce a také v konečných produktech z těchto pšenic (Martinek et al., 2014).

Stabilitu bioaktivních fytochemikálií ovlivňují procesy, jako je mletí, fermentační kynutí, pečení, enzymatické reakce, extruze, vaření, paření či sladování. Správně zvolenou technologií mohou být udrženy bioaktivní fytochemikálie pšenic i ve finálním výrobku (Luthria et al., 2015).

Pšenice s různě zabarveným zrnem je bohatá na přírodní pigmenty, vitamíny, proteiny, aminokyseliny a prospěšné mikroelementy (Musilová et al., 2011) a je výrazně nutričně nadřazená pšenici s bílým zrnem (Gordeeva et al., 2014). Má také zpravidla vyšší obsahy bílkovin. Předpokládá se však, že obsah barviv nebude v genetické vazbě s obsahem jednotlivých aminokyselin v zrnu (Martinek et al., 2011).

6.1 Pšenice s nestandardním zabarvením zrna jako surovina pro technologické využití v potravinářství

Základním faktorem, ovlivňujícím technologickou jakost zrna obilovin jako suroviny pro potravinářskou výrobu, je odrůda (Šulová et al., 2012). Na technologickou a nutriční jakost zrn pšenice má vedle odrůdy významný vliv také stanoviště a ročník (Chloupek et al., 2005).

6.1.1 Červené zrno

Červené zabarvení zrna se obvykle vyskytuje u běžných odrůd pšenice (Martinek et al., 2012). U vzorků pšenic s červeným zrnem, stejně jako u pšenic s bílým zrnem, byly detekovány látky fenolické povahy (Martinek et al., 2010), avšak antokyany se u nich neprokázaly (Abdel-Aal et al., 2006).

Podle Challacombe et al. (2012) byla v některých studiích zjištěna korelace mezi barvou zrna a obsahem fenolových kyselin, neboť červená pšenice obsahovala více těchto látek než bílá. Některé jiné výzkumy však tuto korelaci nezaznamenali.

Antioxidační aktivita červeného zrna je obecně velmi nízká (Pokorný et al, 2001). Ferulová kyselina je v pšenicích z fenolových kyselin nejhojnější. V menší míře jsou pak zastoupeny kyseliny p-hydroxybenzoová, vanilová, syringová, o-kumarová, p-kumarová, salicylová a sinapová (Luthria et al., 2015). Ferulová kyselina se pravděpodobně díky jejímu obsahu nejvíce podílí na antioxidační činnosti červených pšenic (Challacombe et al., 2012). Kyselina ferulová se může v zrnu vyskytovat ve vázané nebo volné formě. U většiny odrůd pšenice se vyskytovala ve vázané formě, avšak zpracování potravin, jako je tepelné zpracování, pasterizace, fermentace

a zmrazování, přispívá k uvolnění vázaných fenolových kyselin. Dobrým zdrojem ferulové kyseliny jsou pšeničné otruby (Liu, 2007). Kyselina ferulová byla zjištěna v celozrnné frakci pšenice v koncentraci 500 μg/g, zatímco v mouce byla její koncentrace 50 μg/g (Pokorny et al, 2001).

Fenolové kyseliny jsou spojovány s hořkou, kyselou a trpkou chutí (West et al., 2013). Zejména u celozrnných výrobků byla shledána senzoricky velmi intenzivní chuť v porovnání s výrobky z bílé mouky. Přestože je kyselina ferulová hlavní fenolovou kyselinou přítomnou v pšenici, není jedinou fenolovou kyselinou související s výraznými senzorickými vlastnostmi celozrnných výrobků (Challacombe et al., 2012).

Jiang a Peterson (2013) identifikovali několik hořkých sloučenin v celozrnném chlebu, které však označili jako produkty Maillardových a fermentačních reakcí. Produkty Maillardovy reakce byly nalezeny zejména v kůrce chleba, což by odpovídalo tomu, že kůrka je více vystavena procesům neenzymatického hnědnutí, zatímco fermentační produkty byly nalezeny v podobné koncentraci jak v kůrce, tak střídě. Konečné produkty Maillardovy reakce a fermentačních procesů mohou přispívat k celkovému obsahu fenolických kyselin u celozrnných produktů, což může být vysvětlením, proč byl celkový obsah fenolových kyselin v korelaci se senzorickými vlastnostmi celozrnných produktů ve studii Challacombe et al. (2012).

6.1.2 Bílé zrno

Bílé pšenice jsou vhodné pro zpracování na tortilly, knedlíky, hamburgerové housky nebo nudle (Watts et al., 2011; Ambalamaatil et al., 2006).

V bílém zrnu pšenice je výrazně nižší obsah fenolických látek, proto jsou produkty z něj přirozeně sladší. Z tohoto důvodu by bylo vhodné, využít je například i v cukrářství (Martinek et al., 2011). Také celozrnný chléb z bílé pšenice je pravděpodobně v důsledku nižšího obsahu fenolických látek senzoricky hodnocen jako významně méně hořký, v porovnání s celozrnným chlebem z červené pšenice (Cook, 1994). Díky tomu, že produkty z bílého zrna pšenice jsou přirozeně sladší, mohou se upravit pekařské technologie, a to například snížením množství přidávaného cukru do chlebových těst (Watts et al., 2011).

Červená i bílá pšenice mají podobný obsah bílkovin (Cook, 1994). Bílá pšenice obecně disponuje dobrou technologickou kvalitou při mletí i pečení. Její konečné produkty jsou podstatně světlejší než produkty z červené pšenice (Ambalamaatil et al.,

2006). Zrno bílé pšenice obsahovalo ve srovnání s purpurovou, žlutou a červenou pšenicí nejméně fenolových kyselin a fenolů vůbec. Současně u ní bylo naměřeno nejméně flavonoidů a byla u ní zjištěna také nejmenší antioxidační aktivita (Liu et al., 2010).

6.1.3 Žlutý endosperm

Žluté varianty pšenic se dnes vyskytují zejména u tetraploidní pšenice tvrdé (Šulová et al., 2012).

Cena semoliny, která se vyrábí z pšenice tvrdé a je základní surovinou pro výrobu těstovin, je dnes ale vysoká. Z tohoto důvodu je pšenice tvrdá nahrazována až z 90 % pšenicí setou. Základním požadavkem na surovinu, určenou pro výrobu těstovin, však je vysoký obsah žlutých pigmentů. V důsledku toho vzrůstají na významu odrůdy pšenice seté se žlutým zrnem. V současnosti totiž obsahují běžné odrůdy pšenice seté pouze asi 200 μg karotenoidů/100 g zrna. Podařilo se však vyšlechtit genotypy pšenice seté se zvýšeným množstvím karotenoidů. Tyto genotypy se vyznačují dobrými technologickými vlastnostmi jak pro výrobu těstovin, tak i pečiva. Kromě toho disponují uspokojivými výnosy v podmínkách nevhodných pro pěstování pšenice tvrdé. Výrobek z těchto pšenic získává díky nažloutlé barvě atraktivnější vzhled pro spotřebitele (Chloupek et al., 2005; Šulová et al., 2012; Burešová, Lorencová, 2013). Karotenoidy ovlivňují kromě zabarvení produktů také jejich nutriční jakost (Howitt et al., 2009). Enzymy peroxidáza a polyfenoloxidáza však mohou karotenoidy ničit a snižovat tak intenzitu žlutého zabarvení produktů (Kopáčová, 2005). U žlutých zrn pšenic nebyly nalezeny žádné antokyany (Liu et al., 2010).

6.1.4 Modrý aleuron

Díky obsaženým antokyanům, které disponují antioxidačními vlastnostmi, v poslední době velmi vzrostl zájem o odrůdy pšenic s modrým aleuronem (Syed Jaafar et al., 2013).

Bylo naměřeno 106 – 153 mg/kg antokyanů v pšenici s modrým zrnem (Abdel-Aal et al., 2006) a poměrně vysoké koncentrace antokyanů byly naměřeny také v šrotu (16 mg/100 g) a otrubách (46 mg/100 g), (Abdel-Aal, Hucl, 2003). V modrém byl zjištěn nejvyšší obsah barviv typu antokyanů, přičemž obsahy antokyanů byly

porovnávány u vzorků pšenic s purpurovým, modrým, žlutým a bílým zrnem (Martinek et al., 2010).

U genotypů pšenic s modrým zrnem UC66049 a RU 440-6 byl zjištěn výskyt alely *Glu-D1d,* která je charakteristická výskytem gluteninových bílkovinných podjednotek a současně u těchto materiálů nebyl nalezen lokus *Sec-1,* který je mimo jiné spojován se zhoršenou technologickou kvalitou zrna. V důsledku toho jsou genotypy UC66049 a RU 440-6 považovány za významné donory pekařské jakosti. U genotypů pšenic s modrým zrnem TBS, 48M, Barevná 9 a Barevná 25 však přítomnost *Glu-D1d,* ani *Sec-1* zjištěna nebyla (Musilová et al., 2011).

6.1.5 Purpurový perikarp

Genotypy purpurových pšenic se v obsahu antokyanů v zrnu umístily na druhém místě, hned za vzorky pšenic s modrým aleuronem (Martinek et al., 2010). Průměrný obsah antokyanů pšenice s purpurovým perikarpem v celozrnné mouce byl 104 mg/kg a v mouce 251 mg/kg (Abdel-Aal, Hucl, 1999).

Při porovnání antioxidační kapacity purpurových, červených a bílých pšenic, nejvyšší hodnoty byly naměřeny právě u purpurových pšenic a nejmenší hodnoty naopak u pšenic bílých (Liu et al., 2010).

Genotypy pšenic s purpurovým zrnem Indigo, UC66049 a RU 440-6, se jeví perspektivní z hlediska technologické kvality zrna v důsledku přítomnosti alely *Glu-D1d* a zároveň díky absenci sekalinového lokusu *Sec-1*. U genotypů purpurových pšenic ANK-28A, ANK-28B, Abissinskaja arrasajta, Konini, Purple a Purple Feed nebyla zjištěna přítomnost *Glu-D1d* ani *Sec-1*, takže jsou pravděpodobně méně výhodnými donory z hlediska pekařské jakosti (Musilová et al., 2011).

Byl proveden pokus, založený na krmení nosnic purpurovou pšenicí. Zařazením ozimé pšenice s purpurovým perikarpem do krmné směsi vysoko-produkčních nosnic se zlepšily parametry snášky se současným snížením spotřeby krmných směsí na jednotku produkce. Parametry zvýšené užitkovosti byly shledány jako projev zlepšeného zdravotního stavu nosnic v důsledku jejich krmení purpurovou pšenicí (Rückschloss et al., 2010).

V současnosti se již purpurové pšenice v malé míře využívají jako potravinářské barvivo a rozdrcená pšeničná purpurová zrna se používají pro posypání vícezrnného pečiva (Abdel-Aal et al., 2006).

6.2 Mlýnské zpracování

Zrno pšenice se zpracovává na mouku a krupici, což jsou základní suroviny k výrobě chleba, pečiva, těstovin a cukrářských výrobků (Laknerová et al., 2014).

6.2.1 Princip a schéma mlýnského zpracování

Významným krokem je sestavení směsi na zámel. Zvolí se dominantní ukazatele, kterými jsou obsah a kvalita pšeničné bílkoviny a aktivita amylolytických enzymů. Příprava spočívá v třídění, čištění, kartáčování a loupání. Důležitou součástí je také systém nakrápění a odležování obilí, který umožní správné vymílání.

Vlastní mletí se sestává z řady se opakujících technologických kroků, nazývaných jako mlecí chody nebo jako pasáže. Každý chod se sestává z drcení, spojeného s následným tříděním rozemletého produktu. Proces se mnohokrát opakuje a mění se jen jeho parametry (Kadlec et al., 2012). V každém mlecím chodu získáme jednu nebo více frakcí, které sbíráme do výsledných produktů. Přední produkty z předních mlecích chodů mají nízký obsah popela, bílou barvu a složením odpovídají endospermu. Jedná se o mouky a krupičky. Z dalších chodů získáváme produkty s rostoucím obsahem popela, tmavším zabarvením a vlastnostmi, které odpovídají vrstvám blíže povrchu zrna. Produkty, které obsahují více obalových vrstev, se označují jako výše vymleté, čili zadní. Nižší stupeň vymletí znamená vyšší podíl obalových vrstev a aleuronové vrstvy, a tím i vyšší podíl popelovin. Vyšší stupeň vymletí naopak značí menší podíl popelovin, světlejší barvu mouky a celkově nižší výživovou hodnotu (Chloupek et al., 2005).

Zrno se při mletí nejprve rozdělí na několik větších částí a následně je postupně a pečlivě vymíláno směrem od středu k povrchu, tedy k obalovým vrstvám, což je základním principem při mletí pšenice (Příhoda et al., 2004).

Mletí pšenice se sestává ze tří základních etap: šrotování, luštění a vymílání. Šrotováním se rozumí šetrné otevření zrna. Luštění krupic spočívá v drcení vyčištěných a vytříděných krupic tak, aby se oddělila ulpělá část obalových vrstev od endospermu. Vymílání je vydírání zbytků endospermu ulpělých na částech obalů a drcení částic čistého endospermu na požadovanou granulaci.

Mele se na válcových stolicích s nastavitelnými parametry, které odpovídají potřebám dané pasáže. Mlecí zařízení je tvořeno dvěma válci, otáčejících se nestejnou rychlostí. Lze u nich nastavit šířku mlecí spáry mezi válci a předstih. Povrch válců je hladký nebo rýhovaný. Vzhledem k různé rychlosti válců můžeme rozlišit různé

vzájemné polohy rýh, tj. ostří na ostří, ostří na hřbet, hřbet na ostří a hřbet na hřbet. K třídění meliva slouží rovinné vysévače, tvořené sestavami sít. Třídění a čištění krupic se pak provádí na čističkách, neboli reformách (Kadlec et al., 2012).

6.2.2 Produkty mlýnského zpracování

Každý pasážní produkt svým složením a vlastnostmi odpovídá určité vrstvě zrna. Směrem k obalovým vrstvám se mění nejen obsah popela, ale i vlastnosti technologicky významných složek.

Střed zrna je tvořen čistě kvalitním škrobem, který má nenarušená zrna, takže enzymová aktivita je prakticky nulová. Obsahuje bílkoviny, poskytující kratší lepek, kterým se rozumí velmi pružný lepek. Mouky z těchto frakcí jsou pro pekařské využití nevhodné, ale mají uplatnění ve výrobě vařených výrobků (těstoviny, noky, knedlíky) a šlehaných či třených hmot při cukrářském zpracování. Směrem k obalovým vrstvám stoupá aktivita amyláz, která částečně škrob poškozuje. Zvyšuje se však také obsah bílkovin, i když jejich pružnost klesá. Zato ale roste jejich tažnost a schopnost bobtnání. Frakce blíže k vnějším vrstvám poskytují typicky pekařské mouky. Obalové vrstvy přecházejí při mletí do otrub. Na kvalitu, zpracovatelnost těsta a vzhled výrobku mají obalové vrstvy zhoršující účinek (Příhoda et al., 2004).

Hlavními mlýnskými výrobky jsou mouky, krupice a krupičky, které se míchají z jednotlivých pasážních mouk a vznikají z nich tak obchodní druhy mouk (Kadlec et al., 2012). Mezi jakostní kritéria mouk patří obsah popela, barva mouky a granulace mouky.

Mezi zbytky mlynářského průmyslu patří krmné mouky, otruby, šrot a čistírenské a mlýnské klíčky.

Barva mouky závisí na vymletí mouky, použitých přísadách a na původní barvě pšenice. Výše vymletá mouka je tmavší. Použití přísad celozrnných mouk nebo šrotů ovlivní barvu střídy pečiva mnohem výrazněji než jen mouka z různě vymleté pšenice (Kučerová, 2004).

6.2.3 Charakterizace produktů mlýnského zpracování ve vztahu k fytochemikáliím

Pšenice s červeným zrnem obsahuje enzym polyfenoloxidázu, který je uložen v povrchových vrstvách zrna. Bílé zrno tento enzym neobsahuje. Díky tomu se může

nastavit v procesu mletí pšenice s bílým zrnem vyšší výmelnost mouky. Produkt tak bude obsahovat i více vlákniny, minerálů a proteinů (Martinek et al., 2011). Při nastavení vyšší výmelnosti u červeného zrna by v bílé mouce byly stopy po červených otrubách (Cook, 1994). U pšenic se standardním zabarvením zrna byl vyšší obsah fenolických sloučenin detekován v pšeničných otrubách než v bílé mouce (Luthria et al., 2015). Velmi jemné mletí navíc pravděpodobně zvyšuje antioxidační kapacitu pšeničných otrub a menší částice otrub jsou nejspíše v korelaci se zvýšením dostupnosti fenolových kyselin, což znamená, že velikost částic otrub významně ovlivňuje tvrzení o funkčních potravinách (Brewer et al., 2014). Otruby pšenic s červeným zrnem vykazovaly vyšší antioxidační aktivitu než otruby pšenic s bílým zrnem (Pšenáková, Faragó, 2006).

Vzorky mouk vybraných donorů pšenic s nestandardním zabarvením zrna měly obecně nižší světlost a byl u nich výraznější červený odstín než u mouky z běžné, červené pšenice.

Do mouky se dostává pouze malé množství barviv typu antokyanů v důsledku toho, že mouka je tvořena především vnitřní částí endospermu, kde převažují bílá škrobová zrna a antokyany se nachází především ve svrchních vrstvách zrna. Mletím se antokyany dostaly postupně do frakce jemné otruby a šrotové otruby. Změna odstínu oproti běžné mouce však naznačovala, že část pigmentů se dostala během mletí i do mouky (Martinek et al., 2010). Pokud by pšenice s purpurovým perikarpem byla semleta na mouku, převážná většina purpurových pigmentů by se do ní nedostaly a zůstaly by v otrubách (Martinek et al., 2006). Více barviv se ale dostávalo do mouky z pšenic s modrým aleuronem (Martinek et al., 2011), neboť aleuronová vrstva, kde se modré pigmenty nacházejí, může být dle podmínek mletí vymleta společně s endospermem jak do mouk, tak do otrub (Příhoda et al., 2004). Mouka z pšenice s modrým aleuronem má namodralou barvu, což se projeví i ve výrobcích z ní (Martinek et al., 2006). Více antokyanů se přesto nachází v otrubách, než v bílé mouce. Proto by nejvyššího potenciálu pšenice s purpurovým, popřípadě modrým zrnem bylo pravděpodobně dosaženo tak, že pro přípravu pekařských produktů bude použita celozrnná mouka nebo otruby (Varga et al., 2013).

U pšenic se žlutým endospermem se do mouky dostávalo podstatné množství pigmentů (Martinek et al., 2011). Vyšší koncentrace karotenoidů byla zjištěna v mouce letní pšenice seté v porovnání s obsahem karotenoidů v mouce zimní pšenice seté

(Ndolo, Beta, 2013). Šrot odrůd pšenic Citrus a Luteus se žlutým zrnem obsahoval dvakrát více luteinu než šrot běžných odrůd červené pšenice a mouka z nich měla dokonce třikrát více karotenoidů (Šulová et al., 2012).

6.3 Pekárenské využití

Pekárenské technologie zahrnují podstatné procesy, vedoucí k nakypření struktury výrobku a chuťové a vzhledové úpravě surovin. K chuťovým a vzhledovým změnám dochází během procesů zrání, kynutí a pečení (Čepička et al., 1995). Pšenice pro pekárenské zpracování se používá převážně k výrobě kynutých těst (Chloupek, 2000).

6.3.1 Požadavky na surovinu a výběr suroviny

Základní užitkový směr, který je sledován u všech registrovaných odrůd, je jejich pekárenská jakost.

Tabulka č. 2: Tabulka shrnuje jakostní ukazatele pro pekárenskou pšenici dle normy ČSN 46 1100-2.

Jakostní ukazatele pro pšenici pekárenskou dle ČSN 46 1100-2	
Vlhkost v %	Nejvýše 14,0
Objemová hmotnost v kg/hl	Nejméně 76,0
Obsah N-látek v sušině v %	Nejméně 11,5
Sedimentační test – Zelenyho test v ml	Nejméně 30
Číslo poklesu (vzorek 7 g) v s	Nejméně 220
Příměsi a nečistoty celkem v %	Nejvýše 6,0

Tabulka č. 3: Jsou zde shrnuta hlavní kritéria, která jsou rozhodující pro zařazení do jakostní skupiny pekárenské pšenice (Zimolka, 2005).

Hlavní kritéria rozhodující pro zařazení do jakostní skupiny
1) Rapid Mix Test (Pekařský pokus)
2) Obsah bílkovin
3) Sedimentační (Zeleny) test
4) Číslo poklesu
5) Objemová hmotnost
6) Vaznost mouky

Tabulka č. 4: Charakteristiky odrůd pekárenských pšenic (Chloupek et al., 2005).

Odrůdy pekárenské pšenice	
E (elitní)	dobré, zlepšující vlastnosti
A (kvalitní)	dobré vlastnosti, samostatně zpracovatelná
B (chlebová)	doplňková, zpracovatelná ve směsi
C (ostatní)	nevhodná, málo vhodná
K (biscuit)	keksy, sušenky

Vaculová et al. (2010) provedli hodnocení kvality zrn s modrým aleuronem, purpurovým perikarpem a žlutým endospermem.

Všechny vzorky pšenic, kromě vzorku pšenice Abissinskaja arrasajta s purpurovým perikarpem, splňovaly minimální požadavek na OH. Genotypy ANK-28B a Konini s purpurovým perikarpem měly však nejvyšší hodnoty OH.

Sledované vzorky pšenic s barevným zrnem vykazovaly vysoké hodnoty čísla poklesu. Konini a Abissinskaja arrasajta s purpurovým perikarpem a pšenice UC66049 s modrým aleuronem se pohybovaly na hranici nebo dokonce za hranicí maximální hodnoty tohoto parametru.

Výsledky Zelenyho testu ukázaly, že všechny pšenice, kromě genotypu Abissinskaja arrasajta s purpurovým perikarpem, vyhověly v tomto ukazateli normě pro pekárenskou pšenici. Nejvyšší hodnoty Zelenyho testu byly stanoveny u vzorků UC66049 s modrým aleuronem a Konini s purpurovým perikarpem.

Vzorky pšenice s netradičním zabarvením zrna měly různý obsah mokrého lepku. Vysoký obsah lepku byl stanoven u pšenice Konini s purpurovým perikarpem, ANK-28B s purpurovým perikarpem a dokonce i u Abissinskaja arrasajta s purpurovým perikarpem. Nejnižší obsah lepku byl stanoven u odrůdy Citrus se žlutým zrnem, přestože se podle popisu odrůdy jedná o pšenici, která je řazena do jakostní kategorie A. Minimální požadavky této kategorie však nesplňovala.

U genotypu Abissinskaja arrasajta s purpurovým perikarpem se lepek kvalitou ukazoval jako slabý. U vzorku UC66049 s modrým aleuronem byl však zjištěn velmi silný lepek. K pšenicím se silným lepkem se řadila také odrůda Citrus se žlutým zrnem.

Za pekařsky slabou až střední mouku lze považovat mouku odrůdy Citrus se žlutým zrnem. Byla u ní zjištěna velmi nízká tolerance ke hnětení a slabá odolnost proti

přehnětení, bez ohledu na dosažené hodnoty GI. Ozimá pšenice RU 440-6 s modrým aleuronem patřila k pekařsky střední mouce.

Jestliže shrneme tyto zjištěné výsledky, genotypy Konini s purpurovým perikarpem a UC066049 s modrým aleuronem vykazovaly vysoké hodnoty sledovaných parametrů, takže jejich mouka by mohla být posuzována jako silná až velmi silná. Výsledky u pšenice s purpurovým perikarpem Abissinskaja arrasajta byly při tomto hodnocení však rozporuplné. V některých parametrech se ukázala jako pekařsky nevhodná, avšak podle hodnocení reologických vlastností patřila k materiálům s dobrou úrovní farinografického čísla kvality.

6.3.2 Princip a schéma pekárenské výroby

Při výrobě pšeničného pečiva převládá přímé vedení. Pouze zřídka se objevuje nepřímé vedení, kdy se připravují kvasné předstupně.

Po přidání vody začíná bobtnání bílkovin a pentosanových polysacharidů. V průběhu hnětení nejprve dochází k promíchávání a homogenizaci. Zároveň se zintenzivňuje bobtnání a také několik chemických a enzymově katalyzovaných reakcí, zejména oxidačních. Dochází k pozvolnému vytváření prostorově trojrozměrné elastické sítě lepkové bílkoviny, na níž mají podíl vazby disulfidické, peptidické, vodíkové vazby a další fyzikální síly. Na tvorbu pšeničného těsta mají hlavní význam oxidační látky, například využívaná kyselina L-askorbová. Naopak s využitím redukčních prostředků se oslabuje prostorově provázaná struktura těsta a ztrácí se také jeho pružnost. Podobný účinek má působení proteolytických enzymů. Těchto postupů oslabování bílkovinné struktury těsta se využívá při přípravě těst pro některé výrobky trvanlivého pečiva, jako jsou sušenky, oplatky či krekry (Kadlec et al., 2012).

Hnětení má tři fáze: vývin těsta (voda proniká difúzí ke složkám mouky, zvyšuje se viskozita gelu a odpor vůči napínání až po dosažení maxima odporu), fáze přehnětení (viskozita se snižuje, opocuje se povrch těsta, uvolňuje se část vody) a fáze přetužení (zpevnění struktury, zjemnění pórovitosti, zrovnoměrnění vývinu těsta).

Po vyhnětení probíhá zrání. V těstech biologicky kypřených probíhají procesy alkoholového kvašení. Těsto je dále děleno na klonky. Následuje krátké předkynutí těsta, které je následně tvarováno. Poté se vytvarované kusy ještě před pečením nechávají opět kynout.

Při pečení probíhají v těstě zásadní koloidně-chemické změny, zejména denaturace bílkovin a mazovatění škrobu. Proces pečení má obvykle na začátku nejvyšší teplotu, aby se tak rychle vytvořila kůrka. Zapékací teploty u chleba se pohybují mezi 270 °C – 280 °C. Postupně pak ke konci pečení klesají až asi na 200 °C. U pšeničného pečiva se využívá obdobně klesající křivky teplot, s počátkem kolem 240 °C. Někdy se používají také křivky opačné, tedy stoupající (Kadlec et al., 2013). Pro vytvoření kůrky se povrch těsta zavlažuje vodním sprejem a navíc se na začátku pečení prostor zapařuje přímým vháněním páry. Na povrchu těsta dochází při pečení k tvorbě barevných látek. Za spoluúčasti redukujících cukrů a aminokyselin probíhá reakce neenzymového hnědnutí, tzv. Maillardova reakce, a tvorba meziproduktů karamelizace. Vytváří se tak barva kůrky, typická chuť a aroma (Kadlec et al., 2012).

Nelze opomenout ani velmi důležitý krok, kterým je dostatečné vychladnutí výrobků (Kučerová, 2004).

6.3.3 Charakterizace produktu pekárenského zpracování ve vztahu k fytochemikáliím

Během výroby chleba dochází ke snížení koncentrace karotenoidů i polyfenolů, a to včetně flavonoidů.

Byl zaznamenán významný pokles karotenoidů během hnětení, s vysokou korelací k lipoxygenázové aktivitě u jednotlivých pšeničných odrůd (Luthria et al., 2015). Při hnětení totiž dochází k inkorporaci vody a kyslíku do těsta, což podpoří lipoxygenázu, která zprostředkuje oxidaci polynenasycených mastných kyselin. Meziprodukty této reakce jsou pak odpovědné za oxidační degradaci karotenoidů.

Při fermentaci docházelo k zanedbatelným ztrátám karotenoidů nejspíše v důsledku toho, že kvasinky spotřebovávají během fermentace kyslík, a tím zabraňují enzymu lipooxidáze, aby způsobovala degradaci karotenoidů (Hidalgo et al., 2010).

Při pečení došlo jen k 3% ztrátám karotenoidů v chlebové střídě, ale až k 29% ztrátám v chlebové kůrce. Karotenoidy dosáhly největšího poklesu koncentrace při teplotě 130 °C. Hladina β-kryptoxantinu v kůrce chleba po pečení vzrostla, zatímco obsah luteinu, zeaxantinu, α-karotenu a β-karotenu poklesl. Degradace karotenoidů souvisí s citlivostí na teplo. Větší ztráty karotenoidů v kůrce chleba než v jeho střídě jsou pravděpodobně způsobeny vystavením kůrky vyšším teplotám (Luthria et al., 2015).

Přirozené pigmenty mouky se projeví teprve v procesu pečení. Například u pečiva získaného z odrůdy Citrus se žlutým endospermem, způsobil zvýšený obsah karotenoidů mnohonásobně výraznější žlutou barvu, než jakou lze dosáhnout přídavkem 10 % žloutku (Šulová et al., 2012).

Bylo vyrobeno pečivo z purpurové pšenice Rosso a modré pšenice Skorpion. Pekařský pokus z komerční pšeničné mouky, barevné mouky a barevných otrub vykazoval nejlepší hodnoty jednotlivých parametrů v porovnání s pekařským pokusem z barevných mouk a pekařským pokusem vytvořeným ze dvou řad s přídavkem otrub z modré nebo purpurové odrůdy po 5 %. Otruby z purpurové odrůdy Rosso měly tmavší a výraznější barvu než modré otruby z odrůdy Skorpion. S vyšším přídavkem barevných otrub měl výrobek tmavší barvu. Po upečení zůstalo ve výrobcích ze směsi s přídavkem barevných otrub průměrně 33 % antokyanů (Kučerová, 2014). Vzhledem k umístění purpurových pigmentů v zrnu, jak již bylo zmíněno výše, je tedy vhodné, aby byly do těsta přidávány otruby a ve výsledném produktu se tak zvýšil obsah antokyanů. Přidáním otrub se však může přispět i k negativním vlastnostem produktu – pekařský produkt s 30 % otrub byl hodnocen jako nejméně senzoricky přijatelný ve všech hodnocených parametrech. Naopak, nejlépe byl hodnocen produkt s 10 % otrub, a to v parametrech chuti, tvaru, objemu a barvy (Janečková, et al., 2014). Větší velikost otrubnatých částic více narušuje lepkovou strukturu a snižuje objem pečiva (Vyhnánek et al., 2015).

6.4 Pečivárenský průmysl

Pšenice s jakostními požadavky pro pečivárenský průmysl se používá k výrobě keksů, sušenek, oplatek, pizzy a dalšího jemného pečiva (Chloupek, 2000).

Požadavky na pšenici pro pečivárenský průmysl jsou obdobné jako u požadavků na pšenici pro pekárenské využití s tím rozdílem, že obsah bílkovin může být dle normy ČSN 46 1100-2 max. 11,5 % a hodnota Zelenyho testu max. 25 ml.

Sušenky se obvykle pečou 4 – 5 minut při teplotách mezi 220 °C – 280 °C, a to v závislosti na jejich druhu (Čepička et al., 1995).

Během výroby sušenek, stejně jako během výroby chleba, byl zaznamenán pokles karotenoidů (Luthria et al., 2015). Konkrétně došlo k jejich 12% ztrátě při procesu hnětení a při procesu pečení pak byly jejich ztráty 19% (Hidalgo et al., 2010).

Při výrobě sušenek z purpurové pšenice byla jako surovina použita celozrnná mouka, neboť jak již bylo řečeno, purpurové pigmenty se nachází jen v perikarpu. Byla potvrzena tepelná degradace antokyanů, přesto sušenky vyrobené z purpurové pšenice vykazovaly významně vyšší antioxidační aktivitu než sušenky z pšenice se standardním zabarvením zrna (Pasqualone et al., 2015).

6.5 Expandované výrobky

Výroba expandovaných výrobků ze pšenic s nestandardním zabarvením zrna, zejména pak pufováním, by mohla být alternativní technologií při zpracování barevných pšenic, neboť surovina zde není vystavena tak vysokým teplotám. Během tepelného zpracování totiž dochází vlivem Maillardovy reakce k chemickým změnám, v důsledku kterých mohou vznikat nové sloučeniny s odlišným vlivem na zdraví v porovnání s původní sloučeninou (Martinek et al., 2006). Právě díky krátce působící vysoké teplotě při výrobě expandovaných výrobků dochází k udržení většiny složek citlivých na teplo (Campbell-Platt, 2009). Kupříkladu, extruze při krátkodobé vysoké teplotě a rychlém ochlazení při výstupu z extrudéru vede k malým ztrátám vitamínů a esenciálních aminokyselin. Extruze při vysoké teplotě krátkou dobu vede k vyšší koncentraci tepelně labilního vitaminu B, než extruze, která trvá delší čas při nízké teplotě (Fellows, 2009).

Pro expandové výrobky je typický mechanicko-termický způsob kypření. Ten spočívá v kompresi směsi surovin a rychlém vytlačení do okolní atmosféry. Expanzní vodní páry uvnitř tak vytvoří velmi suchý a křehký výrobek se strukturou tuhé pěny. Expandové výrobky můžeme rozdělit na pufované a extrudované.

V případě pufovaných výrobků se celá obilná zrna umístí do pufovacího děla, odkud se vystřelí a tím expandují a instantinizují se (Kadlec et al., 2012). Pufované produkty vyžadují speciální balení, aby nepřijímaly nadbytečnou vlhkost a zachovaly si tak svou křehkost (Delcour, Hoseney, 2010).

Extrudované polotovary se vyrábí za podmínek nízkotlaké extruze a výrobek se před konzumací smaží v oleji (Kadlec et al., 2012).

6.6 Výroba těstovin

Požadavky na surovinu zahrnují především vysoký obsah tažného, ale tuhého lepku a vysoký obsah žlutých pigmentů (Chloupek et al., 2005). Základními surovinami k výrobě těstovin je mouka semolina (vymletá z pšenice tvrdé) a mouka ze pšenice

obecné nebo jejich směsi (Burešová, Lorencová, 2013). Krupička z pšenice tvrdé má pevnější a tužší bílkovinu než mouka z pšenice obecné. Z tohoto důvodu se těstoviny se semolinou nerozváří. Přídavek vajec do receptury s pšenicí obecnou má nahradit nedostatek v pevnosti (Čepička et al., 1995). Barva těstovin musí být světlá a rovnoměrná, v různých odstínech žluté. U ostatních druhů musí odpovídat použitým surovinám.

Těstoviny se dělí na krátké a dlouhé, dále na sušené a nesušené a na vaječné a nevaječné. Semolinové jsou vyrobeny výhradně ze semoliny a bez přídavku vajec. Celozrnné těstoviny jsou vyrobeny z celozrnné mouky z jednoho nebo více druhů obilovin.

Těstoviny se vyrábí tvarováním nekynutého těsta. Při jejich výrobě tradiční technologií se semolina smíchá s vodou a vyhněte se tuhé těsto. Poté se mohou přidat další suroviny. Těsto se vyválí a z plátu se vyřezávají požadované tvary. Výroba těstovin moderní technologií probíhá pomocí nízkotlaké extruze. Semolina či mouka se smíchá s vodou a vyhněte se tuhé těsto, které se tvaruje průchodem matricí. Těstoviny se následně pozvolna suší. Semolina a voda se smíchají v premixéru, ze kterého vystupují shluky semoliny a ty dále vstupují do extrudéru. Zde se hmota zpracovává pod tlakem (80 – 120 kg/cm^2) při teplotě max. 50 °C. V extrudéru se hmota vytláčí šnekem k matrici. Při průchodu otvory matrice nastává expanze hmoty. Hmota se tvaruje do provazců požadovaných tvarů a následně se odřezává na požadovanou velikost. Sušení probíhá buď při nízké teplotě (max. 60 °C, 18 hodin), při vysoké teplotě (60 – 85 °C, 8 hodin) nebo při velmi vysoké teplotě (85 – 110 °C; 4 – 5 hodin u dlouhých a 2 – 3 hodiny u krátkých těstovin).

Asijské těstoviny se vyrábějí z mouky vymleté z pšeničného zrna (*Triticum aestivum* L.), (Burešová, Lorencová, 2013). Tyto asijské těstoviny tvoří až 40 % pšeničných produktů v asijských zemích. Dominantní zastoupení mají žluté alkalické nudle. Ty se obvykle vyrábějí z mouky, vody a alkalické soli (0,5 – 2 %), (Hung, Hatcher, 2011). Zásaditou recepturní složkou je uhličitan sodný a draselný nebo hydroxid sodný, které upraví pH na 9 – 11,5. V této oblasti pH se bezbarvé flavonoidy mění na žlutě zabarvené (Burešová, Lorencová, 2013). Pšenice obecné s vysokým obsahem karotenoidů mohou poskytnout žádoucí žlutou barvu alkalickým nudlím. Žádoucího žlutého zabarvení alkalických nudlí by tak bylo dosaženo bez použití syntetických látek (Hung, Hatcher, 2011).

Během výroby těstovin také dochází k poklesu karotenoidů (Luthria et al., 2015). Jejich celkové ztráty při výrobě těstovin byly až 49%. Největší ztráty byly při déletrvající fázi hnětení a při kroku protlačování. Při protlačování těstovin byl pokles obsahu karotenoidů nižší u vakuovaných zařízení, než u zařízení bez vakua. Krok sušení při nejvyšší teplotě 65 °C po dobu 17 hodin v sušárně bez přístupu světla však nezpůsobil žádné významné ztráty karotenoidů (Hidalgo et al., 2010).

U těstovin s různým zastoupením otrub purpurové pšenice byly provedeny zkoušky vařením. S nárůstem podílu otrub se zvyšovala vaznost těstovin pro vodu a prodlužovala se vařivost těstovin. Rostly však i ztráty v sedimentu. Tento negativní jev byl eliminován přídavkem vajec (Vyhnánek et al., 2015).

6.7 Výroba pšeničného sladu

Pšeničný slad se používá při výrobě pšeničných piv nebo v pekárenství (Kosař, Procházka, 2000). Vyrábí se obdobně jako slady z ječmene. Oproti ječným sladům však klíčí kratší dobu a suší se při nižších teplotách (Basařová et al., 2010). Pšeničný slad zajišťuje variace chuťových vjemů a obecně podporuje pěnivost. Sladuje se při nižším stupni domočení - do 43 %. Míra rozluštění se posuzuje obtížně, protože zrno má silně škrobnatý vzhled. Kvůli malé kyprosti sladu se také obtížně suší. Z tohoto důvodu musí být předsušení a hvozdění velmi šetrné. Dotahovací teplota při sušení nesmí být vyšší než 75 °C po dobu 3 hodin. Obsah vody ve sladu se pohybuje okolo 5 % (Kosař, Procházka, 2000).

Pšeničná piva jsou taková piva, u nichž více než jedna třetina extraktu pochází z pšeničného sladu. Patří mezi piva svrchně kvašená (Basařová et al., 2010). Během sladování dochází k aktivaci enzymů, které působí na škrob v endospermu zrna. Slad se dále šrotuje a máčí. Při máčení se vyluhuje část sladu a vzniká tzv. extrakt. Hlavními kritérii sladové hodnoty je vysoká extrahovatelnost a vysoký stupeň rozluštění proteinu (Chloupek et al., 2005).

Polyfenoly sladu a piva lze rozdělit na tyto skupiny: jednoduché fenoly, fenolové kyseliny, barevné flavonoidy, bezbarvé flavonoidy, kondenzované a další polymerní polyfenoly, kumariny a chinony.

Polyfenoly mají v technologii výroby piva jak negativní, tak pozitivní význam. Nezoxidované polyfenoly oddalují stárnutí chuti piva a tvorbu nebiologických zákalů svými přirozenými antioxidačními vlastnostmi (Basařová et al., 2010). Fenolové

sloučeniny se na antioxidační aktivitě piva podílejí z 55 – 88 %. Zpomalují proces oxidace během vaření piva, který je pravděpodobně zodpovědný za nestabilitu v chuti piva. Při hledání přírodních alternativ antioxidantů v pivu namísto syntetických se proto fenolové sloučeniny jeví jako velmi vhodné (Zhao et al., 2010). Antioxidační vlastnosti mají také volné fenolové kyseliny extrahované ze zeleného sladu. Další pozitivní vlastností polyfenolů je asociovat s polypeptidy a vylučovat kaly během chlazení mladiny. Přispívají také k plnosti chuti piva, podporují tzv. pitelnost (Basařová et al., 2010). Flavonoidy způsobují trpkost a významně ovlivňují i barvu piva (Callemien, Collin, 2010). Oxidované a kondenzované formy polyfenolů zvyšují barvu sladiny, mladiny i piva. U piva zhoršují jeho chuťové vlastnosti a přispívají také k nebiologickým zákalům ve stočeném pivu.

Polyfenolové sloučeniny se uvolňují ze sladového šrotu na počátku varného procesu při rozpouštění extraktu. Jedná se o polyfenoly, které přešly do rozpustné formy již při sladování. Další fenoly, které zůstaly ve vázané formě, nejsou schopné se při rmutování uvolňovat. Rozpustnost polyfenolů je ovlivněna poměrem polárních a nepolárních skupin v jejich molekule. Rozpustnost fenolických kyselin stoupá s jejich vzrůstající disociační konstantou a hodnotou pH prostředí. S počtem hydroxylových skupin v molekule stoupá rozpustnost flavonoidních látek. S rostoucím počtem methoxylových skupin naopak klesá. Glykosidy jsou podstatně rozpustnější než příslušné aglykony (Basařová et al., 2010).

7 OZNAČOVÁNÍ POTRAVIN

Potraviny uváděné na trh v rámci Evropské unie musí splňovat obecné požadavky na označování dané směrnicí 2000/13/ES, v platném znění. V České republice byly požadavky na označování zapracovány do zákona č. 110/1997 o potravinách a tabákových výrobcích, ve znění pozdějších předpisů a vyhlášky č. 113/2005 Sb. O způsobu označování potravin a tabákových výrobků. Zákonem č. 139/2014 se významně upravuje zákon č. 110/ 1997 Sb. o potravinách a tabákových výrobcích. Tato novela zákona o potravinách 110/1997 Sb. vešla v platnost 1. ledna 2015.

Novela upravuje zejména oblasti působnosti a pravomoci dozorových orgánů. Státní zemědělská a potravinářská inspekce a Státní veterinární správa budou moci nově dozorovat i stravovací služby. Navýšily se i pokuty za nedodržení legislativou stanovených podmínek. Za špatně označené či nekvalitní potraviny hrozí sankce

až 10 milionů korun. Za potraviny, které jsou zdraví nebezpečné, až 50 milionů korun. Obchodníci budou muset na základě novely podrobněji informovat zákazníky o původu a složení nabízených potravin. Novela zákona o potravinách 110/1997 Sb. upravuje kromě jiných i ustanovení § 6 – 9, která se týkají právě označování potravin.

Zákon ukládá prodejcům s ročními tržbami nad pět miliard korun povinnost zveřejňovat čitelně u vchodu pro zákazníky seznam pěti zemí, ze kterých potraviny odebírá. Musí je seřadit sestupně podle podílu prodejů těchto potravin na tržbách.

Povinná velikost písma povinných údajů uváděných na balených potravinách není daná zákonem o potravinách, nýbrž je stanovena v čl. 13 odst. 2 a 3 nařízení (EU) č. 1169/2011. Informace o složení, datu trvanlivosti, návodu k použití a podmínek skladování musí být napsány písmem, které není menší než 1,2 mm.

Povinnost uvádět alergeny je upravena v čl. 21 odst. 1 nařízení (EU) č. 1169/2011. Ten stanovuje, že se údaj o alergenech uvede na balených potravinách v seznamu složek a to zvýrazněným písmem. Povinnost uvádět alergeny u nebalených potravin a pokrmů je jediným povinným údajem vyplývajícím nikoli ze zákona o potravinách, ale z nařízení (EU) č. 1169/2011 ve smyslu čl. 44 tohoto nařízení.

Od 1 dubna 2015 bude v celé Evropské unii pro výrobce povinnost psát zemi původu u vepřového, drůbežího, skopového a kozího masa. To zatím platilo jen u hovězího masa, ovoce, zeleniny a olivového oleje (Jordán, 2015; Agrární www portál, 2015).

7.1 Označování balených potravin dle § 6 zákona č. 110/1997 Sb. o potravinách a tabákových výrobcích a o změně a doplnění některých souvisejících zákonů v platném znění

Požadavky na označování balených potravin jsou v současné době stanoveny přímo použitelnými předpisy Evropské unie. Duplicitní ustanovení tak byla vypuštěna, zůstal však požadavek pro údaje o třídě jakosti, stanoví-li tak prováděcí právní předpis či přímo použitelný předpis Evropské unie. Je zde zmíněna i povinnost uvádět u nápojů obsahujících více než 1,2 % objemových alkoholu seznam složek. Další údaje jsou stanoveny prováděcím právním předpisem či veterinárním zákonem.

7.2 Potravina zabalená bez přítomnosti spotřebitele dle § 7 zákona č. 110/1997 Sb. o potravinách a tabákových výrobcích a o změně a doplnění některých souvisejících zákonů v platném znění

Pro tyto potraviny platí povinné údaje:

- jméno a příjmení nebo název nebo obchodní firma a adresa sídla provozovatele potravinářského podniku, který potravinu vyrobil
- název potraviny
- čisté množství
- seznam složek
- zemi/místo původu
- je-li to nutné, způsob uchování
- datum použitelnosti/datum minimální trvanlivosti
- údaje dle článku 10 odst. 1 nařízení (EU) č. 1169/2011 (jsou zde definovány i potraviny, jejichž označení musí obsahovat jeden nebo více dalších údajů, například: „obsahuje aspartam“, „se sladidly“)
- údaje o alergenech
- údaj o množství hlavní složky v hmotnostních procentech, stanoví-li tak prováděcí právní předpis
- údaje o třídě jakosti, případně další povinné údaje vyplývající z přímo použitelných předpisů Evropské unie či prováděcích právních předpisů
- způsob označení potravin zabalených bez přítomnosti spotřebitele pro účely přímého prodeje stanoví prováděcí právní předpis

7.3 Označování nebalených potravin dle § 8 zákona č. 110/1997 Sb. o potravinách a tabákových výrobcích a o změně a doplnění některých souvisejících zákonů v platném znění

V těsné blízkosti potraviny (například na cenovce) má být uvedeno jméno nebo obchodní název a adresa výrobce, země původu a název potraviny. Pokud to stanoví prováděcí právní předpis i údaje o třídě jakosti a množství hlavní složky a také údaje podle čl. 10 odst. 1 nařízení (EU) č. 1169/2011.

V blízkosti místa nabízení k prodeji (například na prodejním pultu a jeho okolí) musí být uvedeno datum použitelnosti nebo minimální trvanlivosti a údaj o přítomnosti alergenů, popřípadě další údaje, stanoví-li tak prováděcí právní předpis nebo přímo použitelný předpis EU.

Prodejce je povinen spotřebiteli na vyžádání sdělit či viditelně zpřístupnit údaj, týkající se seznamu složek a údaj o množství zdůrazněné složky.

7.4 Pokrmy dle § 9a zákona č. 110/1997 Sb. o potravinách a tabákových výrobcích a o změně a doplnění některých souvisejících zákonů v platném znění

Jedná se o nebalenou potravinu, případně potravinu zabalenou bez přítomnosti spotřebitele, která je nabízena zařízením společného stravování. Uplatní se požadavky uvedené v čl. 44 nařízení (EU) č. 1169/2011. Provozovatel potravinářského podniku je povinen písemnou formou viditelně zpřístupnit informaci o názvu potraviny a výskytu alergenů.

8 VÝŽIVOVÁ, ZDRAVOTNÍ A JINÁ LÉČIVÁ TVRZENÍ PRO OZNAČOVÁNÍ BALENÝCH POTRAVIN

Kromě povinných informací na obalu potraviny je možné uvést na potravině další údaje. Platí, že tyto informace musí být pravdivé a nesmí spotřebitele klamat. Dané pokyny vycházejí z obecných požadavků na označování, například čl. 16 nařízení č. 178/2002, kterým se stanoví obecné zásady a požadavky potravinového práva, nebo čl. 7 odst. 1 nařízení č. 1169/2011 – požadavek, kdy informace o potravinách nesmí být zavádějící.

Dle § 4 odst. 2 písm. e) vyhlášky č. 113/2005 Sb., ve znění pozdějších předpisů platí: „Na obalu určeném pro spotřebitele a na vnějším obalu, na jeho nesnadno oddělitelných součástech, na připojených součástech a v písemné dokumentaci, která potravinu doprovází, se neuvádějí údaje, že potravina je vhodná k prevenci, zmírnění nebo léčení zdravotní poruchy nebo k lékařským účelům.“ Obecně lze říci, že léčebná tvrzení nelze použít vůbec. Zdravotní tvrzení je možné použít pouze tehdy, pokud potravina obsahuje živinu nebo látku, ke které bylo zdravotní tvrzení schváleno a splňuje všechny ostatní podmínky nařízení č. 1924/2006.

Z působnosti nařízení 1924/2006 na žádost dotčených provozovatelů potravinářských podniků může být vyňat tzv. generický transkriptor, který je výjimkou (podle čl. 1 odst. 4 nařízení 1924/2006). To však platí pouze za podmínky, že je prokázána tradice minimálně 20 let jeho používání v členském státě. Příkladem potraviny ze skupiny tzv. generických transkriptorů mohou být například cucavé bonbóny určené pro krk, u nichž si provozovatel potravinářského podniku vystačil s takovým tvrzením, které je mimo rámec nařízení č. 1924/2006. Přípustné tvrzení pro tyto bonbóny by bylo například „skvělý pomocník pro sychravé dny“.

Platí, že informace o potravinách nesmí být zavádějící. Týká se to zejména případů, kdy označení potraviny vyvolává dojem, že daná potravina má zvláštní charakteristiky, i když všechny podobné potraviny mají ve skutečnosti stejné charakteristiky a také zejména výslovným zdůrazňováním přítomnosti nebo nepřítomnosti určitých složek nebo živin dle čl. 7 odst. 1 písm. c) nařízení č. 1169/2011. Toto ustanovení nebrání použití výživových tvrzení nebo zvýraznění vlastnosti, jakou mají/nemají ostatní podobné produkty, ale jen pokud je zároveň sděleno, že tuto vlastnost mají i podobné produkty. Musí zde být také nějaký vztah mezi potravinou a danou látkou. Lze například použít označení „bez lepku – žádné bílé jogurty neobsahují lepek“. Nelze však použít „bez barviv“ (např. na mléku) nebo „bez konzervantů“ (např. u medu).

9 ZÁVĚR

Netradiční zabarvení zrn pšenice seté (*Triticum aestivum* L.) je podmíněno geneticky. Detailní znalost o umístění a složení genů, které podmiňují tvorbu antokyanů a karotenoidů v zrnech pšenic, je nezbytná pro jejich cílené šlechtění. V současnosti jsou vytvářeny kolekce genových zdrojů hexaploidních pšenic s nestandardní barvou zrna, která bude zahrnovat existující genetické varianty barev zrna. Z praktického hlediska je důležité, aby se geny, determinující technologickou kvalitu, vhodně zkombinovaly s geny pro biosyntézu pigmentů. To by umožnilo vyšlechtit odrůdy pšenic s barevnými zrny a zároveň potravinářskou kvalitou. Rozšířil by se tak trh, který je postaven zejména na pšenici s červeným a bílým zrnem.

V různých částech zrna je různý obsah pigmentů, což ovlivní jejich obsah v otrubách, mouce a také v konečných produktech. Dietetická hodnota vyráběných potravinářských produktů je tedy ovlivněna výběrem vhodné suroviny. Správně zvolenou technologií mohou být udrženy bioaktivní fytochemikálie pšenic i ve finálním výrobku. Přestože jsou pigmenty v zrnu barevných pšenic obsaženy ve velmi nízkých koncentracích, mohou významně ovlivnit kvalitu produktů z nich.

Antokyany a karotenoidy jsou totiž významnou skupinou biologicky aktivních sloučenin s antioxidačními účinky. Tyto pšenice jsou kromě toho bohaté na vitamíny, proteiny, aminokyseliny a další prospěšné mikroelementy. Příjem bioaktivních složek v jejich původní formě v dané potravině je navíc pravděpodobně přínosnější pro zdraví, než příjem jejich izolované formy.

Produkty z těchto pšenic jsou netradiční svým vzhledem a je otázka, zda budou pro spotřebitele atraktivní, nebo v něm naopak budou vzbuzovat nedůvěru. Barevné pšenice čeká ke spotřebiteli ještě dlouhá cesta. Důležitá je dostatečná informovanost spotřebitelů. Z tohoto důvodu v práci uvádím také informace, které se týkají označování potravin a léčivých tvrzení.

10 LITERATURA

ABDEL-AAL EL S. M., HUCL P., 1999: A rapid method for quantifying total anthocyanins in blue aleurone and purple pericarp wheats. *Cereal Chemistry*, 76, (3): 350-354.

ABDEL-AAL EL S. M., HUCL P., 2003: Composition and Stability of Anthocyanins in Blue-Grained Wheat. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54: 2174-2180.

ABDEL-AAL EL S. M., YOUNG J. C., RABALSKI I., 2006: Anthocyanin Composition in Black, Blue, Pink, Purple, and Red Cereal Grains. *Journal* of Agricultural *and Food Chemistry*, 54: 4696-4704.

AMBALAMAATIL S., LUKOW O. M., MALCOLMSON L. J., 2006: Quality attributes of canadian hard white spring wheat. *Journal of Food Quality***,** 29: 151-170.

ARBUZOVA V. S., MAYSTRENKO O. I., 2000: Chromosomal location of genes for purple grain colour introgressed in common wheat. *Cereal Res. Comm*., 28 (2): 235-237.

ATIENZA S. G., BALLESTEROS J., MARTÍN A., HORNERO-MÉNDEZ D., 2007: Genetic variability of carotenoid concentration and degree of esterification among tritordeum (x Tritordeum Ascherson et Graebner) and durum wheat accessions. *J. Agric. Food Chem*., 55: 4244-4251.

BASAŘOVÁ G., ŠAVEL J., BASAŘ P., LEJSEK T., 2010: *Pivovarství.* VŠCHT, Praha, 863 s.

BASU T. K., TEMPIE N. J., GARG M. L., 1999: *Antioxidants in human health and disease*. CAB International, UK (Wallingford), 450 s.

BEDNÁŘ J., VYHNÁNEK T., 2004: *Genetika rostlin*. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, Brno, 146 s.

BREWER L. R., KUBOLA J., SIRIAMORNPUN S., HERALD T. J., SHI Y., 2014: Wheat bran particle size influence on phytochemical extractability and antioxidant properties. *Food chemistry,* 152: 483-190.

BUREŠOVÁ V., KOPECKÝ D., ŠAFÁŘ J., VYHNÁNEK T., MARTINEK P., DOLEŽEL J., 2013: Genomic constitution of cereals with blue aleurone trait. Olomouc BIOTECH, *Plant Biotechnology: Green for Good II*, 54 s.

BUREŠOVÁ I., LORENCOVÁ E., 2013: *Výroba potravin* rostlinného *původu: zpracování obilovin.* Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Zlín, 302 s.

BUREŠOVÁ V., KOPECKÝ D., BARTOŠ J., MARTINEK P., WATANABE N., VYHNÁNEK T., DOLEŽEL J., 2015: Variation in genome composition of blue−aleurone wheat. *Theor. Appl. Genet.*, 128: 273‑282.

CAMPBELL-PLATT, 2009: *Food Science and technology*. Blackwell publishing Ltd. UK, 508 s**.**

CALLEMIEN D., COLLIN S., 2010: Structure, Organoleptic Properties, Quantification Methods, and Stability of Phenolic Compounds in Beer — A Review. *Food Reviews International*, 26: 1-84.

ČEPIČKA J., 1995: Obecná potravinářská technologie. VŠCHT Praha, 246 s.

CHALLACOMBE C. A., ABDEL-AAL E. M., SEETHARAMAN K., DUIZER L. M., 2012: Influence of phenolic acid content on sensory perception of bread and crackers made from red or white wheat. *Journal of Cereal Science,* 56: 181-188.

CHABINOVÁ J., ZÍTKA O., HÚSKA D., KLEJDUS B., KIZEK R., 2011: Stanovení antokyanů ve vzorcích barevné pšenice v průběhu zrání zrna, s. 119-121. In ŠUDYOVÁ V. (ed): *Nové poznatky z genetiky a šľachtenia poľnohospodárskych rastlín. Zborník z 18. medzinárodnej vedeckej konferencie.* Centrum výskumu rastlinnej výroby Piešťany, 199 s.

CHLOUPEK O., PROCHÁZKOVÁ B., HRUDOVÁ E., 2005: *Pěstování a kvalita rostlin*. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, Brno, 178 s.

CHLOUPEK O., 2000: *Genetická diverzita, šlechtění a semenářství*. Academia Praha, 311 s.

DEDIO W., HILL R. D., EVANS L. E., 1972: Anthocyanins in the pericarp and coleoptiles of purple wheat. *Can. J, Plant Sci*., 52: 977-980.

DELCOUR J. A., HOSENEY R. C., 2010: *Principles of cereal science and technology*. AACC International. USA, 270 s.

DOBROVOLSKAYA O., ARBUZOVA V. S., LOHWASSER U., RÖDER M. S., BÖRNER A., 2006: Microsatellite mapping of complementary genes for purple grain colour inbread wheat (Triticum aestivum L.). *Euphytica*,150: 355-364.

DOROFEEV V. F., FILATENKO A. A., MIGUSHOVA E. F., UDACHIN R. A., JAKUBTSINER M. M., 1979: Pshenitsa (Wheat). In: DOROFEEV V. F., KOROVINA O. N. (eds), *Cultivated flora of the USSR,* vol. 1 (in Russian). Kolos, Leningrad.

DUBCOVSKY J., LUO M. C., ZHONG G. Y., BRANSTEITTER R., DESAI A., KILIAN A., KLEINHOFS A., DVORAK J., 1996: Genetic map of diploid wheat, Triticum monococcum L, and its comparison with maps of Hordeum vulgare L. *Genetics*, 143: 983‑999.

DUBCOVSKY J., DVOŘÁK, J., 2007: Genome plasticity a key factor in the success of polyploid wheat under domestication. *Science,* 316: 1862-1866.

ESCRIBANO-BAILÓN M. T., SANTOS-BUELGA C., RIVAS-GONZÁLO J., C., 2004: Anthocyanins in cereals. *Journal of Chromatography A,* vol. 1054, no. 1-2: 129-141.

FELLOWS P. J., 2009: *Food processing and technology*. Woodhead Publishing limited. UK, 913 s.

GILL B. S., APPELS R., BOTHA-OBERHOLSTER A. M., BUELL C. R., BENNETZEN J. L., CHALHOUB B, CHUMLEY F., DVOŘÁK J., IWANAGA M., KELLER B., LI W., MCCOMBIE W. R., OGIHARA Y., QUETIER F., SASAKI T., 2004: A Workshop report on wheat genome sequencing. *International genome researchon wheat consortium genetics*, 168: 1087-1096.

GONCHAROV N. P., 2011: Genus Triticum L. taxonomy: the present and the future. *Plant Systematics and Evolution*, 295: 1-11.

GONCHAROV N. P., GOLOVNINA K. A., GLUSHKOV S., KILIAN B., BLINOV A., SHUMNY V. K., 2008: Evolutionary history of wheats – the main cereal of mankind, s. 407-419. In: DOBRETSOV N. (ed), *Biosphere origin and evolution*. Part IV. Springer, Berlin.

GUSTAFSON P., RASKINA O., XUEFENG M., NEVO E., 2009: Wheat Evolution, Domestication, and Improvement. *Wheat Science and Trade*. Wiley-Blackwell, Oxford, UK.

HANCOCK J. F., 2004: *Plant evolution and the origin of crop species*. CABI Publishing, Wallingford, 313 s.

HAVRLENTOVÁ M., PŠENÁKOVÁ I., ŽOFAJOVÁ A., RÜCKSCHLOSS L., KRAIC J., 2014: Anthocyanins in wheat seed – a mini review. *Nova Biotechnologica et Chimica.*, 13 (1): 1-12.

HIDALGO A., BRANDOLINI A., POMPEI C., 2010: Carotenoids evolution during pasta, bread and water biscuit preparation fromwheat flours. Food Chemistry, 121: 746-751.

HIMI E., NISAR A., NODA K., 2005: Colour genes (R and Rc) for grain and coleoptile upregulate flavonoid biosynthesis genes in wheat. *Genome*. 48(4): 747-754.

HIMI E., NODA K., 2005: Red grain colour gene (R) of wheat is a Myb-type transcription factor. *Euphytica*, 143: 239-242.

HOWITT C. A., CAVANAGH C. R., BOWERMAN A. F., CAZZONELI CH., RAMPLING L., MIMICA J. L., POGSON B. J., 2009: Alternative splicing, activation of cryptic exons and amino acid substitutions in carotenoid biosynthetic genes are associated with lutein accumulation in wheat endosperm. *Funct. Integr. Genomics*, 9: 363-376.

HUNG P. V., HATCHER D. W., 2011: Ultra-performance liquid chromatography (UPLC) quantification of carotenoids in durum wheat: Influence of genotype and environment in relation to the colour of yellow alkaline noodles (YAN). *Food Chemistry*, 125: 1510-1516.

JANEČKOVÁ M., DOSTÁLOVÁ Y., HŘIVNA L., TROJAN V., VYHNÁNEK T., MRKVICOVÁ E., 2014: Effect of addition of purple wheat bran (Konini variety) on the properties of bakery products s. 30. In: : *Nové poznatky z genetiky a šľachtenia poľnohospodárskych rastlín. Zborník z 21. medzinárodnej vedeckej konferencie*. Národné poľnohospodárske a potravinárske centrum, Piešťany, 46 s.

JIANG D., PETERSON D. G., 2013: Identification of bitter compounds in whole wheat bread. *Food Chemistry*, 141: 1345-1353.

JORDÁN, 2015: Od Nového roku platí nová pravidla přehlednějšího označování potravin. *Potravinářský zpravodaj*, 16: 1.

KALAČ P., 2003: *Funkční potraviny: kroky ke zdraví*. Dona, České Budějovice, 130 s.

KADLEC P., MELZOCH K., VOLDŘICH M., 2012: *Přehled tradičních potravinářských výrob*. KEY Publishing s. r. o., Ostrava, 569 s.

KADLEC P., MELZOCH K., VOLDŘICH M., 2013: *Procesy a zařízení v potravinářství a biotechnologiích*. KEY publishing s. r. o., Ostrava, 496 s.

KHLESTKINA E. K., 2013: Genes Determining the Coloration of Different Organs in Wheat. *Russian Journal of Genetics: Applied Research,* 3 (1): 54-65.

KNIEVEL D. C., ABDEL-AAL E-S. M., RABALSKI I., NAKAMURA T. & HUCL P., 2009: Grain color development and the inheritance of high anthocyanin blue aleuroneand purple pericarp in spring wheat (Triticum aestivum L.). *Journal of Cereal Science*, 50: 113-120.

KOOLMAN J., RÖHM K., WIRTH J., 2012: *Barevný atlas biochemie*. Grada Publishing, Praha, 498 s.

KOSAŘ K., PROCHÁZKA S., 2000: *Technologie výroby sladu a piva*. Výzkumný ústav pivovarský a sladařský a. s., Praha, 398 s.

KOPÁČOVÁ O., 2007: *Trendy ve zpracování cereálií s přihlédnutím zejména k celozrnným výrobkům*. Ústav zemědělských a potravinářských informací, Praha, 55 s.

KUČEROVÁ J., 2004: *Technologie cereálií*. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, Brno, 141 s.

KUČEROVÁ A., 2014: *Kvalita zrna a pekařských výrobků z vybraných genových zdrojů pšenice s modrým a purpurovým zabarvením*. Diplomová práce (rukopis). Mendelova univerzita v Brně, Brno, 75 s.

LACHMAN J., DUDJAK J., ORSÁK M., PIVEC V., 2003: Effect of accelerated ageing on the content and composition of polyphenolic complex of wheat (Triticum aestivum L.) grains. *Plant, Soil and Enviroment.,* 49(1): 1-7.

LAKNEROVÁ I., HOLASOVÁ M., FIEDLEROVÁ V., RYSOVÁ J, VACULOVÁ K., MAŠKOVÁ E., EHRENBERGEROVÁ J., WINTEROVÁ R., OUHRABKOVÁ J., DVOŘÁČEK V., MARTINEK P. 2014: Utilisation of Non-Traditional Forms of Cereals in Bakery Production. *Czech J. Food Sci*., 32 (3): 269-301.

LIU R. H., 2007: Whole grain phytochemicals and health. *Journal of Cereal Science*, 46: 207-219.

LIU S., BAI G., CAI S., CHEN C., 2010: Dissection of genetic components of preharvest sprouting resistance in white wheat. *Mol Breeding*, 27: 511-523.

aLIU Q., QIU I., BETA T., 2010: Comparison of Antioxidant Activities of Different Colored Wheat Grains and Analysis of Phenolic Compounds. *J. Agric. Food Chem*., 58: 9235-9241.

MACKEY J., 1977*:* Sec. Diccocoidea Flaksb. of wheat, its phylogeny, diversification and subdivision, s. 5-46. In: *Proceedings of the Symposium on Extended Availability of Wheat Genetics Resources.* Germplasm Laboratory, Bari, Italy.

MARES D., MRVA K., CHEONG J., WILLIAMS K., WATSON B., STORLIE E., SUTHERLAND M., ZOU Y., 2005: A QTL located on chromosome 4A associated with dormancy in white and red-grained wheats of diverse origin. *Theoretical and Applied Genetics*. 111 (7): 1357-1363.

aMARTINEK P., GREGOVÁ E., VINTEROVÁ M., PEJURKOVÁ A., VYHNÁNEK T., 2006: Identifikace zdroju tritikale se sníženou aktivitou amylasových enzymu a vhodnejším složením bílkovín pro zlepšení pekařské kvality, s. 20-23. In: UŽÍK M (eds): *Nové poznatky z genetiky a šľachtenia poľnohospodárskych rastlín*. Výskumný ústav rastlinnej výroby Piešťany, 120 s.

MARTINEK, P., COUFALOVÁ, O., KUREČKA, R., NOVÁKOVÁ, E., MIKULCOVÁ, J. 2006: Netradiční barva obilek pšenice (Triticum aestivum L.), její genetická podmíněnost a možnost využití v potravinářství, s. 95-98. In: UŽÍK M (eds):

Nové poznatky z genetiky a šľachtenia poľnohospodárskych rastlín. Výskumný ústav rastlinnej výroby Piešťany, 120 s.

MARTINEK P., PODHORNÁ J., PAULÍČKOVÁ I., NOVOTNÁ P., HANUŠ V., ŠUDYOVÁ V., BALOUNOVÁ M., VACULOVÁ K., 2010: Hodnocení genetických zdrojů pšenice s rozdílným zabarvením zrna s. 64-68. In: *Hodnotenie genetických zdrojov rastlín pre výživu a polnohospodárstvo.* Centrum výskumu rastlinnej výroby Piešťany, 188 s.

MARTINEK P., VYHNÁNEK T., PODHORNÁ J., NOVOTNÁ P., VACULOVÁ K., KADLÍKOVÁ M., JIRSA O., KUREČKA R., 2011: Pšenice s odlišným zbarvením zrna a možnost jejich využití v potravinářství. *Úroda*, 12: 117-123.

MARTINEK P., ŠKORPÍK M., CHRPOVÁ M., FUČÍK P., 2012: Skorpion – odrůda ozimé pšenice s modrým zrnem. *Obilnářské listy*, 20 (3), 78-79.

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. *Tagung der Vereinigung der Pflanzenzüchter und Saatgutkaufleute,* 64: 75-78.

METTIN D, SCHLEGEL G, LEHMANN C, 1991: Instability of the blue grain colour in a strain of Triticum aestivum L. *Genome,* 34: 745-750.

MIYAMOTO T., EVERSON E. H., 1958: Biochemical and Physiological Studies of Wheat Seed Pigmentation. *Agron. J.*, 50: 733-734.

MOORS E. H. M., 2012: Functional foods: regulation and innovations in the EU. *Innovation – The European Journal of Social Science* Research., 25: 424-440.

aMUSILOVÁ M., TROJAN V., VYHNÁNEK T., HAVEL L., 2010: The RNA isolation from genetic resources of coloured grain wheat, s. 826-830. In ŠKARPA P.

(ed): *MendelNet 2010 proceedings of international Ph.D. students conference 2010, November 24th*. Brno Mendelova univerzita v Brně, 168 s.

MUSILOVÁ M., TROJAN V., VYHNÁNEK T., HAVEL L., 2010: Aplikace metod molekulární biologie u genetických zdrojů pšenice seté (Triticum aestivum L.), s. 146-147. In: HAUPVOGEL P. (eds): *Hodnotenie genetických zdrojov rastlín pre výživu a poľnohospodárstvo.* Centrum výskumu rastlinnej výroby Piešťany, 188 s.

MUSILOVÁ M., TROJAN V., VYHNÁNEK T., MARTINEK P., HAVEL L. 2011: Aplikace genetických markerů u donorů pšenice s nestandardním zbarvením obilek, s. 13-15. In: *Nové poznatky z genetiky a šľachtenia poľnohospodárskych rastlín. Zborník z 18. medzinárodnej vedeckej konferencie.* Centrum výskumu rastlinnej výroby Piešťany, 199 s.

NDOLO V. U., BETA T., 2013: Distribution of carotenoids in endosperm, germ, and aleurone fractions of cereal grain kernels. *Food Chemistry*, 139: 663-671.

NOVÁK J., SKALICKÝ M., 2012: *Botanika: cytologie, histologie, organologie a systematika*. Powerprint, Praha, 336 s.

NOVOTNÝ P., 2012: Význam pšenice ve světě a ekonomika jejího pěstování v mezinárodním srovnání, s. 94-95. In: *Pšenice 2012 "Od genomu po chleba": šlechtitelský seminář 2012 : Praha 5. – 6. prosince 2012*. Výzkumný ústav rostlinné výroby, Praha, 119 s.

POZNIAK C. J., KNOX R. E., CLARKE F. R., CLARKE J. M., 2007: IdentiWcation of QTL and association of a phytoene synthasegene with endosperm colour in durum wheat. *Theor. Appl. Genet*., 114: 525-537.

POKORNY J., YANISHLIEVA N., GORDON M., 2001: *Antioxidants in food*. Woohead Publishing Ltd, England, 380.

PRIOR R. L., XIANLI W., 2013: Diet Antioxidant Capacity: Relationships to Oxidative Stress and Health. *American Journal Of Biomedical Sciences, 5* (2):126-139.

PRUGAR J., 2008: *Kvalita rostlinných produktů na prahu 3. tisíciletí*. Výzkumný ústav pivovarský a sladařský ve spolupráci s komisí jakosti rostlinných produktů ČAZV, Praha, 327 s.

PŠENÁKOVÁ I., FARAGÓ J., 2006: Rastlinné flavonoidy a ich potenciál pre funkčné potraviny a nutraceutiká, s. 27-30. In: UŽÍK M (ed): *Nové poznatky z genetiky a šľachtenia poľnohospodárskych rastlín*. Výskumný ústav rastlinnej výroby Piešťany, 120 s.

PŘÍHODA J., SKŘIVAN P., HRUŠKOVÁ M., 2004: *Cereální chemie a technologie I.: Cereální chemie, mlýnská technologie, technologie výroby těstovin.* Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Praha, 200 s.

QUALSET C. O., SOLIMAN K. M., JAN C. C., DVOŘÁK J., MCGUIRE P. E., VOGTH. E., 2005: Registration of UC66049 Triticum aestivum blue aleurone genetic stock. *Journal of Crop Science*, 45: 432.

RAMACHANDRAN A., POZNIAK C. J., CLARKE J. M., SINGH A. K., 2010: Carotenoid accumulation during grain development in durum wheat. *Journal of Cereal Science*, 52: 30-38.

RODRÍGUEZ-SUÁREZ C., MELLAD-ORTEGA E., HORNERO MÉNDEZ D., ATIENZA S. G., 2014: Increase in transcript accumulation of Psy1 and e‑Lcy genes in grain development is associated with differences in seed carotenoid content between durum wheat and tritordeum. *Plant. Mol. Biol*., 84: 659-673.

RÜCKSCHLOSS L. MATÚŠKOVÁ K., HANKOVÁ A., JANČÍK D., 2010: Vplyv pšenice s purpurovou farbou zrna na parametre úžitkovosti nosníc a kvalitu vajec. *Potravinárstvo*, 4: 231-235.

SINGH K, GHAI M, GARG M, CHHUNEJA P, KAUR P, SCHNURBUSCH T, KELLER B, DHALIWAL HS, 2007: An integrated molecular linkage map of diploid wheat based on a Triticum boeoticum × T. monococcum RIL population. *Theor. Appl. Genet*., 115: 301‑312.

SKOUPIL J., 1994: *Suroviny na výrobu pečiva*. Kora, Pardubice, 211 s.

SLABÝ K., KREJČÍ P., 2005: *Anatomie a morfologie rostlin: (návody do cvičení)*. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, Brno, 93 s.

SMITH W. C., 1995: *Crop Production. Principles and Practices.: evolution, history, and technology*. John Wiley & Sons, New York 1995, 469 s.

SMOLIN L. A., GROSVENOR M. B., 2010: *Nutrition, science and applicstions*. John Wiley and Sons, Inc., USA, 783 s.

SYED JAAFAR S. N., BARON J., SIEBENHANDL-EHN S., ROSENAU T., BOHMDORFER S., GRAUSGRUBER H., 2013: Increased anthocyanin content in purple pericarp 3 blue aleurone wheat crosses. *Plant Breeding*, 132: 546-552.

ŠTECHOVÁ K., 2012: Postavení obilnin se zaměřením na pšenici v moderní racionální stravě, s. In: *Pšenice 2012 "Od genomu po chleba": šlechtitelský seminář 2012 : Praha 5. – 6. prosince 2012*. Výzkumný ústav rostlinné výroby, Praha, 119 s.

ŠTIASNA K., PRESINSZKÁ M., VYHNÁNEK T., TROJAN V., MRKVICOVÁ E. HŘIVNA L., HAVEL L., 2014: The relation between mealiness of wheat caryopses and Wx-B1 allele occurrence, s. 15. In: *Nové poznatky z genetiky a šľachtenia poľnohospodárskych rastlín. Zborník z 21. medzinárodnej vedeckej konferencie*. Národné poľnohospodárske a potravinárske centrum, Piešťany, 46 s.

ŠULOVÁ R., POSPÍCHALOVÁ M., BALARINOVÁ A., KABÁTOVÁ N., PALIČKOVÁ A., 2012: Žluté pigmenty v odrůdách pšenice seté, s. 79-81. In: CEJPEK K., ŠPICNER J. (eds): *XLII. Symposium o nových směrech výroby a hodnocení potravin*, Praha, 221 s.

TERESHCHENKO O. Y., GORDEEVA E. I., ARBUZOVA V. S., A. BÖRNER A., KHLESTKINA E. K., 2012: The D Genome Carries a Gene Determining Purple Grain Colour in Wheat. *Cereal Research Communications*, 40 (3): 334-341.

TERESHCHENKO O. Y., ARBUZOVA V. S., KHLESTKINA E. K., 2013: Allelic state of the genes conferring purple pigmentation in different wheatorgans predetermines transcriptional activity of the anthocyanin biosynthesisstructural genes. *Journal of Cereal Science*, 57: 10-13.

THOMPSON A. K., MOUGHAN J. P., 2008: Innovation in the foods industry: Functional foods. *Innovation: management, policy and practise*., 10: 61-73.

TROJAN V., MUSILOVÁ M., VYHNÁNEK T., HAVEL L., 2010: The genetic variability of coloured grain wheat collection, s. 845-851. In ŠKARPA P. (ed): *MendelNet 2010 proceedings of international Ph.D. students conference 2010, November 24th*. Brno Mendelova univerzita v Brně, 168 s.

TROJAN V., 2014: *Vyhledávání a charakteristika genů zodpovědných za purpurové zbarvení obilek pšenice seté (Triticum aestivum L.)*. Disertační práce (rukopis), MZLU v Brně, Brno, 100 s.

VACULOVÁ K., JIRSA O., MARTINEK P., BALOUNOVÁ M., 2010: Hodnocení kvality zrna vybraných vzorků netradiční pšenice a bezpluchého ječmene. *Obilnářské listy*, 18 (3): 71-76.

VARGA M., BÁNHIDY J., CSEUZ L., MATUZ J., 2013: The anthocyanin content of blue and purple coloured wheat cultivars and their hybrid generations. *Cereal Research Communications*, 41 (2): 284-292.

VELÍŠEK J., HAJŠLOVÁ J., 2009: *Chemie potravin 2*. Ossis, Tábor, 623 s.

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, s. 22-28. In: JUZL M., KALHOTKA L., DOSTÁLOVÁ Y., BOGDANOVIČOVÁ S. (eds): *Fulltextový sborník XLI. Konference o jakosti potravin a potravinových surovin*. DesignBeat s. r. o., Praha, 331 s.

WATTS B., RYLAND D., MALCOLMSON L. J., AMBALAMAATIL S., ADAMS K. M., LUKOW O. M., 2011: Flavor properties of pan and pita breads made from red and white hard spring wheats. *Journal of Food Quality,* 35: 60-68.

WEST R., SEETHARAMAN K., DUIZER L. M., 2013: Effect of drying profile and whole grain content on flavour and texture of pasta. *Journal of Cereal Science,* 58: 82-88.

WINKEL-SHIRLEY B., 2001: Flavonoid Biosynthesis. A Colorful Model for Genetics, Biochemistry, Cell Biology, and Biotechnology. *Plant Physiology,* 126: 485-493.

ZEVEN A. C., 1991: Wheats with purple and blue grains: a review. *Euphytica,* 56 (3): 243-258.

ZHAO H., CHEN W., LU J., ZHAO M., 2010: Phenolic profiles and antioxidant activities of commercial beers. *Food Chemistry,* 119: 1150-1158.

ZHANG W., DUBCOVSKY J., 2008: Association between allelic variation at the Phytoene synthase 1 gene and yellow pigment content in the wheat grain. *Theor. Appl. Genet.,* 116: 635-645.

ZHENG Q., LI B., ZHANG X. Y., MU S. M., ZHOU H. P., LI Z. S., 2006: Physical mapping of the blue-grained gene from Thinopyrum ponticum by GISH and FISH in a set of translocation lines with different seed colors in wheat. *Genome,* 49: 1109-1114.

ZHENG Q., LI B., LI H., LI Z., 2009: Utilization of blue-grained character in wheat breeding derived from Thinopyrum poticum. *Journal of Genetics and Genomics.,* 36: 575-580.

ZIMOLKA J., 2005: *Pšenice: pěstování, hodnocení a užití zrna*. Profi Press, Praha, 179 s.

ZOHARY D., 2000: *Domestication of Plants in the Old World: The Origin and Spread of Cultivated Plants in West Asia, Europa and the Nile Valley*. Oxford University Press, Oxford, 316 s.

ŽOFAJOVÁ A., PŠENÁKOVÁ I., HAVRLENTOVÁ M., PILIAROVÁ M., 2012: Accumulation of total anthocyanins in wheat grain. *Agriculture (Poľnohospodárstvo),* 58, (2): 50-56.

Internetové zdroje

AGRÁRNÍ WWW PORTÁL, 2015: *Dnes začíná platit novela zákona o potravinách.* Online [cit. 2015-25-01]. Dostupné na: http://www.agris.cz/clanek/186606

COOK L., 1994: *Scientists redesign white wheat*. Databáze online [cit. 2015-01-23]. Dostupné na: http://web.a.ebscohost.com/

GORDEEVA E. I., SHOEVA O. Y., KHLESTKINA E. K., 2014: *Marker-assisted development of bread wheat near-isogeniclines carrying various combinations of purple pericarp (Pp) alleles*. Databáze online [cit. 2015-02-5]. Dostupné na: http://link.springer.com/article/10.1007/s10681-014-1317-8#page-1

KOPÁČOVÁ O., 2005: *Pšenice durum*. Databáze online [cit. 2015-01-25]. Dostupné na: http://www.agronavigator.cz/default.asp?ch=13&typ=1&val=31478&ids=421

LUTHRIA D. L., LU Y., JOHN K. M. M., 2015: *Bioactive phytochemicals in wheat: Extraction, analysis, processing, and functional properties*. Databáze online [cit. 2015-02-10]. Dostupné na: www.sciencedirect.com.

Nařízení EP a Rady č. 1169/2011 o poskytování informací o potravinách spotřebitelům, o změně nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1924/2006 a (ES) č. 1925/2006 a o zrušení směrnice Komise 87/250/EHS, směrnice Rady 90/496/EHS, směrnice Komise 1999/10/ES, směrnice Evropského parlamentu a Rady 2000/13/ES, směrnic Komise 2002/67/ES a 2008/5/ES a nařízení Komise (ES) č. 608/2004. Online [cit. 2015-22-1]. Dostupné na:
http://cit.vfu.cz/vetleg/CD/prehled.htm#P%C5%99edpisy%20EU

Nařízení Evropského parlamentu a Rady č. 178/2002, kterým se stanoví obecné zásady a požadavky potravinového práva, zřizuje se Evropský úřad pro bezpečnost potravin

a stanoví postupy týkající se bezpečnosti potravin. Online [cit. 2015-23-1]. Dostupné na: http://cit.vfu.cz/vetleg/CD/prehled.htm#P%C5%99edpisy%20EU

Nařízení Evropského parlamentu a rady (ES) č. 1924/2006 ze dne 20. prosince 2006 o údajích týkajících se potravin z hlediska jejich nutriční hodnoty a vlivu na zdraví. Online [cit. 2015-25-1]. Dostupné na: http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2007:012:0003:0018:CS:PDF

PASQUALONE A., BIANCO A. M., PARADISO V. M., SUMMO C., GAMBACORTA G., CAPONIO F., BLANCO A., 2015: *Production and characterization of functional biscuits obtained from purple wheat*. Databáze online [cit. 2015-02-25]. Dostupné na: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814615001958

Vyhláška č. 113/2005 Sb. o způsobu označování potravin a tabákových výrobků, ve znění vyhlášky č. 368/2005 Sb., č. 497/2005 Sb., č. 101/2007 Sb., č. 127/2008 Sb., č. 117/2011 Sb. Online [cit. 2015-23-1]. Dostupné na: http://cit.vfu.cz/vetleg/CD/prehled.htm#Potraviny

Zákon č. 110/1997 Sb. o potravinách a tabákových výrobcích a o změně a doplnění některých souvisejících zákonů, ve znění zákona č. 166/1999 Sb., č. 119/2000 Sb., č. 306/2000 Sb., č. 146/2002 Sb., č. 131/2003 Sb., č. 274/2003 Sb., č. 94/2004 Sb., č. 316/2004 Sb., č. 558/2004 Sb., č. 392/2005 Sb., č. 444/2005 Sb., č. 229/2006 Sb., č. 296/2007 Sb., č. 120/2008 Sb., č. 120/2008 Sb., úplné znění č. 224/2008 Sb., č. 227/2009 Sb., č. 281/2009 Sb., č. 375/2011 Sb., č. 279/2013 Sb., č. 139/2014 Sb. Online [cit. 2015-20-1]. Dostupné na: http://cit.vfu.cz/vetleg/CD/prehled.htm#Potraviny

11 SEZNAM ZKRATEK

Ba = gen pro modrý aleuron

EFSA = Evropský úřad pro bezpečnost potravin

FDA = Úřad pro kontrolu potravin a léčiv

FISH = fluorescenční *in situ* hybridizace

GISH = genomická *in situ* hybridizace

HMW = vysokomolekulární

LMW = nízkomolekulární

OH = objemová hmotnost

Pan = gen pro expresi purpurových pigmentů v prašníku

Pc = gen pro expresi purpurových pigmentů ve stéble

Pg = gen pro expresi purpurových pigmentů v pluše

Plb = gen pro expresi purpurových pigmentů v listové čepeli

Pls = gen pro expresi purpurových pigmentů v listové pochvě

Pp = gen pro expresi purpurových pigmentů v perikarpu

QTL = lokus kvantitativních vlastností

Ra = gen pro expresi purpurových pigmentů u oušek

Rc = gen pro expresi červených pigmentů v koleoptile

SSS markery = mikrosatelitní markery

TBS = Tschermaks Blaukörniger Sommerweizen

ÚKZÚZ = Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský

VÚVR = Výzkumný ústav rostlinné výroby

ZVÚ = Zemědělský výzkumný ústav