

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra chemie



**Fakulta agrobiologie,
potravinových a přírodních zdrojů**

Nové a staronové obiloviny pro potravinářské využití

Bakalářská práce

Klára Kramosilová

Výživa a potraviny

Vedoucí práce: Ing. Luboš Paznocht, Ph.D.

© 2024 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci " Nové a staronové obiloviny pro potravinářské využití" jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autorka uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 27.4.2024

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala Ing. Luboši Paznochtovi, Ph.D za cenné rady, odborné vedení, vstřícný přístup a především za věnovaný čas.

Nové a staronové obiloviny pro potravinářské využití

Souhrn

Obiloviny představují základní složku potravy pro celou populaci. Díky své nutriční hodnotě a schopnosti efektivně uspokojovat energetické potřeby lidského organismu hrají důležitou roli v potravinářském průmyslu. V současné době narůstá zájem o využití tradičních, ale rovněž nově vyšlechtěných druhů obilovin, což reflektuje snahu o diverzifikaci potravin a zvýšení jejich nutriční hodnoty. Moderní obilniny zahrnují běžně pěstované druhy jako pšenice, ječmen, žito a oves, stejně tak hybridní druhy jako tritikale a tritordeum, a nově vyšlechtěné pšenice s barevnými zrny.

Jednotlivé druhy obilovin se liší nutričním složením a svými vlastnostmi, což je činí vhodnými pro specifická využití v různých odvětvích potravinářského průmyslu. Pšenice patří mezi základní potravinářské suroviny a je jednou z nejrozšířenějších a nejdůležitějších obilovin na světě. V roce 2023 dosahovala světová produkce pšenice 789 milionu tun. Díky vysokému obsahu lepkových bílkovin, které jsou klíčové pro tvorbu těsta, má pšenice nezastupitelnou roli ve výrobě pečiva, těstovin a mnoha dalších potravin. Ječmen je používán především ve sladovnictví, z žita jsou vyráběny mouky pro žitné pečivo s charakteristickou chutí a oves se stává stále oblíbenější potravinou z hlediska zdravé výživy. V dnešní době roste popularita starověkých druhů pšenic. Starověké druhy pšenice, jako je jednozrnka, dvouzrnka a špalda, mají vyšší obsah polyfenolických látek (pšenice špalda 1081,1 µg/g, dvouzrnka 961,1 µg/g), což je činí žádanými v rámci trendů zdravého stravování. Vyznačují se lepší adaptabilitou na nepříznivé půdní i klimatické podmínky, avšak mají nižší výnosy oproti moderním druhům. Během minulého století byl rozšířen zájem o specifické druhy obilovin, což vedlo ke šlechtění nových druhů a rozvoji odrůd pšenice s barevnými zrny. Zbarvení je způsobeno vysokým obsahem karotenoidů a antokyanů (rozmezí 2,6- 42,9 mg/kg), v obilném zrně což umožňuje dosáhnout žluté barvy endospermu, fialového perikarpu, modrého aleuronu či černého zrna. Díky akumulaci barevných pigmentů vykazují barevné pšenice vyšší antioxidační aktivitu. Nové hybridní plodiny vzniklé zkřížením pšenice s ječmenem (tritordeum) či žitem (tritikale) představují tzv. most přenášející výhodné vlastnosti obou rodičů z nutričního hlediska a produkce. Jejich přínos byl zjištěn v kontextu jejich potenciálu k přispívání rozmanitosti stravy a zvýšení výnosů a odolnosti vůči nepříznivým podmínkám.

Celkově obiloviny hrají klíčovou roli ve výživě populace, ať už prostřednictvím tradičních či nových vyšlechtěných druhů. Starověké i moderně šlechtěné druhy obilovin jsou důležité v zajištění potravinové diverzity, jsou podstatné pro zlepšení adaptační schopnosti na nepříznivé podmínky a nutričních hodnot obilovin. Tyto vlastnosti zvyšují jejich význam pro zdraví a prevenci civilizačních chorob, včetně kardiovaskulárních onemocnění, diabetu mellitu 2. typu či prevenci kolorektálního karcinomu, což může přispět k lepší výživě lidí po celém světě.

Klíčová slova: jednozrnka; pšenice s barevným zrnem; špalda; tritikale; tritordeum; výživa člověka

New and old cereals for food use

Summary

Cereals are an essential component of the diet for the entire population. Due to their nutritional value and ability to effectively meet the energy needs of the human body, they play an important role in the food industry. At present, there is a growing interest in the use of traditional, but also newly bred types of cereals, which reflects the effort to diversify foods and increase their nutritional value. Modern grains include commonly grown varieties such as wheat, barley, rye, and oats, as well as hybrid species such as triticale and tritordeum, and newly bred wheats with colored grains.

Individual types of cereals differ in their nutritional composition and properties, which makes them suitable for specific uses in various branches of the food industry. Wheat is one of the basic food ingredients and is one of the most widespread and important cereals in the world. In 2023, world wheat production amounted to 789 million tons. Thanks to its high content of gluten proteins, which are key to the formation of dough, wheat has an irreplaceable role in the production of pastries, pasta and many other foods. Barley is mainly used in malting, rye is used to make flours for rye pastries with a characteristic taste, and oats are becoming an increasingly popular food in terms of healthy nutrition. Nowadays, ancient types of wheat are growing in popularity. Ancient types of wheat, such as einkorn, emmer and spelt, have a higher content of polyphenolic substances (spelt wheat 1081.1 µg/g, emmer 961.1 µg/g), which makes them desirable within healthy eating trends. They are characterized by better adaptability to adverse soil and climatic conditions, but they have lower yields compared to modern species. Over the last century, interest in specific types of cereals has expanded, which has led to the breeding of new species and the development of varieties of wheat with colored grains. The colour is caused by the high content of carotenoids and anthocyanins (range 2.6-42.9 mg/kg) in the cereal grain, which allows to achieve the yellow colour of the endosperm, purple pericarp, blue aleurone or black grain. Due to the accumulation of color pigments, colored wheats show higher antioxidant activity. New hybrid crops created by crossing wheat with barley (tritordeum) or rye (triticale) represent a so-called bridge transmitting the beneficial characteristics of both parents from a nutritional point of view and production. Their benefits were identified in the context of their potential to contribute to dietary diversity and increase yields and resistance to adverse conditions.

Overall, cereals play a key role in feeding the population, whether through traditional or newly bred species. Ancient and modern varieties of cereals are important in ensuring food diversity, they are essential for improving the ability to adapt to adverse conditions and the nutritional value of cereals. These properties increase their importance for health and prevention of lifestyle diseases, including cardiovascular diseases, type 2 diabetes mellitus or colorectal cancer prevention, which can contribute to better nutrition of people around the world.

Keywords: einkorn; wheat with colored grain; spelt; triticale; tritordeum; human nutrition

Obsah

1 Úvod	7
2 Cíl práce.....	8
3 Charakteristika obilovin	9
4 Anatomická stavba obilného zrna	10
4.1 Obalové vrstvy.....	10
4.2 Endosperm.....	11
4.3 Klíček.....	11
5 Chemické složení a nutriční význam obilného zrna	12
5.1 Sacharidy	12
5.1.1 Škrob.....	13
5.1.2 Neškrobové polysacharidy.....	14
5.2 Bílkoviny	16
5.2.1 Albuminy a globuliny	17
5.2.2 Prolaminy a gluteliny.....	17
5.3 Sekundární metabolity	19
5.4 Výživová doporučení spojená s konzumací obilovin	22
6 Druhy obilovin.....	23
6.1 Pšenice	23
6.1.1 Pšenice setá.....	25
6.1.2 Pšenice tvrdá.....	26
6.1.3 Starověké druhy pšenice	26
6.1.4 Pšenice s barevnými zrny	28
6.2 Žito.....	30
6.3 Ječmen.....	32
6.4 Oves	34
6.5 Hybridní druhy obilovin.....	36
6.5.1 Triticale.....	37
6.5.2 Tritordeum	39
7 Závěr	42
8 Literatura.....	43
9 Seznam tabulek	51
10 Seznam obrázků	52

1 Úvod

Obiloviny jsou základem lidské stravy po tisíciletí a hrají klíčovou roli v potravinářském průmyslu. Jako hlavní zdroj sacharidů, především škrobu a vlákniny, bílkovin, vitaminů a polyfenolických látek, představují obiloviny nezbytnou složku vyvážené stravy.

Pšenice, ječmen, žito, oves a tritikale jsou řazeny mezi obiloviny I. skupiny. Každá z těchto plodin má své jedinečné vlastnosti, které je vzájemně odlišují a činí z nich nezbytné suroviny pro různé potravinářské využití. Pšenice je díky vysokému obsahu lepkových bílkovin a schopnosti vytvářet elastické těsto klíčovou potravinou nejen pro pekárenské výrobky, ale i pro výrobu těstovin a kuskusu. Ječmen, tradičně využívaný pro výrobu piva a jako bohatý zdroj vlákniny, nachází své místo také ve výrobě zdraví prospěšných potravin. Žito, s jeho charakteristickou tmavou barvou a bohatou chutí, je základem pro specifické žitné pečivo. Oves, ceněný pro svůj vysoký obsah rozpustné vlákniny a příznivý vliv na snižování cholesterolu, se stává stále populárnější plodinou pro moderní výživu, kde je preferován ve formě ovesných vloček ve snídaňových cereáliích.

V dnešní době roste zájem o staronové a moderně vyšlechtěné druhy obilovin. Tyto obiloviny, které byly dlouho opomíjeny nebo naopak nedávno vyšlechtěny, se stávají středobodem zájmu nejen z důvodu jejich nutričních vlastností, ale i kvůli odolnosti vůči nepříznivým podmínkám a méně náročnému pěstování.

2 Cíl práce

Formou literární rešerše zpracovat přehled o významu obilovin pro výživu člověka se zvláštním důrazem na „staronové“ druhy a naopak na moderní/nově vyšlechtěné genotypy s unikátními nutričními vlastnostmi.

3 Charakteristika obilovin

Obilniny patří k nejstarším plodinám pěstované člověkem a jsou nezastupitelnou složkou potravy pro celou populaci (Caballero et al. 2005). Slouží především jako zdroj energie a v menší míře jako zdroj bílkovin (Gabrovská et al. 2015).

Dle archeologických nálezů je počátek pěstování obilnin datován již 8-5 tis. let př. n. l. V oblasti takzvaného úrodného půlměsíce rozprostírající se v okolí řek Eufrat a Tigris (dnešní Turecko, Sýrie, Egypt a Jordánsko) byly nejvíce pěstovány plané traviny, které daly později vzniknout obilninám. Lidé začali pěstovat především pšenici jednozrnku (*Triticum monococcum*), dvouzrnku (*Triticum dicoccum*) a ječmen (*Hordeum spontaneum*), který byl vyšlechtěn v ječmen setý (*Hordeum vulgare*). Pšenice se dále vyvíjely v pšenici setou (*Triticum aestivum*) (Beranová 2005). Nejdříve byla konzumována mouka, polévka, moučná kašovitá směs a v pozdějších dobách kváskový chleba. Obilniny byly velmi významnou plodinou ve starověké Číně, odkud byly obilniny převezeny do Evropy (Kučerová 2015).

Mezi nejznámější obiloviny využívané v potravinářství patří pšenice, ječmen, oves, žito, rýže, proso nebo kukuřice (Diviš et al. 2010). Diviš et al. (2010) rozděluje obilniny na dvě základní skupiny podle botanických, morfologických a fyziologických znaků, vlastností či náročnosti na agroekologické podmínky. Rozdělení je shrnuto v Tabulce 1.

Tabulka 1: Rozdělení obilovin (Diviš et al. 2010, upraveno)

skupina I.	skupina II.
pšenice – <i>Triticum</i>	kukuřice – <i>Zea</i>
žito – <i>Secale</i>	proso – <i>Panicum</i>
ječmen – <i>Hordeum</i>	čirok – <i>Sorghum</i>
oves – <i>Avena</i>	rýže – <i>Oryza</i>
žitovec – <i>Triticale</i>	mohár a čumíza – <i>Setaria</i>
	pohanka – <i>Fagopyrum</i>

Pro první skupinu je charakteristická obilka, která má na jedné straně rýhu a stéblo obilnin patřící do první skupiny je duté, na rozdíl od stébla druhé skupiny, které je vyplněné dřevinou. U první skupiny dochází k vytvoření více zárodečných kořinek rostoucích současně, kdežto u druhé skupiny je kořínek pouze jeden. Rostliny první skupiny jsou méně náročné na teplo, ale potřebují dostatečnou závlahu. Jejich počáteční vývin je mnohem rychlejší. Značným rozdílem je i schopnost první skupiny tvořit ozimé i jarní formy (Diviš et al. 2010).

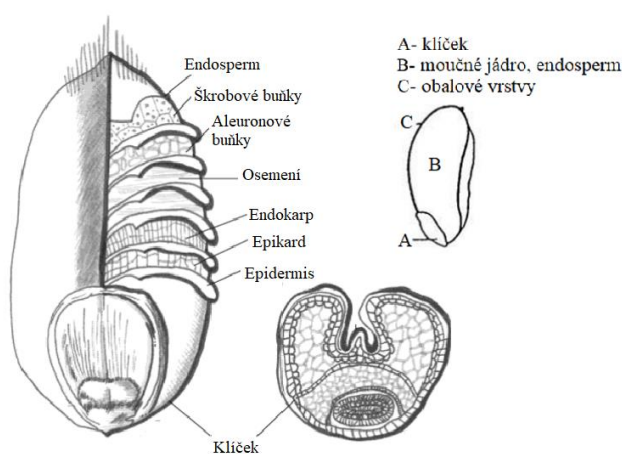
V současné době jsou obiloviny významnou surovinou pro mnohá technologická zpracování nejen pečárenské. Jedná se například o surovinu pro výrobu alkoholických nápojů, především v pivovarnictví, nebo potravinářských přísad jako jsou škroby či sirupy. Mimo uplatnění v lidské výživě jsou obiloviny ve velké míře využívány jako krmiva pro hospodářská zvířata (Caballero et al. 2005). V potravinářství jsou velmi přínosné i pseudoobiloviny. Do této skupiny patří např. merlík, amarant, quinoa. Zrna pseudoobilovin mají podobné využití v potravinářství jako obiloviny. Jejich zásobní látkou je škrob, stejně tak u obilovin. Velkým rozdílem je ale to, že neobsahují lepkové bílkoviny, proto jsou vhodná pro lidi trpící nesnášenlivostí lepku (Gabrovská et al. 2015).

4 Anatomická stavba obilného zrna

Plod obilnin je obilka neboli obilné zrnko (lat. *caryopsis*). Tento typ suchého nepukavého plodu je nazýván jednoosemenná nažka (Gabrovská et al. 2019).

Obilná zrna mohou být nahá, ale některá jsou obalena pluchou. Nahá obilka se vyskytuje například u pšenice, žito nebo kukuřice. U prosa, rýže a ječmene je obilka obalena pluchou, která obilku chrání před vnějšími vlivy. Plucha je odstraňována při mlýnském zpracování (Gabrovská et al. 2015).

Obilné zrnko (viz Obrázek 1) je rozděleno do tří částí, z nichž každá má nezastupitelnou roli. Obalové vrstvy slouží jako mechanická ochrana, endosperm je vnitřní živné jádro a klíček tvoří zárodečnou frakci (Gabrovská et al. 2015).



Obrázek 1: Anatomická stavba obilného zrna (Arendt & Zannini 2013, upraveno)

Jednotlivá zrna se liší hlavně tloušťkou jednotlivých vrstev a velikostí (viz Tabulka 2) (Kopáčová 2007).

Tabulka 2: Rozdíly ve velikosti a hmotnosti tisíce zrn (HTZ) různých obilovin (Kopáčová 2007, upraveno)

Obilovina	Délka (mm)	Šířka (mm)	HTZ (g)
Pšenice	5-8	2,5-4,5	27-48
Žito	4,5-10	1,5-3,5	15-40
Ječmen	8-14	1,0-4,5	32-36
Oves	6-13	1,0-4,5	32

4.1 Obalové vrstvy

Obalové vrstvy neboli ektosperm, tvoří cca 8 % hmotnosti zrna. Vyznačují se vysokou mechanickou odolností, aby dostatečně chránily obilné zrnko před vnějšími vlivy (Gabrovská et al. 2015). Obalové vrstvy jsou tvořeny pluchami, osemením (testa) a oplodím (perikarp) (Kopáčová 2007). Na povrchu obilky se nachází velmi tuhá vláknitá struktura, označována jako plucha. Plucha je tvořena hemicelulózami, ligninem, celulórou a bílkovinami (Gabrovská et al. 2019).

Svrchní vrstva obilky se nazývá oplodí (perikarp). Perikarp se sestává z vnější pokožky (epidermis), vnější vrstvy podélných buněk (epikarp), příčných buněk (mezokarp) a vrstvy vnitřních hadovitých buněk (endokarp) (Kučerová 2015). Svrchní vrstva je formována především nerozpustnou a hůře bobtnající celulórou, která chrání zrna před vlivy vody a toxických látek (Kopáčová 2007).

Osemení (testa) je složeno z hyalinní vrstvy, která je tvořena sklovitými buňkami, a dalších dvou vrstev tenkostěnných buněk. Tenkostěnné buňky k sobě přiléhají. Mezi nimi jsou uložena barviva utvářející různorodou barvu obilky od žlutohnědé až po červenou (Kučerová 2015).

Obalové vrstvy slouží k udržení dostatečné vlhkosti zrna, jelikož obsahují velký podíl polysacharidových látek. Společně dávají vzniknout tuhé, ale houževnaté vrstvě. Dle Gabrovské et al. (2019) jsou otruby tvořeny obalovými a podobalovými vrstvami zrna po odstranění částic endospermu. Otruby jsou vedlejším produktem při mlýnském zpracování používaným jako součást krmných směsí pro drůbež a ostatní hospodářská zvířata (Gabrovská et al. 2015).

Přechod mezi obalovými vrstvami a endospermem je nazýván aleuronová vrstva, též vnější endosperm. Vyznačuje se velkými buňkami s vysokým obsahem bílkovin, nicméně tyto bílkoviny nejsou lepkotvorné. Buňky aleuronové vrstvy obsahují arabinoxylany, glukomannany a galaktomannany (Jurkaninová 2017). Ze všech vrstev obilného zrna obsahuje aleuronová vrstva největší podíl vitaminů a minerálních látek- zinek, hořčík, vápník a železo. Jedná se především o vitaminy skupiny B a vitamin E. Aleuronová vrstva není při mlýnském zpracování zpravidla oddělována od endospermu (Kučerová 2015).

4.2 Endosperm

Endosperm tvoří největší část zrna. Zaujímá cca 85 % celkové hmotnosti a představuje nejdůležitější část obilky pro technologické zpracování (Kopáčová 2007). Endosperm je tvořen velkými hranatými buňkami s poměrně slabou membránou (Kučerová 2015). V buňkách je zastoupen především škrob, ale jsou zde i bílkoviny, které zaujímají asi 10 % endospermu (Tauferová et al. 2014).

4.3 Klíček

Klíček, též embryo, je hlavní zárodečná frakce, která nese genetickou informaci (Caballero et al. 2005). Je to nejmenší část zrna, i když se jeho velikost různí u jednotlivých druhů obilnin, např. u pšenice představuje necelá 3 % a u kukuřice přes 12 % (Kučerová 2015). Je hodnotným zdrojem nejen tuků, ale i bílkovin, v tucích rozpustných vitaminů, sacharidů a enzymů. Kvůli nízké stabilitě na vzduchu a následné oxidaci tuků je klíček při mlýnském zpracování odstraněn, aby nezpůsobil vady produktu, jako je žluknutí, a nezhorsil senzorickou kvalitu (Kopáčová 2007).

5 Chemické složení a nutriční význam obilného zrna

Obiloviny jsou základní potravinou poskytující významné množství energie, jsou zdrojem mikro a makro živin klíčových pro většinu lidí po celém světě (Aisbitt et al. 2008). Zrno pšenice obsahuje základní nutriční složky, konkrétně bílkoviny, tuky, sacharidy, vlákninu a minerální látky, z nichž jsou nejhojněji zastoupeny vápník, železo, hořčík, fosfor, draslík, zinek, měď, mangan a selen. Pšenice je bohatá především na vitaminy skupiny B. Je vnímána jako primární zdroj rostlinných bílkovin v lidské stravě (De Santis et al. 2018).

Složení závisí na druhu a odrůdě obilniny, oblasti pěstování, resp. klimatických podmínkách (dostatečná vláhá, sucho). Člověk může ovlivnit složení zrna použitou agrotechnikou, vybranou dobou setí nebo řádným hnojením a dostatečnou závlahou. Právě voda je velmi důležitou součástí obilného zrna, jelikož ke všem fyziologickým procesům, činnostem enzymů, růstu a dozrávání je voda nepostradatelnou součástí (Landolfi & Blandino 2023).

Mezi obiloviny s největší světovou produkcí patří pšenice, žito, ječmen, oves, kukuřice a rýže (Landolfi & Blandino 2023). V Tabulce 3 je následně popsáno, jak se liší obsah nutričních složek v jednotlivých výrobcích z pšenice (Caballero et al. 2005).

Tabulka 3: Obsah nutričních složek v pšeničných výrobcích; hodnoty na 100 g (čerstvé hmoty) (Caballero et al. 2005; upraveno)

	Celozrnná mouka	Bílá chlebová mouka	Otruby	Bílý chléb	Celozrnný chléb	Nevařené těstoviny	Vařené těstoviny
Energie (kJ)	1320	1452	872	1002	915	1473	411
Voda (g)	14	14	8,3	37,3	38,3	9,7	75,9
Sacharidy (g)	63,9	75,3	26,8	49,3	41,6	74,9	20,9
Bílkoviny (g)	12,7	11,5	14,1	8,4	9,2	12	3,2
Tuky (g)	2,2	1,4	5,5	1,9	2,5	1,9	0,6
Vláknina (g)	9	3,1	36,4	1,5	5,8	3	1

Energetická hodnota obilovin přímo souvisí s obsahem hlavních nutričních složek, jako jsou sacharidy, přičemž škrob a ostatní sacharidy mají hodnotu 17 kJ/g, bílkoviny 17 kJ/g a tuky 37 kJ/g obsažených v potravinách (Gabrovská et al. 2019).

5.1 Sacharidy

Obiloviny a obilné výrobky jsou ve výživě člověka jedním z hlavních zdrojů sacharidů (Caballero et al. 2005). Z chemického hlediska jsou sacharidy stabilní organické molekuly skládající se z uhlíku, vodíku a kyslíku. Sacharidy jsou děleny na mono- a oligosacharidy, škroby a neškrobové polysacharidy (Lunn & Buttriss 2007) a jsou významným zdrojem energie (Caballero et al. 2005).

Největší podíl obilného zrna tvoří polysacharidy. Sacharidy jsou zastoupeny v každé části obilného zrna (Jurkaninová 2017) a jejich zastoupení se liší v závislosti na druhu obilniny a části zrna (viz Tabulka 4) (Kopáčová 2007). Klíček je charakteristický přítomností

redukujících monosacharidů a oligosacharidů, jako je glukóza, maltóza, fruktóza nebo rafinóza. Obsahuje ale také glykoproteiny a arabinoxylany. Největší podíl sacharidů se nachází v endospermu (až 80 %), v tomto případě se jedná o škrob (Jurkaninová 2017).

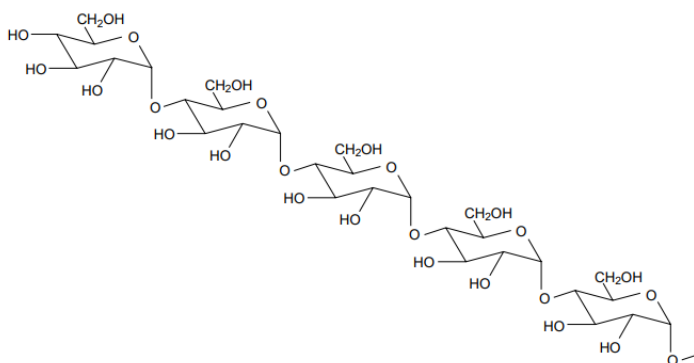
Tabulka 4: Podíl hlavních skupin sacharidů v některých cereáliích (Kopáčová 2007; upraveno)

Typ sacharidů	Pšenice			Ječmen	Oves	Žito
Podíl	Zrno	Mouka	Otruby	Zrno	Zrno	Zrno
Škrob	53	65- 74	14,1	54- 63	43- 64	52
Amylóza % ze škrobu	17- 27	-	-	2,1–8,3* 25–30	25 -29	27
Celulóza	-	0,3	35	-	-	-
Hemicelulózy	-	2,4	43	-	-	-
β-glukany	0,34- 1,4	-	-	-	2,5- 6,6	1,9

*voskový

5.1.1 Škrob

Škrob je zásobní polysacharid, který představuje hlavní složku sušiny obilovin. Jeho obsah v zrně se liší v závislosti na druhu obiloviny a pohybuje se v rozmezí 55- 75 %. Vyskytuje se zde ve formě škrobových zrn (Jurkaninová 2017). Škrob se skládá ze dvou frakcí- amyλόzy a amylopektinu. Vzhledem k rozdílné chemické struktuře amyλόzy a amylopektinu se liší fyzikálními a chemickými vlastnostmi. Amyλόza je rozpustná ve vodě, zatímco amylopektin vodě pouze bobtná. Amyλόza je nerozvětvený lineární řetězec složený z glukózových podjednotek, které jsou spojené α-1,4- glykosidovou vazbou (viz Obrázek 2). V rozvětveném amylopektinu se vyskytují glukózové jednotky spojené α-1,6- i α-1,4- vazbou. Převážná většina obilných škrobů obsahuje 20- 30 % amyλόzy a zbytek tvoří amylopektin. Avšak existují tzv. voskové odrůdy, u nichž se vyskytuje škrob s výraznou převahou amyλόzy, která může tvořit až 80 % z celkového škrobu (Caballero et al. 2005).



Obrázek 2: Pět jednotek α-1,4-D-glukopyranózy z molekuly škrobu (amyλόzy) (Caballero et al. 2005; upraveno)

Škrob má dvě velmi významné funkce, které jsou uplatňovány při pečárenské výrobě. U výrobků vytváří během pečení škrobový elastický gel, díky němuž zůstává pečivo jemné a vláčné. Škrob je nezbytný pro správné kynutí těsta, jelikož je zdrojem kvasných sacharidů (Kučerová 2015).

Škrob je rozdělen do tří kategorií dle stravitelnosti. Různé typy škrobu jsou v gastrointestinálním traktu tráveny odlišnou rychlostí v závislosti na původu škrobu a zpracování potraviny. Rychle stravitelný škrob (rapidly digestible starch- RDS) je štěpen na glukózu již v ústní dutině a slouží jako pohotový zdroj energie. Štěpení se účastní enzym slinné žlázy ptyalin a v duodenu napomáhá štěpení amylolytický enzym α -amyláza. RDS se vyskytuje např. ve světlém pečivu a jeho přítomnost úzce souvisí s hodnotou glykemického indexu, jelikož škrob je rychle rozkládán na glukózu, což způsobuje rychlé zvýšení hladiny glukózy v krvi a právě RDS zvyšuje hodnotu glykemického indexu (Villarroel et al. 2018).

Druhým typem škrobu je pomalu stravitelný škrob (slowly digestible starch- SDS). Vyznačuje se pomalým nárůstem postprandiální glykemie. Konzumace SDS má příznivé účinky na regulaci metabolismu sacharidů i lipidů a navozuje pocit sytosti (Villarroel et al. 2018).

Třetím typem je rezistentní škrob (resistant starch- RS), který je odolný vůči trávení v tenkém střevě (Villarroel et al. 2018). Sluková et al. (2020) definují rezistentní škrob jako škrob, jež není absorbován v tenkém střevě zdravého jedince, ale je částečně fermentován mikrobiotou tlustého střeva. RS může být metabolizován na karboxylové kyseliny s krátkým alifatickým řetězcem, jako je propionová a octová kyselina. Tyto kyseliny snižují pH v tlustém střevě, což vytváří ideální podmínky pro žádoucí střevní mikrobiotu. Ovlivňují metabolismus glukózy či lipidů a jsou absorbovány do krevního řečiště. RS snižuje hodnotu glykemického indexu daných potravin, jelikož je glukóza uvolňována do krevního oběhu postupněji (Sluková et al. 2020).

5.1.2 Neškrobové polysacharidy

Neškrobové polysacharidy jsou pestrá skupinou látek, které nejsou tráveny lidskými trávicími enzymy (Cummings & Englyst 1995; Lunn & Buttriss 2007). V tlustém střevě ovlivňují metabolismus epitelových buněk a plní převážně stavební funkci rostlin (Caballero et al. 2005).

V buněčných stěnách všech rostlin se vyskytuje pektin. Základní struktura pektinu je tvořena lineárním řetězcem obsahujícím 25 až 100 jednotek D-galakturonové kyseliny, které jsou spojené β -(1,4) glykosidovými vazbami. Tři hlavní typy pektinu- homogalakturonan, rhamnogalakturonan-I a rhamnogalakturonan-II- jsou přítomny v buněčných stěnách rostlin. Tvoří především mechanickou oporu a bariéru pro průnik nežádoucích látek. Jednotky galakturonové kyseliny jsou různými způsoby methylovány a některé β -D-galaktopyranuronáty a methyl-(β -D-galaktopyranuronáty) jsou acetylovány v pozici C-2 nebo C-3. Pektiny mohou pomáhat regulovat trávicí procesy, jelikož ve střevech tvoří gelovitou hmotu. Tato vlastnost může pomoci zpomalit trávení a absorpci sacharidů, což přispívá k stabilnější hladině glukózy v krvi. Dále pektiny mohou podporovat růst prospěšných bakterií ve střevě, což má pozitivní vliv na celkové zdraví střev (Willats et al. 2001). Dle Nařízení komise (EU) č. 432/2012 pektiny přispívají k udržení normální hladiny cholesterolu v krvi a jejich konzumace spolu s jídlem přispívá k omezení nárůstu hladiny glukózy v krvi po jídle.

Další polysacharidy, které se vyskytují v buněčných stěnách, jsou β -glukany. Vyplňují prostory mezi celulóзовými vlákny. Molekula β -glukanu se obvykle skládá z glukózových jednotek spojených mezi sebou β -glykosidovými vazbami (Sluková et al. 2017). Obsah β -glukanů se liší v závislosti na konkrétní odrůdě obilovin a klimatických podmínkách. V ovsu či v ječmeni se β -glukany vyskytují převážně v endospermu a aleuronové vrstvě, naopak např. v pšenici jsou β -glukany hlavní součástí obalových vrstev (Sluková et al. 2017). Fyzikálně-chemické vlastnosti β -glukanů jsou závislé na jejich původu. Rozpustnost těchto látek ve vodě převážně souvisí s jejich strukturou a klesá s vyšším počtem vazeb β -(1-4) (Duss & Nyberg 2004). Dle Duss a Nyberg (2004) přítomnost obou typů vazeb (β -(1-3) a (1-4)) brání pevnému uspořádání řetězců ovesných β -glukanů, což umožňuje jejich rozpustnost ve vodě a snadnou stravitelnost. β -glukany ovlivňují metabolismus cholesterolu a lipoproteinů v krvi. Mají schopnost upravovat střevní mikrobiom a podporovat regeneraci střevní sliznice. Výrazného snížení hladiny plazmatického nízkodenzitního cholesterolu (low density lipoprotein- LDL) je možné dosáhnout s denním příjmem přibližně tří gramů β -glukanů (Duss & Nyberg 2004; Izydorczyk & Dexter 2008). Účinky β -glukanů spočívají ve snižování absorpce glukózy, což vede k nižší koncentraci glukózy v krvi (Lam & Cheung 2013), dokonce účinky β -glukanů jsou spojovány se snížením rizika rakoviny tlustého střeva (Izydorczyk & Dexter 2008). Díky schopnosti vázat vodu, vytváří β -glukany viskózní gel (Sluková et al. 2017).

Nejrozšířenějším β -glukanem v přírodě je celulóza. Tento strukturní polysacharid rostlin je jednou z hlavních složek tzv. nerozpustné vlákniny. Jedná se o lineární polymer, skládající se z několika stovek tisíc D-glukózových jednotek spojených β -(1-4) glykosidovými vazbami. Celulóza tvoří hlavní strukturní složku obalových vrstev obilných zrn. Je součástí buněčných stěn (Caballero et al. 2005). Obsah celulózy v pšeničném endospermu je pouze 0,2- 3 % (Sluková & Blažková 2017), v endospermu ječmene 4 % a v ovesném více než 10 % (Kučerová 2015). V samotných otrubách se procento celulózy pohybuje okolo 30 - 35 % (Sluková & Blažková 2017). Přídavek celulózy do těsta v drcené nebo práškové formě snižuje schopnost vázat vodu a ovlivňuje pevnost a pružnost těsta (Kučerová 2015).

Inulin je polysacharid řazený mezi fruktany. Jedná se o sloučeninu s D-fruktofuranosovými jednotkami spojenými vazbou β -(2-1) na anomerním uhlíku C-2 zakončená jednotkou glukózy (Caballero et al. 2005). Díky β - konfiguraci na anomerním uhlíku odolává inulin hydrolýze trávicími enzymy v žaludku a tenkém střevě (Roberfroid 2005). Díky své chemické struktuře je ale snadno přístupný a rozložitelný mikroorganismy disponujícími enzymy, jež mohou efektivně rozložit vazby inulinu. V tlustém střevě následně dochází k rychlé fermentaci inulinu, což vede k tvorbě mastných kyselin s krátkými řetězci (short-chain fatty acid- SCFA), které jsou mimo jiné zdrojem energie pro střevní epitelové buňky, zvyšují vstřebávání minerálních látek a pozitivně ovlivňují metabolismus glukózy (Roberfroid 2005).

Inulinové fruktany tvoří společně s oligofruktózany nízkokalorické sacharidy (6,3 kJ/g) (Roberfroid 2005). Jejich přidání do potravin přispívá ke křehkosti a jemnosti, například

u extrudovaných potravin a umožňuje udržet vláčnost pečiva po delší dobu (Blažková & Sluková 2017).

Neškrobové polysacharidy tvoří společně s ligninem obilnou vlákninu (Cummings & Englyst 1995; Caballero et al. 2005). Codex Alimentarius (2008) definuje vlákninu jako uhlovodíkové polymery, které nejsou tráveny ani vstřebávány v tenkém střevě lidského organismu.

Dle rozpustnosti ve vodě lze vlákninu rozdělit do dvou skupin na rozpustnou a nerozpustnou, přičemž jejich zastoupení ve stravě by mělo být 3:1 (Menis-Henrique et al. 2020). Rozpustná vláknina, též nazývaná bobtnavá, snadno zadržuje vodu a vytváří viskózní roztok, který je z části fermentován v tenkém střevě a následně zcela fermentován v tlustém střevě díky střevní mikrobiotě (Aisbitt et al. 2008; Blažková & Sluková 2017). Viskózní trávenina způsobuje snížení hladiny cholesterolu v krvi, jelikož zahušťuje obsah střevního lumen, což vede ke zpomalování migrace živin a mj. i k zabránění zpětnému vstřebávání žlučových solí a cholesterolu do krve (Davison & Temple 2017). Rozpustná vláknina slouží jako substrát pro růst mikroorganismů, působí jako prebiotikum (Bjorck et al. 2012), celkově napomáhá imunitě organismu (Blažková & Sluková 2017) a umožňuje tvorbu mastných kyselin s krátkým řetězcem, které poskytují energii střevním epitelialním buňkám, snižují pH, podporují vstřebávání vápníku, hořčíku a železa a pozitivně ovlivňují metabolismus glukózy a lipidů v játrech (Davison & Temple 2017). Druhým typem je nerozpustná vláknina. Funkce nerozpustné vlákniny spočívá v ovlivnění peristaltiky střev, zvýšení objemu, změkčení stolice a zkrácení doby průchodu střevním traktem (Aisbitt et al. 2008).

5.2 Bílkoviny

Bílkoviny jsou chemické struktury skládající se z aminokyselin. Jednotlivé aminokyseliny jsou navzájem spojené peptidovou vazbou -NH-CO- a společně utvářejí polypeptidový řetězec. Aminokyseliny jsou děleny na esenciální a neesenciální. Esenciálních aminokyselin jsou přijímány pouze z potravy, jelikož je tělo nedokáže samo syntetizovat. Esenciálních aminokyselin je osm a jsou jimi valin, leucin, isoleucin, lysin, tryptofan, threonin, fenylalanin a methionin. Naopak neesenciální aminokyseliny si tělo dokáže samo vytvořit. 11 proteinogenních aminokyselin je neesenciálních a do této skupiny jsou řazeny např. cystein, glutamin nebo asparagová kyselina (Gabrovská et al. 2019).

Z výživového hlediska lze dělit bílkoviny na plnohodnotné a neplnohodnotné. Plnohodnotné bílkoviny obsahují vyvážené množství esenciálních a neesenciálních aminokyselin. Jedná se o bílkoviny živočišného původu nacházející se ve vejcích, mléku, ale také v mase. U neplnohodnotných bílkovin nejsou esenciální aminokyseliny zastoupeny v žádoucím poměru, jako je tomu u plnohodnotných bílkovin. Neplnohodnotné bílkoviny jsou převážně rostlinného původu a vyskytují se např. v obilovinách a luštěninách (Gabrovská et al. 2019). Limitující aminokyselina je konkrétně u většiny obilovin lysin, výjimku tvoří žito, u kterého je limitující aminokyselina tryptofan (Sudheesh et al. 2022).

Množství bílkovin v sušině obilovin se pohybuje v rozmezí 8- 15 % (Shewry & Halford 2002). Bílkoviny obilovin patří mezi sférické neboli globulární bílkoviny (Wang et al. 2013). V obilném zrně se vyskytují čtyři druhy bílkovin- albuminy, globuliny,

prolaminy a gluteliny (Kučerová 2015). V Tabulce 5 je popsáno průměrné zastoupení bílkovin u jednotlivých druhů obilovin (Gabrovská et al. 2019).

Tabulka 5: Složení bílkovin obilovin (Gabrovská et al. 2019, upraveno)

Obilovina	Albuminy	Globuliny	Prolaminy	Gluteliny
Pšenice	15 %	7 %	33 % (gliadin)	45 % (glutenin)
Žito	44 %	10 %	21 % (sekalin)	24 % (sekalinin)
Ječmen	12 %	8 %	25 % (hordein)	54 % (hordenin)
Oves	20 %	12 %	14 % (avenin)	54 %

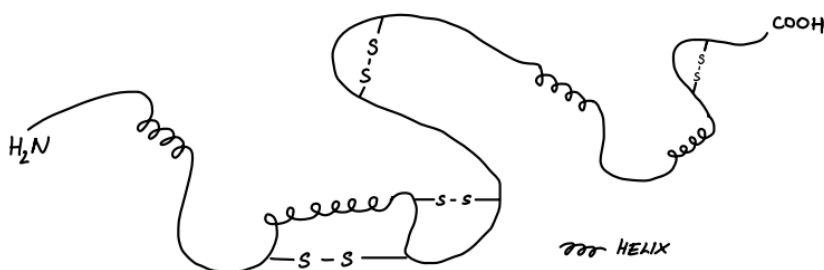
5.2.1 Albuminy a globuliny

Albuminy jsou neutrální bílkoviny rozpustné ve vodě. Albuminy i globuliny teplem koagulují. Slabě kyselé globuliny jsou naopak nerozpustné ve vodě, ale rozpouští se ve zředěných roztocích solí (Pánek 2015). Albuminy a globuliny se vyskytují v klíčku a aleuronové vrstvě, přičemž jejich podíl činí 5- 15 % u pšenice a ječmene. U žita či tritikale je zastoupení albuminů vyšší a pohybuje se okolo 40 % (Kučerová 2015).

5.2.2 Prolaminy a gluteliny

Zásobní bílkoviny, tedy prolaminy a gluteliny jsou obsaženy hlavně endospermu obilného zrna (Wang et al. 2013; Kučerová 2015). Tvoří převážnou většinu bílkovin zrna cca 70- 80 % (Pánek 2015). Tyto frakce jsou nejvíce zastoupenými a udávají nutriční, technologickou a biologickou hodnotu obilných bílkovin (Kučerová 2015).

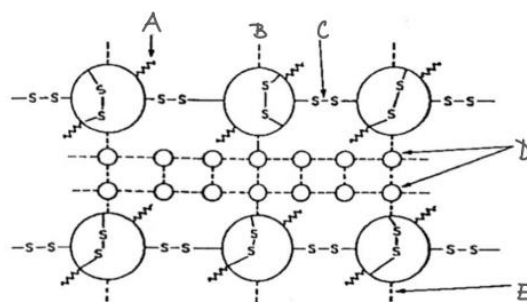
Prolaminy jsou hlavní zásobní bílkoviny obilovin (Shewry & Halford 2002; Sudheesh et al. 2022). Rozpouští se v ethanolu a nekoagulují teplem (Pánek 2015). Gliadin je název pro prolamin pšenice, prolamin žita (*Secale*) je sekalin, prolamin ječmene (*Hordeum*) je nazýván hordein a prolamin ovesa (*Avena*) avenin (Gabrovská et al. 2019). Gliadin je nízkomolekulární skladovací pšeničný protein. Struktura gliadinu (viz Obrázek 3) tvoří polypeptidový řetězec, ve kterém se střídají krátké spirálovitě stočené úseky (označovány jako alfa- helix) s hydrofobními zbytky s vysokým obsahem prolinu a kyseliny glutamové. Struktury jsou udržovány vodíkovými a disulfidovými můstky (Kučerová 2015).



Obrázek 3: Schéma struktury gliadinu (Kučerová 2015, upraveno)

Gluteliny, vysokomolekulární frakce lepku, patří mezi významné bílkoviny endospermu (Kučerová 2015; Gabrovská et al. 2019). Jedná se látky částečně rozpustné ve zředěných

roztocích kyselin a zásad. Mají schopnost koagulovat teplem jako albuminy a globuliny. Obsahují obvykle velké množství glutamové kyseliny (Gabrovská et al. 2015). Gluteliny pšenice (gluteniny) vytvářejí tzv. polymerní proteinovou síť. Kučerová (2015) a Zang et al. (2022) popisují strukturu gluteninu, která je odlišná od struktury gliadinu (viz Obrázek 4). Nízkomolekulární řetězce (D) jsou uvnitř spojeny vodíkovými a disulfidovými můstky. Z vnější části jsou propojeny pouze vodíkovými můstky a vyskytují se zde hydrofobní síly (E). Složky s vysokou molekulovou hmotností (A) tvoří dva typy disulfidových vazeb resp. vnitřetězcové (B) a meziřetězcové (C) (Zang et al. 2022; Kučerová 2015). Tato polymerní proteinová síť zajišťuje těstu pružnost a soudržnost, naproti tomu gliadiny dodávají těstu viskozitu a tažnost (Zang et al. 2022).



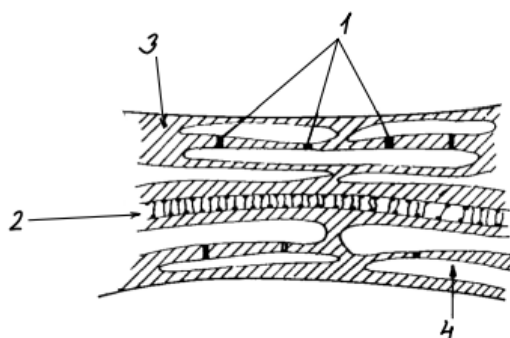
Obrázek 4: Schéma struktury gluteninu (Kopáčová 2015, upraveno)

A- podjednotky gluteninu II, B- disulfidové vazby uvnitř řetězce, C- mezi řetězci disulfidové vazby, D- gluteninové podjednotky I, E- sekundární vazby (vodík, hydrofobní interakce)

Obiloviny obsahují lepkové bílkoviny, které při technologickém zpracování, jako je výroba či hnětení těsta, vytvářejí lepek (Shewry & Halford 2002).

Lepek neboli gluten představuje přibližně 80 % proteomu obilného zrna (Zang et al. 2022). V dietologii je lepek definován jako komplex bílkovinných frakcí nacházející se v endospermu pšenice, žita, ječmene, ovsa nebo jejich kříženců a derivátů, na kterou mohou mít některé osoby nesnášenlivost (Codex Alimentarius, nařízení Komise (ES) č. 41/2009).

V technologickém slova smyslu je lepek tvořen dvěma frakcemi- gluteliny a prolaminy (viz Obrázek 5) (Wieser 2006), které se liší rozpustností v roztoku etanolu a vody (Kučerová 2015, Zang et al. 2022). Dohromady jsou obě frakce schopny tvořit gelovou strukturu těsta a mají významný vliv na technologické zpracování těsta, přičemž výsledné vlastnosti těsta se odvíjejí právě z poměru glutelinů a prolaminů (Landolfi & Blandino 2023). Lepek je charakterizován specifickými fyzikálními vlastnostmi, jako je spojitost, pružnost a výrazná roztlačnost. V pekárenských technologiích jsou zásadními vlastnostmi vysoká schopnost absorbovat vodu (až trojnásobek své hmotnosti) (Wieser 2006) a vytvářet filmy, které mají přímý vliv na kynutí těsta (Caballero et al. 2005).



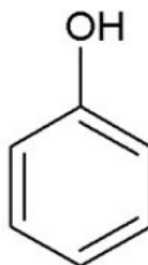
Obrázek 5: Schéma struktury hydratovaného lepkového vlákna (Kučerová 2015, upraveno) 1- vodíkové můstky, 2- lipoproteinová vrstva, 3- vodné fáze, 4- bílkovinné desky

Přestože vyšší obsah lepku v zrna umožňuje vytvoření lepší struktury těsta, konzumace potravin s vysokým obsahem lepku může vést k potížím s trávením (Michalcova et al. 2012). Onemocnění spojené s lepem je nazýváno celiakie neboli nesnášenlivost lepku (Landolfi & Blandino 2023).

5.3 Sekundární metabolity

Obiloviny nejsou pouze významným poskytovatelem základních makroživin, ale jsou zdrojem dalších zdraví prospěšných látek, sekundárních metabolitů, jako jsou polyfenolické látky (Paznocht et al. 2021).

Polyfenolické látky, zkráceně polyfenoly, jsou rostlinnými antioxidanty. Všechny polyfenoly mají společný strukturní znak, kterým je přítomnost aromatického jádra s minimálně jednou navázanou hydroxylovou skupinou (viz Obrázek 6). Tato vlastnost jim umožňuje účinně reagovat s volnými radikály a chránit tak buňky před poškozením. Polyfenolické látky jsou děleny dle chemické struktury na jednoduché fenoly, fenolické kyseliny, antokyany, kumariny, flavonoidy, stilbeny, lignany, ligniny, taniny a další (Zhou et al. 2023). Jednotlivé polyfenoly se mohou vzájemně spojovat nebo být vázány na sacharidy, organické kyseliny, aminy a lipidy, což je u obilovin uplatňováno např. při navázání makromolekul jako je arabinoxylóza, celulóza a lignin (Podloucká & Polišenská 2021). Spektrum polyfenolů se liší podle druhu a odrůdy obiloviny, stejně jako dle podmínek pěstování (Xiang et al. 2019).



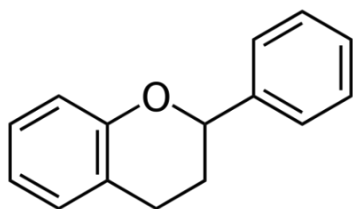
Obrázek 6: Fenol – aromatické jádro s navázanou hydroxylovou skupinou

Polyfenoly jsou uplatňovány v růstu a reprodukci, umožňují ochranu proti UV záření, škůdcům a patogenním organismům. Mohou přispívat lidskému organismu jako protizánětlivé látky (Zhou et al. 2023). V rostlinných potravinách ovlivňují barvu, chuť, vůni, stravitelnost

a oxidační stabilitu, což je uplatňováno při dlouhodobém skladování (Podloucká & Polišenská 2021).

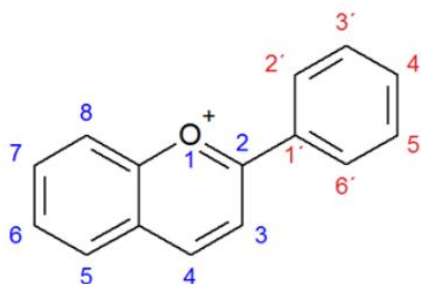
Nejrozšířenějším druhem polyfenolů v obilovinách jsou fenolické kyseliny (Shewry & Hey 2015). Ty jsou odvozeny od *p*-hydroxybenzoové kyseliny (např. vanilová, gallová kyselina) nebo hydroxyskořicové (například ferulová, kávová či sinapová kyselina). Fenolické kyseliny se převážně vyskytují v obalových vrstvách zrna, kde jsou buď volně přítomné, nebo vázané na buněčnou stěnu. Vázané formy kyselin tvoří 85-95 % celkového množství fenolických kyselin v obilovinách, přičemž jsou nejhojněji zastoupené ferulová kyselina a její dimery (Xiang et al. 2019)

Rozšířenou skupinou polyfenolů přítomnou v obilovinách jsou flavonoidy, jejichž struktura je odvozena od flavanu (viz Obrázek 7) (Podloucká & Polišenská 2021). Flavonoidy jsou dále rozděleny na osm hlavních skupin podle strukturních modifikací- anthokyanidiny, aurony, chalkony, flavony, flavonoly, flavonony, isoflavonoidy, stilbeny a taniny. V obilných zrnech jsou nejvíce zastoupeny flavony a anthokyany, které se nacházejí především v obalových vrstvách zrna (Zhou et al. 2023).



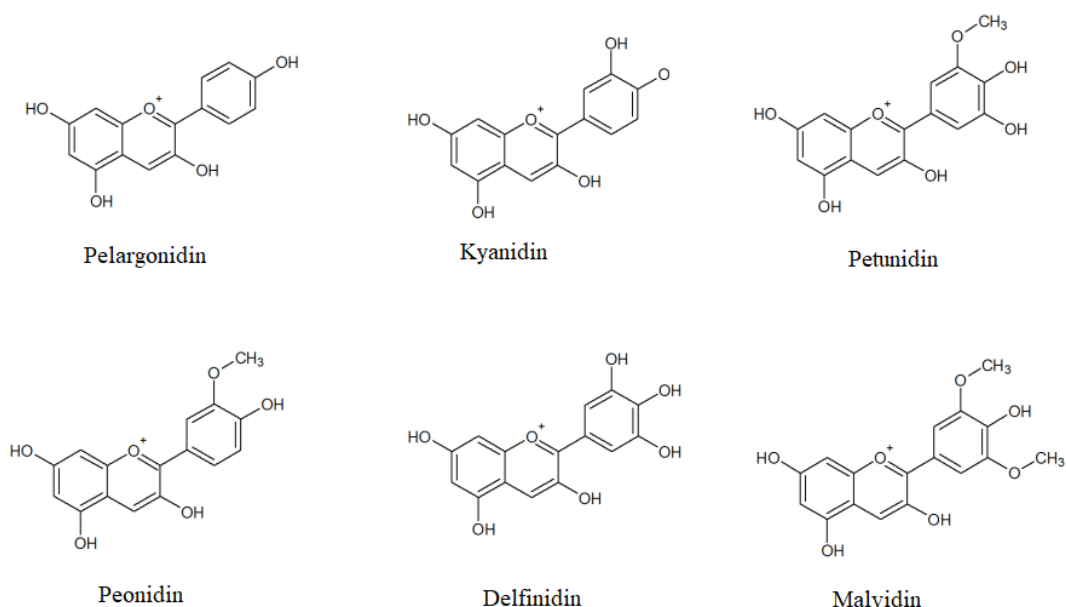
Obrázek 7: Flavan – základní jednotka flavanoidů a strukturní modifikace v heterocyklu flavanu

Standardní barva obilného zrna je označována jako červená. Toto zbarvení je důsledkem přítomnosti fenolických sloučenin a hlavně taninů (tríslovin) (Martinek 2021). Anthokyany představují přírodní rostlinné pigmenty vykazující široké rozmezí barev od červené po modrou (Ficco et al. 2014). Tyto pigmenty se nachází ve vnějších částech zrna (perikarp, aleuron) (Lachman et al. 2017; Paznocht et al. 2020). Z chemického hlediska se jedná o deriváty anthokyanidinů. Ve sloučeninách je ale nahrazen poloacetalový hydroxyl necukerným zbytkem, též nazývaný jako aglykon (anthokyanidin). Anthokyanidiny jsou odvozeny od flavyliového kationtu obsahujícího konjugované vazby, na němž je navázaná v poloze C- 4' hydroxylová skupina (viz Obrázek 8) (Gençdağ et al. 2022).



Obrázek 8: Flavyliový (2-fenylbenzopyryliový) kation

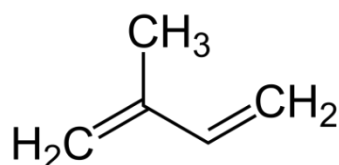
Další anthokyanidiny se liší v poloze navázání na kationt. V poloze C-3 a C-5 je možnost navázání vodíku, methoxyskupiny či samotné hydroxylové skupiny. Mezi dietárně nejvýznamnější antokyanidiny patří pelargonidin (oranžový, růžový, červený), kyanidin a peonidin (fialový, karminový), delphinidin a petunidin (purpurově modrý, světle morý a fialový), či malvidin (purpurový až modrý) (viz Obrázek 9), jejichž barva je významně ovlivněna hodnotou pH (Gençdağ et al. 2022).



Obrázek 9: Chemické struktury vybraných antokyanidinů

Karotenoidy jsou pigmenty rozpustné v tucích, které jsou syntetizovány v rostlinách, houbách, bakteriích a řasách. Na rozdíl od rostlin a jiných organismů, zvířata a lidé získávají karotenoidy ze stravy (Eggersdorfer & Wyss 2018). Karotenoidy se vyznačují žlutou až červenou barvou (Gabrovská et al. 2019) a v obilném zrna se karotenoidy vystytují ve vnitřní části obilného zrna (Lachman et al 2017; Paznocht et al. 2020).

Karotenoidy jsou z chemického hlediska řazeny mezi terpenoidy. Tyto jednotky jsou odvozeny od izoprenu (2-methylbuta-1,3-dien) (viz Obrázek 10). U karotenoidů se konkrétně jedná o tetraterpeny, jejichž základní strukturu tvoří osm izoprenových jednotek. Karotenoidy s nenasycenými uhlíky jsou nazývány karoteny. Karotenoidy obsahující v molekule atomy kyslíku deriváty karotenů jsou xantofyly. Barva zrna pšenice je dána 86-94% zastoupením xantofylu luteinu, jenž zapříčiňuje žluté zbarvení. Ostatní karoteny (α -karoten, β -karoten), zeaxanthin a izomery luteinu jsou zastoupeny ve velmi malém množství (3-5 %) (Martinek 2021).



Obrázek 10: Chemická struktura izoprenu

Karotenoidy jsou pro člověka významné z hlediska estetiky, výživy a zdraví. Karoteny slouží jako provitaminy tzv. prekurzory vitamínu A (retinolu), navíc jsou klíčové pro správnou činnost sítnice v oku (Kotíková et al. 2016; Gabrovská et al. 2019). V lidském těle poskytují širokou škálu zdravotních výhod. Mezi tyto výhody patří antioxidační účinky, protizánětlivá aktivita a posílení imunitního systému. Tyto funkce karotenoidů mají pozitivní dopad na kognitivní funkce a zdraví kardiovaskulárního systému (Eggersdorfer & Wyss 2018).

5.4 Výživová doporučení spojená s konzumací obilovin

Výživová doporučení pro Českou republiku jsou shrnuta v dokumentu *Výživová doporučení pro obyvatelstvo České republiky*, který byl vydán Ministerstvem zdravotnictví v roce 2005. Jedná se o jediný oficiální dokument týkající se výživy člověka. V doporučení je zahrnuto deset bodů, které se týkají správné výživy pro děti i dospělé. Bod číslo 5 se týká obilovin a říká: „Nahrazení výrobků z bílé mouky výrobky z mouky tmavé nebo celozrnné z důvodů snížení příjmu energie a zvýšení příjmu ochranných látek“. Nabádá k vyšší konzumaci potravin s nižším glykemickým indexem (do 70), což jsou například luštěniny, celozrnné pečivo, neloupaná rýže a těstoviny (Společnost pro výživu 2021).

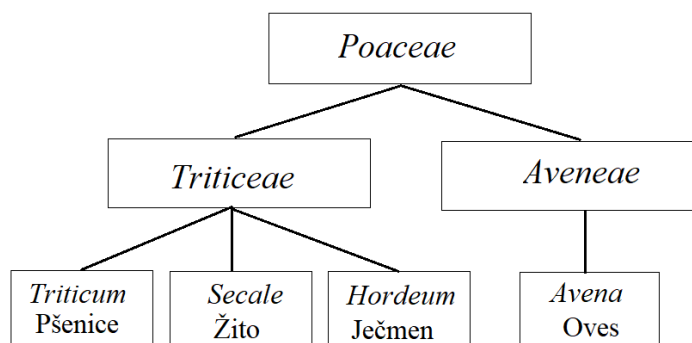
V roce 2021 Společnost pro výživu vydala dokument s názvem Zdravá 13. Doporučení jsou zaměřena na dospělé lidi, děti a osoby starší 70 let, ale i na specifické skupiny, jako jsou těhotné a kojící ženy. Tento koncept je zaměřený na propagaci zdravého životního stylu, který zdůrazňuje důležitost třinácti klíčových aspektů pro udržení dobrého zdraví. Jsou zde zahrnuty body jako důležité živiny, fyzická aktivita, dostatečný spánek, hydratace, omezení konzumace alkoholu a cukru. V bodu č. 5 je zmíněn dostatečný přísun celozrnných výrobků (Společnost pro výživu 2021).

Česká republika přijala dokument od komise Evropských společenství *Strategie pro Evropu týkající se zdravotních problémů souvisejících s výživou, nadváhou a obezitou* (bílá kniha). Podle Světové zdravotnické organizace (World Health Organization- WHO) by bylo možné předejít 40 % případů rakoviny a 80 % případů onemocnění srdce, diabetu mellitu 2. typu nebo cévních mozkových příhod, pokud by byly vyloučeny rizikové faktory, jako je například konzumace alkoholu, kouření, nedostatek spánku a především nevhodné stravovací návyky. WHO také uvádí, že naprostá většina faktorů, které mají negativní vliv na lidské zdraví, je spojena s výživou (Společnost pro výživu 2021).

Dostatečná konzumace obilovin, obzvláště konzumace celozrnných obilovin, je klíčová v prevenci onemocnění spojených s trávicí soustavou, jako je rakovina tlustého střeva (Aisbitt et al. 2008), ale také poskytuje prevenci ischemické choroby srdeční (Kelly et al. 2007) a diabetu (Aisbitt et al. 2008).

6 Druhy obilovin

Obiloviny I. skupiny se z botanického hlediska řadí mezi vyšlechtěné traviny patřící do čeledi jednoděložných rostlin lipnicovité (*Poaceae*) (Diviš et al. 2010). Jedná se o jednoděložné rostliny, které jsou následně rozděleny na menší taxonomické skupiny (viz Obrázek 11). Pšenice, žito či ječmen náleží do skupiny *Triticeae* a oves je řazen do skupiny *Aveneae*.



Obrázek 11: Schéma taxonomie obilovin (Skřivan 2015, upraveno)

6.1 Pšenice

Pšenice dominuje již několik tisíciletí jako klíčová plodina určená především pro lidskou výživu po celém světě (Kopáčová 2007, Skřivan & Sluková 2017). Je základní složkou stravy pro více než třetinu lidské populace (Hálová & Faměra 2015). Křivka produkce pšenice na celosvětové úrovni roste, aby uspokojila zvětšující se poptávku (Gabrovská et al. 2015).

V roce 2022 dosáhla světová produkce pšenice více než 700 milionů tun (SZIF 2022). Dle Organizace pro výživu a zemědělství (Food and Agriculture Organization of the United Nations- FAO) v roce 2023 vzrostla světová produkce pšenice a dosáhla tak 789 milionu tun (FAO 2024). Podle údajů Českého statistického úřadu (ČSÚ) dosáhla spotřeba pšenice na osobu v roce 2022 v České republice hodnoty 119,4 kg. V následující tabulce je shrnutý vývoj spotřeby pšenice a výrobků z ní (v kg) na osobu od roku 2013.

Tabulka 6: Spotřeba potravin v kg na obyvatele za rok (Český statistický úřad 2022, upraveno)

Rok	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Pšenice	122,5	119,5	122,1	124,1	122,7	124,3	124,4	121,7	116,3	119,4
Pšeničná mouka	95,6	93,2	95,2	96,8	95,7	96,9	97,0	94,9	90,7	93,2
Pšeničné pečivo	51,2	52,7	47,9	50,1	50,4	51,3	51,7	51,3	52,4	53,9

Pšenice je jedinečná komodita odlišující se od ostatních obilovin svými technologickými vlastnostmi a zpracováním (Skřivan & Sluková 2017). Pro pšeničnou mouku je charakteristická schopnost vytvářet během hnětení těsta specifickou gelovitou strukturu. Tato vlastnost závisí na složení a struktuře lepkotvorných bílkovin pšeničného endospermu. Podobné bílkovinné složky jsou přítomny i v endospermu jiných obilovin, jako je žito, ječmen a oves, ale kvůli nižšímu zastoupení a nevhodnému poměru lepkových bílkovin nemají stejnou schopnost vytvářet gelovitou strukturu jako pšenice (Skřivan 2015; Sluková & Skřivan 2016).



**Obrázek 12: A- pšenice setá (*Triticum aestivum*),
B- pšenice tvrdá (*Triticum durum*) (autor: Holubová Dana)**

Existují různé genotypy pšenice, které se liší svou schopností přizpůsobit se agronomickým podmínkám. Kvalita zrna pšenice se mj. odvíjí od klimatických a agronomických podmínek, jako je kvalita půdy a použitá agrotechnika (Sluková & Skřivan 2016). Hodnocení kvality zrna je často prováděno na základě vhodnosti pro mlýnské a pekárenské účely (Caballero et al. 2005). Pšeničné obilky jsou děleny do kategorií silné nebo slabé. Tyto termíny charakterizují kvalitu mouky z hlediska množství lepkových bílkovin. Ze silné mouky je často pečen chléb s velkým nárůstem objemu a dobrou strukturou. Důvodem je množství a kvalita lepkových bílkovin, které jsou pro chléb klíčové. Naopak mouky ze slabých zrn nejsou vhodné pro chlebové výrobky, ale mohou být dále smíchány se silnými moukami, jelikož smícháním je umožněno výrobcům lépe manipulovat s vlastnostmi těsta a dosáhnout tak požadované textury u mouk ze slabých zrn, popřípadě mohou být využity pro jiné nekynuté výrobky (Caballero et al. 2005).

Jedním z nejrozšířenějších způsobů zpracování pšenice je výroba mouky. Bílá neboli světlá mouka je vyráběna mletím čistého endospermu, od kterého je oddělen klíček i obalové vrstvy (Sluková & Skřivan 2016). V primárním zpracování pšenice je hlavním cílem získat pouze škrobnatý endosperm (Caballero et al. 2005). Výtěžnost mouky závisí na efektivitě mletí, přičemž obvykle se pohybuje rozmezí 75- 81 % (Caballero et al. 2005). Škrob v mouce existuje jak v nativní podobě celých zrn, tak v podobě zrn s rozdílnými stupni poškození, které jsou způsobeny buď mechanickými úpravami při mletí, nebo tepelnými úpravami následným zpracováním těsta. Poškození škrobových zrn může nastat také v důsledku enzymatické hydrolýzy během skladování či zrání pšenice (Skřivan & Sluková 2017). Klíčovým prvkem ovlivňujícím kvalitu pšeničné mouky a následně její vhodnost

pro sekundární zpracování je především poměr gliadinů a gluteninů, který by měl být přibližně 2:3. Jejich poměr v pšenici seté se pohybuje v okolo 1,5 : 3,1 (Gazza et al. 2023). Do sekundárního zpracování pšenice je zahrnuta pekařská a těstářenská výroba (Skřivan & Sluková 2017).

Z taxonomického hlediska se pšenice řadí k rodu *Triticum*. Je pěstováno nepřehledné množství druhů pšenice, z nichž nejvýznamější je především komerčně významná pšenice setá a pšenice tvrdá (Kopáčová 2007).

6.1.1 Pšenice setá

Nejběžnějším moderním druhem pšenice, který je rozšířen po celém světě, je pšenice setá (*Triticum aestivum*). Tvoří asi 95 % celkové produkce pšenice. Jedná se o hexaploidní druh, který je také nazýván jako „běžná“ nebo „chlebová“ pšenice (Shewry & Hey 2015). Celkově pšenice setá zaujímá 80- 90 % osevní plochy pšenice na světě (Hálová & Faměra 2015; Caballero et al. 2005)

Přestože je pšenice setá obilnina s dlouholetou tradicí, počátkem neolitu byla ve střední Evropě méně častá. Příčinou byly větší nároky na podmínky pěstování oproti např. méně náročné pšenici jednozrnce. Pro její pěstování byla zapotřebí především úrodná půda. Nepříznivé podmínky pro pěstování pšenice seté byly zaznamenány během středověku, kdy nebyla vyspělá agrotechnika a docházelo k vyčerpání a zaplevelování dříve úrodné půdy. Až začátkem 20. století byla intenzivněji pěstována pšenice setá, což bylo umožněno pokrokem v agrotechnologii, zlepšených metodách obdělávání půdy a hnojením (Beranová 2005). Na přelomu 20. a 21. století se stala obilovinou globálního významu a předstihla objemem zpracování i rýži (Skřivan & Sluková 2017).

Obilka pšenice seté se vyznačuje hladkým povrchem. Plevy a pluchy mají tvar vejčitý nebo podlouhle vejčitý s výrazným kýlem. Obilky jsou nahé, zaoblené, s jemně vystouplým klíčkem a na protilehlé straně jsou ochmýřené (Kopáčová 2007).

Vznik pšenice seté je vysvětlován přirozeným zkřížením planých trav. Před půl milionem let došlo ke křížení diploidní plané trávy *Triticum urartu* nesoucí genom AA ve dvou sadách po sedmi chromozomech, s podobným diploidním druhem trávy, který měl genom BB také ve dvou sadách po sedmi chromozomech. Výsledkem byl neplodný diploidní kříženec s genomem AB a 14 chromozomy. Po zdvojení chromozomů tohoto křížence došlo ke vzniku plané tetraploidní pšenice *Triticum turgidum*, jenž nesla genom AABB a čtyři sady po sedmi chromozomech. Tento jedinec se odlišoval tím, že narozdíl od předchozích byl již plodný. Je pravděpodobné, že na dalším vývoji tohoto křížence se podílel člověk, kdy byly selektovány vhodné vlastnosti a byla vyšlechtěna pšenice tvrdá. Před deseti tisíci lety došlo ke zkřížení *Triticum turgidum* (AABB) s dalším diploidním druhem *Aegilops tauschii* nesoucím genom DD. Kříženec byl neplodný a po následném zdvojení AABBDD vznikl allohexaploid odlišující se od rodičovského genomu. Po umělé selekci lidmi došlo ke konečnému vzniku pšenice seté (Hálová & Faměra 2015).

6.1.2 Pšenice tvrdá

Pšenice tvrdá (*Triticum durum*) je méně rozšířeným druhem pšenice oproti pšenici seté. Představuje 5 % z celkové pěstované pšenice na světě a v roce 2016/2017 byla její světová produkce okolo 40 mil tun (Beres et al. 2020). Tato obilnina byla domestikována z primitivního druhu pšenice (*Triticum turgidum dicoccum*) v oblasti úrodného půlměsíce přibližně před 8000 lety (Robbana et al. 2019), odkud se rozšířila převážně do jižní Evropy (Beranová 2005). Všeobecně je pěstována v oblasti kolem Středozemního moře a v prostředí s obdobnými klimatickými podmínkami, jelikož je tato tetraploidní pšenice adaptována na horké a suché podmínky (Shewry & Hey 2015).

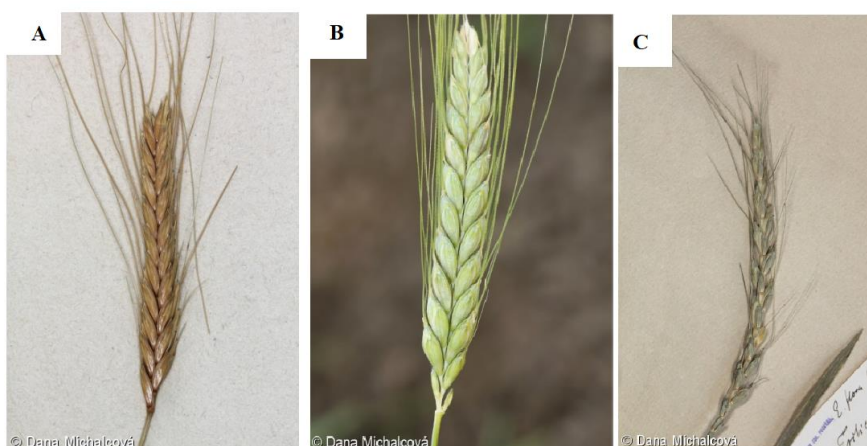
Pšenice tvrdá je charakteristická svou tvrdou a lesklou obilkou (Kopáčová 2007). Má vyšší obsah bílkovin oproti pšenici seté (min. 14 %) (Garrido et al. 2013). Charakteristicky tvrdý endosperm zrna pšenice tvrdé má vliv na mlynářské a pekařské vlastnosti během zpracování. Tvrdost či měkkost endospermu je dána genetickými předpoklady dané odrůdy. Rozdíly v tvrdosti mezi různými odrůdami pšenice vycházejí z vazeb mezi škrobovými zrny a zásobními bílkovinami. V tomto případě vyšší obsah bílkovin zapříčiňuje pevnější interakce škrobových zrn s bílkovinami, což způsobuje tvrdší texturu obilky. Tvrdost endospermu ovlivňuje společně s tvarem a velikostí obilky výslednou hrubost mouky. Tvrdá pšenice je velmi vhodnou surovinou pro výrobu krupice a mouky, jenž má charakteristicky žlutou barvu (Finney et al. 1987).

Pšenice tvrdá je využívána především pro výrobu těstovin či kuskusu (Garrido et al. 2013). Těstovinám dodává charakteristickou jantarovou barvu díky obsahu luteinu (2,8 µg/g suché hmotnosti). Pšenice tvrdá je také nazývána jako „těstovinová“ (Shewry & Hey 2015).

Vzhledem k nižším nárokům na zavlažování oproti jiným druhům pšenice, je pšenice tvrdá v suchých oblastech vhodnou volbou, avšak má nižší výnosy. V souvislosti se změnami klimatických podmínek a neustále se zvyšující světovou populací je v současné době ve šlechtění využívána pšenice tvrdá s cílem zvýšit celkovou produkci a využít její potenciál v oblastech s nepříznivými suchými podmínkami. V budoucnu by mohl výzkum vést k vytvoření odolnějších odrůd, které by měly vysoké a stabilní výnosy v suchých klimatických podmínkách (Robbana et al. 2019).

6.1.3 Starověké druhy pšenice

V současnosti jsou starověké druhy pěstovány pouze na menších plochách pro výrobu tradičních produktů. V největším množství je produkována pšenice jednozrnka (*Triticum monococcum*) a dvouzrnka (*T. dicoccum*), hexaploidní pšenice špalda (*T. aestivum* var. *spelta*), či pšenice Khorasan (*T. turgidum* var. *turanicum*). Tyto druhy se liší od pšenice seté tím, že jsou pluchaté, tedy pluchy jsou přirostlé k zrnku a během procesu sklizně nelze pluchy odstranit. Proto je nutné před samotným mletím zrn mechanicky oddělit pluchy loupáním (Shewry & Hey 2015; Hálová & Faměra 2015), což zvyšuje náklady na výrobu (Martinek 2021). Před osmi tisíci lety, v neolitu, představovaly starověké odrůdy výhodné plodiny z hlediska pěstování pro svou schopnost adaptace na chudší půdy. Dodnes mají celkově nižší vstupy v zemědělství a jsou odolnější vůči škůdcům a chorobám (Gazza et al. 2023).



Obrázek 13: A- pšenice jednozrnka (*Triticum monococcum*), B- pšenice dvouzrnka (*T. dicoccum*), C- pšenice špalda (*T. spelta*) (autor: Holubová Dana)

Mezi nejvyžívanější neolitické pšenice patřila pšenice dvouzrnka (Zaharieva et al. 2010). Tento tetraploid byl pěstován na Blízkém východě a ve střední Evropě (Beranová 2005; Hálová & Faměra 2015, Zaharieva et al. 2010). Během let její oblíbenost opadala a postupem času byla nahrazena bezpluchými odrůdami kvůli vyšším výnosům a lepším pekařským vlastnostem. V dnešní době jsou zrna využívána pro výrobu tradičních pokrmů např. v Indii, Etiopii a Jemenu (Zaharieva et al. 2010).

Pšenice jednozrnka je ceněna pro své dobré nutriční vlastnosti, především vysoký obsah bílkovin (13 %) (Hidalgo et al. 2020). Autoři Gazza et al. (2023) a Wieser et al. (2009) porovnali množství a kvalitu lepkových bílkovin v pšenici jednozrnky a pšenici seté. Přestože má jednozrnka srovnatelné množství lepkových bílkovin, vykazuje lepek horší technologické vlastnosti kvůli převaze gliadinů nad gluteniny. U starověkých druhů je jejich poměr mnohem vyšší (dvouzrnka 3,6: 6,7; jednozrnka 4,2: 12,0; špalda: 2,8: 4,0) (Geisslitz et al. 2018). Pšeničná mouka z jednozrnky se vyznačuje tvorbou měkkého těsta s nízkou elasticitou a vysokou roztažností (Gazza et al. 2023, Wieser et al. 2009), proto je vhodná např. pro výrobu nekynutých potravin, sušenek a suchých těstovin (Wieser et al. 2009).

Pšenice špalda (*Triticum spelta*) pochází ze Středního východu. V období 750-15 př. n. l. byly pšenice jednozrnky a dvouzrnky nahrazeny pšenicí špaldou (Escarnot et al. 2012). Jedná se o hexaploid, který je charakteristický svou jemnou oříškovou chutí. Dříve byla hojně využívána pro přípravu chlebových placek. Dnes jsou zrna špaldy zpracovávána na vločky nebo kroupy (Beranová 2005). Ve studii, kterou publikoval Escarnot et al. (2012), byl prokázán u špaldy vyšší obsah bílkovin oproti moderní pšenici (16- 17 %).

Pšenice Khorasan (*T. turgidum* var. *turanicum*) je též známá pod komerčním názvem Kamut. Taxonomicky je řazena jako odrůda pšenice tvrdé. Pochází z oblasti úrodného půlměsíce a poprvé byla zaznamenána na území Perské provincie Khorasan (odtud název). V současné době je pěstování pšenice Khorasan řízeno pravidly a standardy kvůli zachování autentičnosti a kvality této starověké odrůdy. Aby obilovina a výrobky z ní mohly být označovány obchodní známkou Kamut®, musí splňovat následující kritéria stanovená Kamut International a Kamut Enterprises of Europe. Musí se jednat o starověkou pšenici Khorasan,

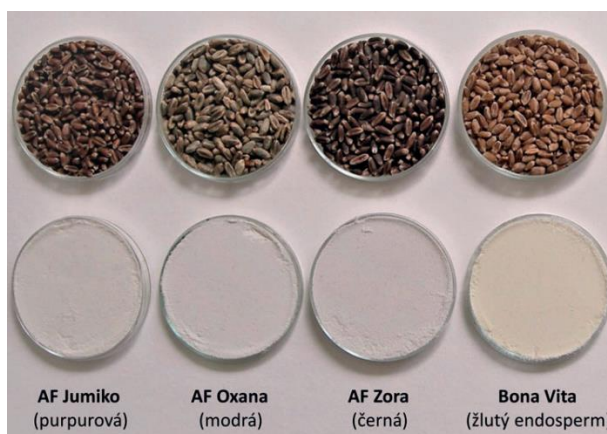
kteřá je pěstována v certifikovaném organickém zemědělství, u níž nedošlo k modifikaci či hybridizaci. Dalším požadavkem je obsah bílkoviny (12- 18 %). Kamut nesmí být kontaminován jinými odrůdami pšenice. Pro využívání obchodní značky Kamut® je nutno podepsat licenci, která zajišťuje dodržování těchto požadavků (Grausgruber et al. 2005; Shewry & Hey 2015).

Většina starověkých druhů obilnin (s výjimkou pšenice Khorasan) se vyznačuje dobrou odolností a tolerancí vůči škůdcům či abiotickým stresům. Tyto starověké plodiny jsou nenáročné na pěstování (Hidalgo & Brandolini 2008; Zaharieva et al. 2010).

Autoři Shewry a Hey (2015) ve své studii shrnuli, zda se liší obsah fenolických látek a luteinu ve starověkých a moderních druzích pšenice. Ve studii od autorů Shewry a Hey (2015) bylo posuzováno celkové množství fenolických kyselin u jednotlivých druhů pšenice, kdy nejvyšší obsah byl zaznamenán u pšenice špaldy v průměru 1081,1 $\mu\text{g/g}$ sušiny (rozmezí 331- 2620,1 $\mu\text{g/g}$ sušiny), dvouzrnky 961,1 $\mu\text{g/g}$ sušiny (rozmezí 508- 2555,3 $\mu\text{g/g}$ sušiny) a jednozrnky 836,3 $\mu\text{g/g}$ sušiny (rozmezí 301,1- 2590,5 $\mu\text{g/g}$ sušiny). U pšenice chlebové byl pozorován obsah fenolických kyselin mírně nižší 750,8 $\mu\text{g/g}$ sušiny (rozmezí 326- 2620 $\mu\text{g/g}$ sušiny) než u starověkých druhů. Starověké druhy mají obdobný obsah fenolických kyselin jako moderní pšenice chlebová. Výrazným rozdílem je vyšší obsah karotenoidu luteinu v jednozrnce, který byl v průměru 7,3 $\mu\text{g/g}$ sušiny (rozmezí 0,7- 12,6 $\mu\text{g/g}$ sušiny) oproti pšenici seté 1,6 $\mu\text{g/g}$ sušiny (rozmezí 0,2- 2,9 $\mu\text{g/g}$ sušiny) (Shewry & Hey 2015).

6.1.4 Pšenice s barevnými zrny

Nynější odrůdy pšenice seté jsou výsledkem intenzivního šlechtění, které vedlo k markantně lepším výnosům, lepším technologickým vlastnostem zrna, zlepšování odolnosti vůči chorobám, stresům a adaptability na abiotické podmínky. Rozšířil se zájem o netradiční až specifické odrůdy obilovin, což vedlo ke vzniku pšenic s barevnými zrny (viz Obrázek 14) (Martinek 2021).



Obrázek 14: Ukázky barev zrna pšenice a barevných odstínů mouky (Martinek 2021)

Klíčovou roli pro šlechtitelské programy s cílem vytvořit tzv. barevné pšenice představovalo hromadění pigmentů v zrna (Lachman et al. 2017). Tyto nové odrůdy se odlišují od tradičních pšenic tím, že mají vyšší obsah fytochemikálií v endospermu,

perikarpu i aleuronu, které zapříčiňují zbarvení zrna. Je možné docílit žlutého zbarvení endospermu, purpurového perikarpu, modrého aleuronu nebo černého zrna, v případě, že jsou zbarveny obě vrstvy zároveň (Lachman et al. 2017; Paznocht et al. 2020).

Antokyany způsobující modré až fialové zbarvení zrn jsou ukládány v aleuronové a perikarpové vrstvě (Lachman et al. 2017; Paznocht et al. 2020). V roce 2011 byla zaregistrována první vyšlechtěná česká odrůda barevné pšenice, ozimá odrůda Skorpion, která se vyznačuje modrým zrnem. Odrůda s purpurovým zrnem, která byla registrována v roce 2014 na Slovensku, byla odrůda ozimé pšenice PS Karkulka. Dalšími vyšlechtěnými odrůdami ozimé pšenice, u nichž je zbarvení způsobeno antokyany, jsou AF Jumiko s purpurovým zrnem, AF Oxana s modrým zrnem a AF Zora s černým zrnem. AF Jumiko představuje první českou odrůdu s purpurovým zrnem. Charakteristické modré zbarvení odrůdy AF Oxana je zapříčiněno přenesením genu z odrůdy Skorpion. AF Zora se vyznačuje netypickým černým zbarvením, které je způsobeno kombinací genů purpurového perikarpu a modrého aleuronu. Je známo také pod názvem „černé zrno“. Odrůda AF Zora je významná z hlediska vysokého obsahu antokyanů (4,3 µg/g). Obsahuje téměř dvojnásobné množství antokyanů oproti AF Oxana (2,2 µg/g). V zrně AF Jumiko dosahují antokyany pouze 0,3 µg/g (Martinek 2021).



Obrázek 15: A- odrůda ozimé pšenice Skorpion s modrým zbarvením zrna; B- odrůda ozimé pšenice PS Karkulka s purpurovým zbarvením zrna

Karotenoidy jsou narozdíl od antokyanů nahromaděny především ve vnitřní části zrna a způsobují žluté zbarvení (Lachman et al. 2017; Paznocht et al. 2020). V roce 2011 byly registrovány první dvě odrůdy pšenice s barevnými zrny a byly nazvány Citrus a Luteus. Další odrůdou se zvýšeným obsahem karotenoidů v endospermu je česká odrůda jarní pšenice Pexeso. Odrůda Bona Vita je charakteristická sytou barvou mouky, jelikož karotenoidy, zejména lutein, přecházejí do mouky, což vede k výraznému žlutému zbarvení (Martinek 2021).

Díky přítomnosti antokyanových barviv, karotenoidů a dalších fytochemikálií mají barevné pšenice vyšší nutriční hodnotu (Lachman et al. 2017; Paznocht et al. 2020; Šebestíková et al. 2023). Příkladem je pšenice s modrým zrnem, která pomáhá s prevencí ukládání tuků, snižuje hladinu cholesterolu, reguluje glykemii a zvyšuje toleranci k inzulinu. Pro lidský organismus je přínosný vyšší obsah zinku v zrně barevné pšenice (Martinek 2021).

6.2 Žito

Žito seté (*Secale cereale*) představuje novější kulturní plodinu, je pravděpodobně mladší než pěstovaná pšenice a ječmen (Hálová & Faměra 2015).

Do první poloviny 20. století bylo žito jednou z nejpěstovanějších plodin na území dnešní ČR. Po druhé světové válce podíl produkce žita klesl a žito bylo nahrazeno pšenicí či ječmenem, jelikož se změnila spotřebitelská preference, pšenice měla vyšší výnosy a širší spektrum využitelnosti (Prugar 2008). V roce 1990 dosáhla celosvětová produkce žita zhruba 30 mil. tun a dle aktuálních průzkumů ČSÚ klesla v roce 2022/23 na 12,06 mil. tun. Český statistický úřad uvedl vývoj roční spotřeby žita a žitné mouky (v kg na osobu) v ČR od roku 2013 (viz Tabulka 7), přičemž v roce 2022 byla spotřeba žita i žitné mouky 11krát nižší než u pšenice (119,4 kg/osobu) a pšeničné mouky. Důvody snížené poptávky jsou pravděpodobně vysoké a nestabilní ceny, či požadavky konzumentů související se změnou stravovacích zvyklostí (Prugar 2008).

Tabulka 7: Spotřeba potravin v kg na obyvatele za rok (Český statistický úřad 2022, upraveno)

Rok	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Žito	11,6	12,0	11,3	11,4	11,0	11,2	10,7	11,2	10,5	10,4
Žitná mouka	9,0	9,6	9,1	9,2	8,8	9,0	8,6	8,9	8,4	8,3

V České republice je žito pěstováno pouze v ozimé formě, ve světě se vyskytuje i v jarní formě (Kopáčová 2007). Žito je výrazně odolnější vůči nepříznivým abiotickým podmínkám než pšenice, proto je často pěstováno ve vyšších nadmořských výškách, zejména v oblastech, kde je kombinováno s bramborami a jinými obilninami. Žito vykazuje v horských oblastech lepší stabilitu výnosu než ostatní obilniny i přesto, že jsou výnosy nižší než na úrodnějších půdách, navíc je pro jeho pěstování potřeba více hnojení a je zde vyšší riziko napadení plísní sněžnou. Žito je ceněno pro svou schopnost přizpůsobit se kyselým půdám (Hálová & Faměra 2015).

Zrno žita má charakteristický podlouhlý tvar s délkou až 1 cm a šířkou obvykle do 3,5 mm. Barva zrna je typicky šedozelená (Hálová & Faměra 2015).



Obrázek 16: Žito seté (*Secale cereale*) (Autor: Holubová Dana)

Žito pravděpodobně pochází ze střední Asie z oblasti Tibetu a Pamíru. Původně byla plevelná rostlina v porostech pšenice, avšak postupem času díky své odolnosti žito převládlo ve vyšších nadmořských výškách. V Evropě bylo žito v menší míře pěstováno v období pozdní doby kamenné a bronzové. Oblíbenosti nabylo až na severu v germánských oblastech od Alp po Skandinávii. Ve středověku a starším novověku bylo ve střední Evropě vyséváno především na méně úrodných polích. Žito představovalo hlavní surovinu pro pečení chleba až do první poloviny 20. století (Beranová 2005; Hálová & Faměra 2015).

Dnes je žito druhou nejvýznamnější chlebovou plodinou v Evropě a představuje nejbližší příbuzný druh k pšenici. Přesto se od sebe různí. Rozdíl je již v primárním zpracování zrna, jelikož u žita nelze efektivně oddělit obalové vrstvy od endospermu jako je tomu u pšenice. Z tohoto důvodu má žitná mouka obvykle tmavší barvu oproti mouce pšeničné (Skřivan 2015).

Důležitou odlišností je obsah celkových a lepkotvorných bílkovin. Velíšek (1999) uvádí zastoupení jednotlivých bílkovinných frakcí v žitu. Obsah glutelinů (v žitu tzv. sekalininů) je stanoveno na 25 %, zatímco prolaminů, neboli u žita sekalinů je 21 %. Zastoupení frakcí je podstatně nižší než u pšenice (33 %, 45 %), což zapříčiňuje zhoršené elastické vlastnosti těsta a celkově odlišnou hrubou strukturu žitného pečiva (Skřivan 2015). Základ žitného těsta tedy netvoří lepek, ve stejném smyslu jako u pšenice, ale jde především o škrob a neškrobové polysacharidy, hlavně pentosany (arabinoxylany) (Pánek 2015). Značný rozdíl je pozorován u žita v obsahu albuminů. Dle Velíška (1999) a Deleu et al. (2020) dosahují albuminy v zrna žita až 44 %, přičemž pšenice má cca 15 %. Albuminy společně s pentosany vytvářejí hůře rozpustné komplexy, které mohou mít za následek sníženou stravitelnost (Velíšek 1999; Deleu et al. 2020).

Žito se vyznačuje svou charakteristickou mírně nahořklou až zemitou chutí a vyšším obsahem esenciální aminokyseliny lysinu (3,5 g/100 g bílkovin) oproti pšenici (2,1 g/100 g bílkovin) (Bushuk 2001; Prugar et al. 2008).

Dobré sytící vlastnosti jsou způsobeny specifickým obsahem vlákniny. V porovnání s pšenicí, ječmenem a ovsem má žito největší zastoupení arabinoxylanů, které tvoří 55 % celkové vlákniny. Díky arabinoxylanům žito vykazuje užitečné vlastnosti pro lidský organismus, mezi něž se řadí prebiotická funkce. Během pekárenského zpracování těsta pro výrobu chleba je uplatňována schopnost absorpce vody a tvorby gelu (Knudsen & Laerke 2010).

Mimo jiné se v žitu nachází antinutriční látky inhibující aktivitu proteáz, které mohou být částečně i toxické. Nejvýznamnějšími antinutričními látkami v žitu jsou alkylresorcinoly (1,43 mg/g) (Michalska et al. 2007). Tyto látky zvyšují viskozitu obsahu střev, zamezují pohyblivosti a snižují účinnost žlučových kyselin a enzymů. Snižují absorpci živin střevní sliznicí a mohou mít negativní vliv na metabolismus sacharidů a tuků. Přestože je ferulová kyselina antioxidant, může být i antinutriční látkou, která je schopna vázat esenciální aminokyseliny a znemožnit tím jejich vstřebatelnost. Do skupiny antinutričních látek žita je dále řazena fytová kyselina vytvářející s kationty vápníku, hořčíku, zinku nebo železa hůře odbouratelné komplexy, které nejsou v trávicím traktu využitelné (Prugar 2008). Na druhou stranu Kalač (2003) uvádí příznivé vlivy fytové kyseliny na lidské zdraví

a popisuje, že tato látka vykazuje antikarcinogenní a antioxidační účinky. Většina antinutričních látek žita je obsažena v obalových vrstvách a při zpracování je z velké části přenesena do otrub. Zbytek je degradován tepelným opracováním či fermentací. Přímá konzumace žitných klíčků a žitných otrub v syrovém stavu není ale doporučována vzhledem k obsahu antinutričních látek (Prugar 2008).

Žito je využíváno v potravinářském průmyslu především pro zpracování na mouku, chléb, sušenky a vločky (Cabalero et al. 2005). Pražené žitné obilky tzv. žitovka sloužila jako náhrada bezkofeinové kávy (Kopáčová 2007; Prugar 2008).

6.3 Ječmen

Ječmen je řazen mezi nejstarší kulturní plodiny. Představuje jednu z prvních domestikovaných obilnin, jejíž historie sahá až do období počátku pěstování pšenice (Lukinac & Jukić 2022). V důsledku vzrůstající spotřeby pšenice, rýže a kukuřice dochází k rapidnímu poklesu poptávky po ječmenu. Výjimku tvoří pivovarnictví, kde potřeba ječmene stále roste (Sullivan et al. 2013). Světová produkce ječmene ve sklizňovém období 2021/2022 činila 147,05 mil. Tun. Druhy rodu *Hordeum* jsou rozšířeny převážně ve středomořských oblastech (Lukinac & Jukić 2022).

Ječmen pochází z oblasti úrodného půlměsíce stejně jako pšenice. V pozdním paleolitu se vyskytoval ječmen v plané formě (*Hordeum spontaneum*) (Lukinac & Jukić 2022). V mezolitu plané druhy ječmene vymizely a na významu získal dnes běžně využívaný ječmen setý (*Hordeum vulgare*). Ve střední Evropě došlo k rozšíření ječmene v pozdní době kamenné a bronzové (Beranová 2005). Ječmen byl zprvu používán jako součást lidské potravy, ale vyvinul se primárně v krmivo a sladovnickou obilovinu (Baik & Ullrich 2008).

Ječmen patří do čeledi *Poaceae* a rodu *Hordeum*. Je reprezentován nejběžnějším druhem ječmen setý (*Hordeum vulgare*). Druhy rodu *Hordeum* jsou řazeny do tří skupin dle počtu chromozomů: diploidní ($2n = 2x = 14$), tetraploidní ($2n = 4x = 28$) a hexaploidní ($2n = 6x = 42$). Pěstované odrůdy ječmene mohou být diploidní nebo hexaploidní, zatímco divoké odrůdy ječmene jsou obvykle diploidní (Lukinac & Jukić 2022).



Obrázek 17: Ječmen setý (*Horedum vulgare*) (Autor: Vobořil Petr)

Ječmen je řazen mezi geneticky nejrozmanitější obilniny, které lze klasifikovat podle několika charakteristik, jako jsou jarní nebo ozimé odrůdy (Lukinac & Jukić 2022), přičemž v České republice je spíše pěstována jarní forma ječmene (Kopáčová 2007). Dle počtu řad v klasu ječmene jsou rozlišovány dva hlavní typy: dvouřadý a šestiřadý. U dvouřadého ječmene jsou plodné pouze střední klásky, zatímco u šestiřadého ječmene jsou plodné i postranní klásky. Následně je ječmen rozdělován na nahé nebo pluchaté druhy, které se vyznačují tím, že zrna jsou pokryta pluchami (Kopáčová 2007; Lukinac & Jukić 2022). Většina druhů je pluchatá, přičemž plucha a pluška jsou spojeny se zrnem (Baik & Ullrich 2008). Pluchy tvoří v průměru 13 % zrna ječmene, ale hodnoty se mohou lišit v závislosti na odrůdě ječmene a podmínkách pěstování (Lukinac & Jukić 2022). V následující tabulce (viz Tabulka 8) jsou shrnuty rozdíly obsahu nutričních látek u ječmene nahého a pluchatého (Oscarsson et al. 1996).

Tabulka 8: Rozdíly v chemickém složení zrna v sušině pluchatého a nahého ječmene (Oscarsson et al. 1996, upraveno)

Chemické složení (%)	Pluchatý ječmen	Nahý ječmen
Škrob	57,7	60,7
Bílkoviny	12,2	15,1
Vláknina	20,6	16,6
β -glukan	4,8	5,7

Díky vhodnému chemickému složení je ječmen považován za funkční složku při vývoji potravin s příznivými účinky na lidské zdraví. Pozitivní vliv ječmene na lidské zdraví je zapříčiněn vlákninou, konkrétně přítomností β -glukanů a rezistentního škrobu (Lukinac & Jukić 2022). Lukinac a Jukić (2022) uvádějí souvislost mezi chemickým složením ječmene a jeho použitím. Ječmen s vysokým obsahem bílkovin je tedy používán pro lidskou výživu nebo jako krmivo pro zvířata. Naopak, ječmen s nízkým obsahem bílkovin je používán k výrobě sladu a následně piva. Celkový obsah bílkovin v ječmeni je variabilní, ale pohybuje se v rozmezí 7- 25 % (Lukinac & Jukić 2022). Průměrný obsah bílkovin ve sladovnickém ječmenu je 12,2 % (Izydorczyk & Mcmillan 2021).

Škrob je kvantitativně nejdůležitější složkou nejen ječmene, ale všech obilovin. Ječmen obvykle obsahuje amylozu a amylopektin v poměru 1:3 (Lukinac & Jukić 2022). Dle poměru amylozy a amylopektinu lze rozdělit druhy ječmene na druhy s běžným poměrem amylozy a amylopektinu (1:3), nízkoamylózové, vysokoamylózové a voskové (Li et al. 2014). Voskové druhy ječmene mají v endospermu velmi malé množství amylozy a obsahují 95- 100 % amylopektinu (Lukinac & Jukić 2022). Škroby voskových druhů ječmene vykazují specifické vlastnosti, jako je snadné pastování, rychlá želatinizace, rychlé enzymatické trávení a pomalá retrogradace, což je proces, při kterém dochází k přeměně gelového škrobu zpět na krystalickou strukturu. Tento ječmen je často považován za lepší surovinu pro vaření piva ve srovnání se škrobem s běžným poměrem amylozy a amylopektinu, protože je snadněji degradován (Li et al. 2014).

Obilka ječmene je cenným zdrojem β -glukanů. V průměru obsahuje 5 % β -glukanů (Prugar 2008). Sluková et al. (2017) uvádí, že zrno ječmene může dosahovat až 11,3 % β -glukanů v sušině zrna. β -glukany jsou v ječmenu rovnoměrně rozmístěny ve všech vrstvách obilky (Sluková 2015).

Zrno ječmene má jasně žlutobílou barvu. Je rovnoměrné, oválné a středně tvrdé (Baik & Ullrich 2008). V České republice je pro přímou spotřebu využíváno pouze malé množství (0,6 % z celkové produkce). Naopak v méně vyspělých zemích např. v Maroku, Etiopii a Iráku je ječmen základní surovinou pro každodenní pokrmy (Prugar 2008).

Různé varianty zrna jsou v potravinářství využívány ve formě krup, vloček, mouky (Lukinac & Jukić 2022). Během procesu broušení (perlování) je odstraněna plucha a následným leštěním je získán perlový ječmen. Tento ječmen je možné použít pro mletí na hrubou mouku (Caballero et al. 2005). Pro výrobu krup z ječmene jsou preferována světlá zrna (Prugar 2008). V Čechách byl pražený ječmen hojně využíván v 18. století pro přípravu kaše (polenty). Později byla nahrazena kukuřičnou kaší (Beranová 2005). V západních zemích je ječmen oblíbenou surovinou přidávanou do snídaňových cereálií, polévek, kaší, pečiva a do dětské výživy. V zemích Blízkého východu a severní Afriky je z ječmene vyráběn pita chleba a kaše. Pečený ječmen je možné využít pro přípravu kávovin jako alternativa bezkofeinové kávy (Prugar 2008).

Ječmen si zachovává svou tradiční roli v oblasti sladovnictví a pivovarnictví po celá staletí (Almaguer et al. 2023). Již ve 3. tisíciletí př. n. l. v Egyptě a v Mezopotámii byl ječmen společně s pšenicí využíván pro vaření piva. Tento nápoj byl rozšířen až k Římanům a Galům, Keltům, Slovanům i Germánům, kteří dodnes uctívají bájněho patrona Gambrina. Pivo bylo připravováno z ovsa či pšenice, ale oblíbenosti nenabývalo, jelikož bylo označováno jako těžké. Naopak pivo z ječmene bylo lehké a jeho chuť byla příjemně nahořklá (Beranová 2005).

Odrůdy ječmene určené pro sladovnictví obvykle vykazují nižší zastoupení β -glukanů. Je využívána např. pluchatá německá odrůda Waxyma s voskovým typem škrobu nebo česká odrůda AF Lucius® a Radegast (Machán et al. 2014).

Sladovnická kvalita ječmene představuje komplex vlastností, které vyjadřují vyrovnanost a úroveň sledovaných sladovnických parametrů. Jakost je ovlivněna ročníkem, místem a množstvím hnojení. V České republice jsou pro hodnocení kvality sladovnického ječmene a z něho vyrobeného sladu používány metody EBC (European Brewery Convention- Evropská pivovarská konvence) a MEBAK (Mittleuropäische Brautechnische Analysenkommission- Středoevropská pivovarsko-technická analytická komise). Kvalita jednotlivých sladovnických odrůd ječmene je hodnocena stupni USJ (ukazatel sladovnické jakosti), které mohou mít rozmezí hodnot 1-9. Vhodné odrůdy pro sladovnické účely jsou hodnoceny stupni 4-9, přičemž hodnoty nad 7 představují nejvyšší kvalitu, naopak odrůdy hodnocené 1-3 jsou pro sladovnický průmysl nevhodné (Prugar 2008).

6.4 Oves

Oves je řazen mezi celosvětově významné obiloviny jak z hlediska potravinářského, tak i z hlediska krmivářského. Představuje relativně mladší druh obiloviny v porovnání

např. s pšenicí a ječmenem. Obliba ovsa u konzumentů se neustále zvyšuje, neboť v současnosti roste preference zdravé, vyvážené a kvalitní stravy (Prugar 2008). Celosvětová roční produkce ovsa ve sklizňové sezóně 2021/2022 činila 22,53 mil. tun (Holopainen-Mantila et al. 2024).

Během neolitu, v němž došlo k rozmachu pěstování obilnin jako pšenice a ječmen, byl oves považován pouze za plevel. Nejčastěji se vyskytovaly druhy oves hluchý (*Avena fatua*) a oves hřebíkatý (*Avena strigosa*) (Beranová 2005). Oves setý (*Avena sativa*) byl pravděpodobně přenesen do Evropy z oblasti Malé Asie až v 5. stol. n. l. jako plevel (Kopáčová 2007). V minulosti sloužil oves jako hlavní součást stravy v severských a východních regionech a také v západní Evropě (Caballero et al. 2005). Oves byl konzumován hlavně ve formě ovesných kaší nebo vloček a postupem času nabyl oblíbenosti v celé Evropě (Beranová 2005).

Největší roční spotřeba ovsa je zaznamenána v severských zemích, kde činí až 20 kg na osobu. Narozdíl ve střední Evropě je spotřeba mnohonásobně nižší (cca 0,8 kg/osobu/rok) (Prugar 2008). Produkce ovsa v ČR v letech 1980- 2001 klesla z původních 300 tis. tun na polovinu. Pro přímé potravinářské využití z toho bylo zpracováno pouze 26 tis. tun, zbytek byl pro krmivářské účely (Kopáčová 2007).

Oves je klasifikován jako nenáročná a odolná obilnina vhodné zejména pro sušší či chladnější oblasti. Oves je možné pěstovat i na půdách, které jsou chudé na živiny (Kopáčová 2007). Z taxonomického hlediska je oves řazen do čeledi lipnicovité (*Poaceae*). Narozdíl od pšenice, ječmene a žita je oves klasifikován jako samostatná vývojová větev *Avenaea*. Nejběžněji pěstovanými variantami jsou oves setý (*Avena sativa*) a oves nahý (*Avena nuda*) (Bouchard et al. 2022). Oves má pluchaté obilky s podlouhlým tvarem. Výjimku tvoří oves nahý, jenž nemá pluchy přirostlé k zrna a při zpracování dojde k odstranění pluchy až z 99 %. Avšak zrno ovsa nahého vykazuje nižší odolnost vůči mechanickému poškození, proto je mnohem méně stabilní při dlouhodobém skladování (Kopáčová 2007).



Obrázek 18: Oves setý (*Avena sativa*) (Autor: Werchan Barbora)

Oves je obilovina, která má významné nutriční a zdravotní charakteristiky, což z něj činí jednu z nejzajímavějších plodin v oblasti výživy a zdraví. Vysoká nutriční hodnota vyplývá z vysokého obsahu bílkovin a polysacharidů (vláknina) (Sluková & Skřivan 2016).

Obsah bílkovin v pluchatém ovsu je 12,1- 16,3 %, zatímco v zrna nahého ovsa je rozmezí 15,2- 23,6 %. Zrno vykazuje příznivé zastoupení jednotlivých aminokyselin, z nichž je nejvíce zastoupen leucin (8,4 g/kg ovsa) a lysin (4,6 g/kg ovsa), což je vyšší hodnota oproti pšenici a žitu (2,1 g a 3,5 g/kg) (Prugar 2008). Oves se vyznačuje značným obsahem glutelinů (54 %). V porovnání s ječmenem je zastoupení glutelinů srovnatelné, avšak u pšenice je procento mírně nižší (45 %). Naopak výrazně nižší zastoupení je pozorováno u ovesných prolaminů (aveninů), které dosahují 10- 14 %, což je téměř poloviční množství než u pšenice (Prugar 2008; Gabrovská et al. 2019). Z pohledu celiakie je příznivý nižší výskyt tzv. toxických sekvencí aminokyselin v rámci celé molekuly prolaminu, než je tomu u pšenice, žita a ječmene. Jako toxické jsou označovány řetězce aminokyselin prolin- serin- prolin- glutamin a glutamin- glutamin- glutamin- prolin. Tyto sekvence aminokyselin byly u ovsa nalezeny také, ale v podstatně nižší frekvenci v rámci celé molekuly proteinu. Avšak rizikem pro celiaky je křížová kontaminace lepkovými bílkovinami z jiných zdrojů během pěstování, sklizně nebo zpracování. Existují však certifikované odrůdy ovsa označené jako „bezlepkové“, které jsou pěstovány a zpracovávány tak, aby byla minimalizována jejich kontaminace (Sluková & Skřivan 2016; Gabrovská 2015).

Vláknina tvoří cca 10 % celkového ovesného zrna. Vedle ječmene je oves velmi dobrým zdrojem β -glukanů. Oves může obsahovat 3,1- 5,8 % β -glukanů (Prugar 2008). Kopáčová (2007) uvádí obsah β -glukanů v rozmezí hodnot 2,5- 6,6 %. V práci Mandová a Skřivan (2017) byl zkoumán vliv přídatku celozrnné ovesné mouky na stárnutí a snižování kvality pekařských výrobků. Chléb obsahující 15 % ovesné mouky projevoval pomalejší proces stárnutí ve srovnání s kontrolním chlebem bez přídatku. Tento jev je pravděpodobně způsoben přítomností β -glukanů v zrnech ovsa, které vážou vodu (Mandová & Skřivan 2017).

Bezpluchý i loupaný oves je nejčastěji využíván pro přípravu RTE cereálií (ready to eat- připravené k jídlu) či samotných ovesných vloček. Metody výroby snídaňových cereálií zahrnují procesy jako je pufování, vločkování či výroba „Granoly“, která je komerčně známá pod názvem müsli. V potravinářství je čím dál více populární tzv. Evropská rýže, což jsou upravená ovesná zrna bezpluchého ovsa, která lze konzumovat syrová jak suchá, či máčená. Z ovsa lze vyrobit i ovesnou mouku, která je přidávána do celozrnného pečiva, kde může z 10- 15 % nahrazovat pšeničnou mouku. Ovesnou mouku lze uplatnit i při výrobě dětských výživných kaší (Kopáčová 2007; Prugar 2008).

6.5 Hybridní druhy obilovin

Šlechtění obilnin je důležitý proces v zemědělství, který se zabývá vylepšováním genetických vlastností plodin, jako je vyšší výnos, odolnost vůči parazitům a chorobám, adaptabilita na podmínky prostředí a kvalita zrna. Tento proces je prováděn prostřednictvím selekce a křížení rostlin s cílem získat nové odrůdy, které lépe splňují potřeby zemědělců

a spotřebitelů. Počátkem 20. století propukl velký zájem o šlechtitelské pokusy mezi pšenicí a jiným druhem obilnin (Landolfi & Blandino 2023).

6.5.1 Tritikale

Úspěšný vývoj hybridní odrůdy mezi pšenicí a žitem vedl ke vzniku triticales (českým názvem žitovec). Základem celého procesu je hybridizace obilnin, při které jsou selektováni potomci s požadovanými vlastnostmi. První tritikale vzniklo spontánním zdvojením chromozomů hybridů vzniklých z křížení pšenice a žita, z nichž vznikl název tritikale spojením slov *Triticum* a *Secale* (Lima-Brito & Guedes-Pinto 1998). Tímto procesem byli vytvořeni vitální F1 potomci, avšak nadále tvořili sterilní potomstvo. Až procesem hybridizace a rozvojem šlechtění, při kterém došlo ke zdvojení chromozomů, vznikl uměle vyšlechtěný amfiploid. U tritikale jsou kombinovány vlastnosti obou rodičovských plodin, což je hojně využíváno v moderním zemědělství (Avila et al. 2021). Při výběru druhu pšenice pro hybridizaci byla zvolena pšenice tvrdá, jelikož při křížení vznikla hexaploidní plodina, která vykazovala lepší stabilitu v reprodukci a vitalitu. Oproti oktoploidním druhům tritikale, jenž vznikly zkřížením s pšenicí setou, vykazovaly nižší plodnost, meiotickou nestabilitu a vysokou frekvenci aneuploidů (Mergoum et al. 2009; Avila et al. 2021; Landolfi & Blandino 2023).

Původním záměrem při šlechtění tritikale bylo vytvoření perspektivní obilniny, která bude mít funkci takzvaného „mostu“ propojujícího potřebné genetické vlastnosti obou rodičovských druhů, jako jsou vyšší výnosy a kvalita zrna z genotypu pšenice a z žita lepší adaptace na prostředí, včetně větší odolnosti vůči chorobám a toleranci vůči stresům. Tato odolnost činí tritikale vhodným pro pěstování v oblastech, kde pěstování běžných obilnin může být obtížné nebo neefektivní (Landolfi & Blandino 2023).

Obilka tritikale má podobnou morfologii jako pšenice, s několika odlišnostmi způsobenými křížením s žitem. Zrna jsou obvykle protáhlého oválného tvaru s mírně zaoblenými hranami. Povrch obilek může být hladký nebo jemně vrásčitý. Mají typicky střední velikost, která se pohybuje mezi velikostí obilek pšenice a žita. Barva tritikale může být různá, včetně odstínů bílé, hnědé, červené nebo žluté. Jejich velikost, tvar a barva mohou být mírně odlišné v závislosti na konkrétní odrůdě (Camerlengo & Kiszonas 2023).



Obrázek 19: Tritikale (Autor: Procházka Ivan)

Výhodou tritikale je dobrý poměr obsahu živin (viz Tabulka 9). Tritikale je podobné pšenici v poměru zastoupení některých nutrientů (např. škrob a amyloza), ale v obsahu polyfenolů či vlákniny je spíše blízký žitu (Camerlengo & Kiszonas 2023).

Tabulka 9: Zastoupení živin v mouce vybraných plodin (Camerlengo & Kiszonas 2023)

	Tritikale	Pšenice	Žito
Sacharidy	>70 %	>70 %	>70 %
Škrob	60- 75 %	64- 80 %	55- 70 %
Amylóza	12,8- 35,1 %	29- 33 %	25- 28,9 %
Bílkoviny	8,6- 16,3 %	11,5- 14,1 %	9,6- 14,5 %
Vláknina	10- 16,3 %	9,6- 15,5 %	13,7- 20,6 %
Lipidy	1- 2,4 %	1- 2 %	1- 2 %
Polyfenoly	0,2- 0,7 %	0,2- 0,4 %	0,4- 0,7 %

Celkový podíl bílkovin v mouce z tritikale (8,6- 16,3 %) je vyšší než v mouce pšeničné (11,5- 14,1 %) a žitné (9,6- 14,5 %) (Camerlengo & Kiszonas 2023). Odlišnosti byly pozorovány i v zastoupení jednotlivých frakcí bílkovin. Studie od Navarro-Contreras et al. (2014) se zabývala porovnáním obsahu bílkovin v substituovaném a kompletním tritikale (viz Tabulka 10).

Pro substituované tritikale je charakteristická modifikace chromozomů na genetické úrovni za účelem zlepšení specifických vlastností plodiny. Proces zahrnuje nahrazení genetických složek rodičovských druhů tritikale jinými geny, jež mohou posílit nebo změnit určité vlastnosti plodiny, jako je odolnost vůči chorobám či výnos. Např. pokud byl nahrazen žitný chromozom 2R chromozomem 2D z pšenice chlebové, vzniklo substituované tritikale s vylepšenými chlebovými vlastnostmi podobajícími se pšenici. Kompletní tritikale vzniklo standardním procesem křížení mezi pšenicí a žitem, aniž by došlo k následnému nahrazení chromozomů R žita. V kompletním tritikale je pšeničný gen D nahrazen žitným genem R, což zapříčiňuje snížený obsah lepku a současně horší kvalitu pečiva (Navarro-Contreras et al. 2014). Dle studie od Navarro-Contreras et al. (2014) jsou kompletní tritikale tolerantnější vůči chorobám a prostředí, proto je nutné zajistit rovnováhu mezi pekařskou kvalitou a vysokým výnosovým potenciálem s odolností.

V článku je uvedena i možnost 50% příměsi mouky z tritikale do pšeničné, aniž by došlo k ovlivnění pekařských vlastností. Tato studie prokázala u tritikale vyšší hodnoty albuminů (38- 45,4 %) a globulinů (19,7- 30,2 %) u tritikale než u pšenice (30,1 % a 16,2 %) a žita (11,3 a 8,2 %). V porovnání s pšenicí a žitem se v tritikale nachází výrazně méně gluteninů (6,8- 9,6 %) (Navarro-Contreras et al. 2014).

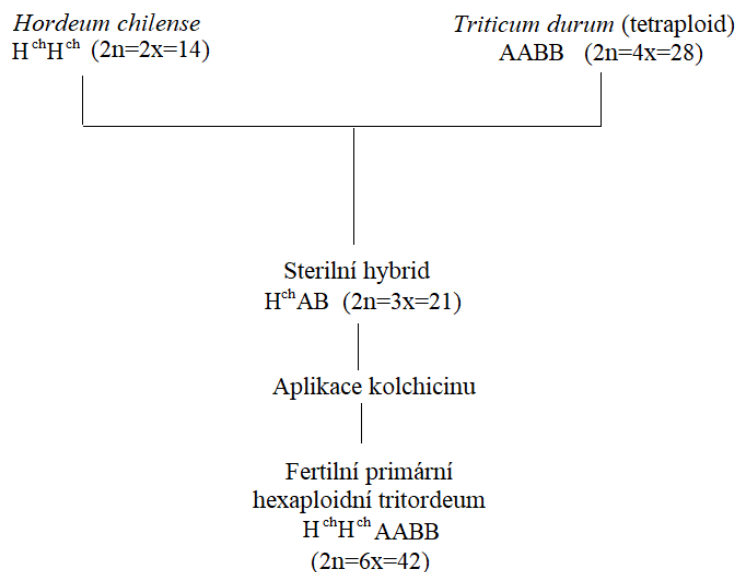
Tabulka 10: Bílkovinné frakce vyjádřené jako procento z celkového obsahu bílkovin (Navarro- Contreras et al. 2014)

Mouka	% celkového obsahu bílkovin	Albumin	Globulin	Gliadin	Glutenin
Pšenice	12,7	30,1	16,2	12,4	23,6
Žito	12,3	11,3	8,2	25,4	29,6
<i>Substituované tritikale</i>					
Duron S	13,0	42,6	26,9	14,9	9,1
Alamos 83	12,7	38,0	19,7	26,1	9,6
<i>Kompletní tritikale</i>					
Tarasca 87	12,9	44,8	20,1	21,0	7,4
Brumby II	13,0	45,4	30,2	11,4	6,8

6.5.2 Tritordeum

K úspěšnému vytvoření další plodné amfiploidní obiloviny došlo při použití ječmene divokého (*Hordeum chilense*). Nově vzniklá hybridní byla pojmenována tritordeum, což představuje spojení názvů rodičovských druhů *Triticum* a *Hordeum* (Avila et al. 2021).

Od roku 1970 byla vyšlechtěna celá řada hybridů tritordea s cílem získat nové vylepšené plodiny. Avšak u vyšlechtěných jedinců se projevily problémy spojené s nízkou úrodností nebo sterilitou. Martín a Chapman poprvé zmínili tritordeum v roce 1977 v publikaci s názvem „*A hybrid between Hordeum chilense and Triticum aestivum*“. Hybridizace tritordea je znázorněna na Obrázku 20. První vyšlechtěný kultivar tritordea byl oktoploid ($2n = 8x = 56$). Donorem pylu byla pšenice chlebová. Oktoploid vykazoval vysokou míru tvorby nově vzniklých aneuploidů a nestabilitu chromozomů (Kakabouki et al. 2020). V následném křížení byla využita pšenice tvrdá, což vedlo ke vzniku hexaploidního tritordea ($2n = 6x = 42$), které celkově vykazovalo lepší agronomické vlastnosti ve srovnání s oktoploidním hybridem. Pro získání vitálního potomstva F1 bylo nutné, aby jedinci vzniklí po oplození ($n = 3x = 28$), byli podrobeni aplikaci kolchicinu pro zdvojení počtu chromozomů. Kolchicin je alkaloid narušující rozchod chromozomů při mitóze (Martín et al. 1999). To umožnilo tvorbu primárních forem hexaploidního tritordea s dobrou fertilitou. Po hybridizaci primárních hexaploidních forem s primární oktoploidní formou vznikla přechodně heptaploidní forma ($7x = 49$), ze které bylo po několika samosprašeních vytvořeno sekundární hexaploidní tritordeum. U těchto sekundárních forem jsou chromozomy kombinací více rodičovských druhů a jsou proto významným zdrojem genetické variability (Avila et al. 2021; Nesvadba 2021; Landolfi & Blandino 2023). Dle Kakabouki et al. (2020) existuje více než 250 linií tritordea. V Evropě jsou pěstovány dvě odrůdy Aucan a Bulel vykazující dobré výnosové vlastnosti (Landolfi & Blandino 2023).



Obrázek 20: Schéma šlechtění tritordea (Martín et al. 1999, upraveno)

V roce 2023 bylo tritordeum pěstováno v Evropské unii přibližně ze 70 % ve Španělsku, 17 % v Itálii a 12 % v Řecku. Vyskytovalo se i v Nizozemsku a Austrálii. Tritordeum je pěstováno především v jižní Evropě, kde je uplatňována dobrá adaptabilita na sucho a zasolené půdy (Landolfi & Blandino 2023). V oblastech okolo Středozemního moře je tritordeum již komerčně využíváno jako součást lidské potravy. Lze z něj vyrobit pizzu, těstoviny, pečivo, sušenky a pivo (Nesvadba 2021). Dle článku Zdaniewicz et al. (2020) má tritordeum velký potenciál pro výrobu piva a slad z tritordea je srovnatelný s ječným sladem (Zdaniewicz et al. 2020).

Tritordeum má srovnatelný cyklus sklizně jako pšenice, proto je možné zařazení této plodiny jako alternativa k jiným obilninám (žito, ječmen) bez velkého přizpůsobování (Landolfi & Blandino 2023). Zvýšená odolnost tritordea vůči škůdcům a chorobám, které běžně postihují ostatní pěstované druhy, je především přisuzována vlivu genu H pocházejícího z ječmene. Tritordeum vykazuje oproti pšenici zvýšenou odolnost vůči hnědé rzi (*Puccinia hordei*), smutnicím (*Ustilago nuda*) a padlí obecnému (*Tilletia caries*). Naopak při pěstování tritordea v oblastech mírného pásma, byla zaznamenána vyšší náchylnost na padlí *Fusarium graminearum*, podobně jako u ostatních drobných obilnin (Landolfi & Blandino 2023). V případě infekce způsobené houbami *Fusarium* a *Septoria* projevuje vyšší rezistenci ve srovnání s pšenicí (Nesvadba 2021; Landolfi & Blandino 2023). Tritordeum je méně náchylné k poléhání, jelikož má v průměru o cca 20 % nižší vzrůst než pšenice (Landolfi & Blandino 2023). Průměrná výška byla 67 cm, nejvyšší 92 cm, oproti pšenici, která může dosahovat až 130 cm (Nesvadba 2021).

Obilka tritordea je elipsoidního tvaru o délce cca 9 mm, na vrcholu má tenké chloupky. Značnou nevýhodou jsou tvrdé plevy a křehčí řapík, což představuje překážku při sklizni, vede k obtížnému čištění zrna a následně i k vyšším ztrátám (Landolfi & Blandino 2023).



Obrázek 21: Klasy tritordea

Nutričním složením zrna se tritordeum podobá spíše pšenici než ječmenu. Ve studii Martín et al. (1999) byla zkoumána vhodnost tritordea pro pekařské a sladovnické zpracování. Autoři Martín et al. (1999), Avila et al. (2021) i Landolfi a Blandino (2023) se shodují, že tritordeum má podobné pekařské vlastnosti jako pšenice chlebová a je pro pekárenské účely vhodnější než ječmen.

V průměru obsahuje tritordeum okolo 11 až 17 % bílkovin (Landolfi & Blandino 2023), studie od Erlandsson (2010) zmiňuje, že může dosahovat až 19,5 %. Při hodnocení celkového obsahu bílkovin záleží na jednotlivých odrůdách. Např. odrůda Bulel obsahuje v průměru 16,8 % celkových bílkovin (Küçük et al. 2018). V souvislosti s bílkovinami se tritordeum odlišuje i množstvím lepkových bílkovin, kterých je v tritordeu v průměru o 10 % více než v pšenici. Nicméně, je znatelně nižší zastoupení gluteninů v tritordeu oproti pšenici (do 10 %), které zajišťují pružnost těsta (Martín et al. 1999).

Erlandsson (2010) uvádí, že obsah škrobu tritordea je mírně nižší (65 %) oproti pšenici chlebové a tvrdé (70 % a 69 %), ale je vyšší v porovnání s ječmenem (58 %) (Kopáčová 2007), naopak v porovnání s pšenicí chlebovou i tvrdou je pozorován vyšší podíl vlákniny v tritordeu (cca o 10 %) (Erlandsson 2010).

V tritordeu se nalézá značné množství fenolických látek, v průměru se jedná o 9,5 µg/100 g. V porovnání s typy pšenice a ječmenem je tento obsah v tritordeu o 25 % vyšší než u pšenice a o 46 % vyšší než u ječmene. Přičemž nejrozšířenější kyselinou je ferulová kyselina, dále sinapová a skořicová kyselina (Landolfi & Blandino 2023).

Díky křížení s ječmenem je tritordeum bohaté na karotenoidy, především na lutein, jehož obsah může být až osmkrát vyšší než u pšenice tvrdé (Paznocht et al. 2018), což je 4-9 µg/g (Nesvadba 2021). Vysoký obsah luteinu zapříčiňuje specifickou žlutou barvu mouky z tritordea (Martín et al. 1999). Zrno celkově vykazuje vyšší antioxidační aktivitu oproti pšenici chlebové či tvrdé (Lachman et al. 2018).

7 Závěr

V kontextu současných potravinových a zemědělských výzev představují obiloviny základ lidské stravy. Přes svou důležitou roli ve výživě se obiloviny také setkávají s překážkami, jako je nutnost adaptace na měnící se klimatické podmínky, zvyšující se potřeba udržitelné produkce a odolnost vůči škůdcům a chorobám.

Chemické složení obilného zrna zahrnuje široké spektrum živin. Obiloviny jsou cenným zdrojem sacharidů- škrobu, β -glukanů, vlákniny, dále bílkovin a sekundárních metabolitů, z nichž jsou důležité polyfenoly, které mají antioxidační účinky a přispívají k ochraně proti civilizačním chorobám. Vysoký obsah β -glukanů byl zaznamenán u ječmene (4,8- 5,7 %) i ovsa (2,5- 6,6 %). Beta-glukany jsou typem rozpustné vlákniny známé pro své pozitivní účinky na zdraví, včetně podpory imunitního systému, snižování cholesterolu a regulace hladiny cukru v krvi. Z potravinářského hlediska jsou významnou složkou bílkovinné frakce gliadin a glutenin, které tvoří lepek a ovlivňují tak těsto a strukturu výsledného pečiva. Pšenice setá používaná pro výrobu běžného pečiva obsahuje ideální poměr gliadinu a gluteninu (2:3). Starověké druhy pšenice, jako je jednozrnka, dvouzrnka či špalda, mají poměr lepkových bílkovin vyšší (dvouzrnka 3,6:6,7: jednozrnka 4,2:12,0; špalda 2,8:4,0), a proto mouky ze starověkých druhů pšenice se vyznačují tvorbou těsta s nízkou elasticitou a vysokou roztažností, proto jsou vhodné spíše pro výrobu nekynutých potravin.

Moderní a starověké druhy obilovin se významně liší ve svých charakteristikách a využití. Zatímco starověké druhy jako jednozrnka a dvouzrnka byly v historii klíčové pro zemědělský vývoj, mají oproti moderním druhům nižší výnosy. Moderní druhy vyvinuté selektivním šlechtěním a genetickými úpravami přinášejí vyšší výnosy a lepší adaptabilitu na současné agroekologické podmínky a jsou navíc často odolnější vůči chorobám a škůdcům. Ve 20. století vznikly nové hybridní druhy obilovin, jako je tritikale a tritordeum. Tritikale, kříženec pšenice a žita, kombinuje vyšší výnos a lepší nutriční hodnoty s adaptabilitou na různé klimatické podmínky. Tritordeum, hybrid mezi pšenicí tvrdou a divokým ječmenem, se vyznačuje lepším přizpůsobením na suché podmínky a dobrými pekařskými vlastnostmi. Jedním z nejnovějších trendů jsou barevné pšenice, které jsou vyvíjeny pro zvýšení diverzity ve stravě. Tyto pšenice mají zrna různých barev – od červené přes modrou až po fialovou. Zbarvení je výsledkem vyššího obsahu antokyanů a karotenoidů, které nejen zlepšují vizuální atraktivitu, ale mohou také poskytovat vyšší antioxidační účinky, zvyšující potenciální zdravotní přínosy těchto obilovin. Vyšlechtěná odrůda AF Zora je významná z hlediska vysokého obsahu antokyanů (42,9 mg/kg). Hybridní druhy a barevné pšenice představují obiloviny s velkým potenciálem. Spojení několika vlastností, jako jsou vysoké výnosy, lepší pekařské vlastnosti a vyšší obsah nutričně důležitých látek představuje klíč k řešení budoucích výzev v potravinářství.

Obiloviny, ať už staronové nebo nově vyšlechtěné, jsou zásadní pro globální potravinovou nutriční diverzitu. Výzkum a šlechtění obilovin by mělo být nadále zaměřeno na udržitelnost, adaptabilitu a nutriční hodnotu, aby mohly obiloviny nadále plnit svou klíčovou roli v potravinovém řetězci a přispívat k lepšímu zdraví a výživě lidské populace.

8 Literatura

Aisbitt B, Caswell H, Lunn J. 2008. Cereals - current and emerging nutritional issues. *Nutrition Bulletin* **33**:169-185.

Almaguer C, Kollmannsberger H, Gastl M, Becker T. 2023. Comparative study of the impact of malting on the aroma profiles of barley (*Hordeum vulgare* L.) and rye (*Secale cereale* L.). *Food Chemistry* **427**:136694.

Aune D, Chan DS, Lau R, Vieira R, Greenwood DC, Kampman E, Norat T. 2011. Dietary fibre, whole grains, and risk of colorectal cancer: systematic review and dose-response meta-analysis of prospective studies **343**.

Avila CM, Rodriguez-Suarez C, Atienza SG. 2021 Tritordeum: Creating a New Crop Species-The Successful Use of Plant Genetic Resources. *Plants-Basel* **10**:1029.

Ávila CM, Rodríguez-Suárez C, Atienza SG. 2021. Tritordeum: Creating a new crop species-the successful use of plant genetic resources. *Plants* **10**:1029.

Baik BK, Ullrich SE. 2008. Barley for food: Characteristics, improvement, and renewed interest. *Journal of Cereal Science* **48**:233-242.

Beranová M. 2005. Jídlo a pití v pravěku a ve středověku. Praha: Academia. ISBN:80-200-1340-7.

Beres BL, Rahmani E, Clarke JM, Grassini P, Pozniak CJ, Geddes CM, Ransom JK. 2020. A systematic review of durum wheat: Enhancing production systems by exploring genotype, environment, and management (G× E× M) synergies. *Frontiers in Plant Science* **11**:568657.

Bjorck I, Ostman E, Kristensen M, Anson NM, Price RK, Haenen GRMM, Havenaar R, Knudsen, KEB, Frid A, Mykkanen H, Welch RW, Riccardi G. 2012. Cereal grains for nutrition and health benefits: Overview of results from in vitro, animal and human studies in the HEALTHGRAIN project. *Trends in food science & Technology* **25**:87-100.

Blažková L & Sluková M. 2017. Vliv přísadky různých typů vlákniny na kvalitu pekařských výrobků 36 - 48 in Capouchová I, Pánek J, editors. *Obiloviny v lidské výživě. Česká technologická platforma pro potraviny*, Praha.

Bouchard J, Valookaran AF, Aloud BM, Raj P, Malunga LN, Thandapilly SJ, Netticadan T. 2022. Impact of oats in the prevention/management of hypertension. *Food Chemistry* **381**:132198.

Caballero B, Lindsay A, Andrew P. 2005. *Encyclopedia of human nutrition*. second edition. Elsevier Ltd.; 614 s.

Camerlengo F, Kiszonas AM. 2023. Genetic factors influencing triticale quality for food. *Journal of Cereal Science* **113**:103744.

Cummings JH, Englyst HN. 1995. Gastrointestinal effects of food carbohydrate. *American Journal of Clinical Nutrition* **61**:938-945.

Český statistický úřad. 2022. Tab. 1- Spotřeba potravin a nealkoholických nápojů (na obyvatele za rok)- Pekárenské výrobky, obiloviny. Available from: <https://www.czso.cz/csu/czso/spotreba-potravin-2022>. (accessed November 2023).

Davison KM, Temple N. 2017. Cereal fiber, fruit fiber, and type 2 diabetes: Explaining the paradox. *Journal of Diabetes and its Complications* **32**:240-245.

Deleu L, Lemmens E, Redant L, Delcour A. 2020. The major constituents of rye (*Secale cereale* L.) flour and their role in the production of rye bread, a food product to which a multitude of health aspects are ascribed. *Cereal Chemistry* **97**:739-754.

Diviš J. 2010. Pěstování rostlin: (učební texty pro obor provozní podnikatel a pozemkové úpravy a převody nemovitostí). 2., dopl. vyd. České Budějovice: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Zemědělská fakulta. ISBN:978-80-7394-216-8.

Duss R., Nyberg L. 2004. Oat soluble fibers (beta-glucans) as a source for healthy snack and breakfast foods. *Cereal Foods World* **49**:320-325.

EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition, and Allergies (NDA). 2010. Scientific Opinion on Dietary Reference Values for carbohydrates and dietary fibre. EFSA. Available from: <http://doi.wiley.com/10.2903/j.efsa.2010.1462>. (accessed December 2023).

Eggersdorfer M, Wyss A. 2018. Carotenoids in human nutrition and health. *Archives of biochemistry and biophysics* **652**:18-26.

Erlandsson A. 2010. Tritordeum Evaluation of a New Food Cereal Master's Thesis Agricultural Program Food Science, Uppsala. Available from: <https://stud.epsilon.slu.se/1726/>. (accessed February 2024).

Escarnot E, Jacquemin JM, Agneessens R, Paquot M. 2012. Comparative study of the content and profiles of macronutrients in spelt and wheat, a review *BASE* **16**:43-256.

Evropská komise. 2008. SMĚRNICE KOMISE 2008/100/ES ze dne 28. října 2008, kterou se mění směrnice Rady 90/496/EHS o nutričním označování potravin, pokud jde o doporučené denní dávky, převodní faktory pro energetickou hodnotu a definice. Brusel. 285.

Evropská komise. 2012. NAŘÍZENÍ KOMISE (EU) č. 432/2012 ze dne 16. května 2012, kterým se zřizuje seznam schválených zdravotních tvrzení při označování potravin jiných než tvrzení o snížení rizika onemocnění a o vývoji a zdraví dětí. Brusel. 136.

FAO. 2024. Larger coarse grain outputs push up supply and trade prospects. World Food Situation. Available from: <https://www.fao.org/worldfoodsituation/csdb/en>. (accessed February 2024).

Ficco DBM, De Simone V, Colecchia SA, Pecorella I, Platani C, Nigro F, Finocchiaro F, Papa R, De Vita P. 2014. Genetic Variability in Anthocyanin Composition and Nutritional Properties of Blue, Purple, and Red Bread (*Triticum aestivum* L.) and Durum (*Triticum turgidum* L. ssp. *turgidum* convar. *durum*) Wheats. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **62**:8686-8695.

- Finney KF, Yamazaki WT, Youngs VL, Rubenthaler GL. 1987. Quality of hard, soft, and durum wheats. *Wheat and wheat improvement* **13**:677-748.
- Fратиanni A, Criscio T, Mignogna R, Panfili G. 2012. Carotenoids, tocopherols and retinols evolution during egg pasta – making processes. *Food Chemistry* **131**:590-595.
- Gabrovská D, Hálová I, Chrpová D, Ouhrabková J, Sluková M, Vavreinová S. 2015. *Obiloviny v lidské výživě*. Praha: Potravinářská komora České republiky, Česká technologická platforma pro potraviny. Publikace České technologické platformy pro potraviny. ISBN:978-80-88019-07-7.
- Gabrovská D, Jurkaninová L, Matějová H, Sluková M, Vaculová K, Faměra O, Martinek P, Skřivan P, Šárka E. 2019. *Obiloviny v lidské výživě- Slovníček pojmů z cereální oblasti*. Praha: Potravinářská komora České republiky, Česká technologická platforma pro potraviny. Publikace České technologické platformy pro potraviny. ISBN:978-80-88019-38-1.
- Garg M, Chawla M, Chunduri V, Kumar R, Sharma S, Sharma NK, Kaur N, Kumar A, Munday JK, Saini MK, Singh SP. 2016. Transfer of grain colors to elite wheat cultivars and their characterization. *Journal of Cereal Science* **71**:138-144.
- Garrido M, Román L, Silva P, Castellaro G, Cortázar VG, Acevedo E. 2013. Characterization of genetic coefficients of durum wheat (*Triticum turgidum* L. ssp. *durum*) ‘Llaretia-INIA’ and ‘Corcolén-INIA’. *Chilean Journal of Agricultural Research* **73**:91- 98.
- Gazza L, Hidalgo A, Brandolini A. 2023. A high protein ancient wheat species: Einkorn. *Journal of Cereal Science* **114**:103790.
- Geisslitz S, Wieser H, Scherf KA, Koehler P. 2018. Gluten protein composition and aggregation properties as predictors for bread volume of common wheat, spelt, durum wheat, emmer and einkorn. *Journal of Cereal Science* **83**:204-212.
- Gençdağ E, Özdemir EE, Demirci K, Görgüç A, Yılmaz FM. 2022. Copigmentation and stabilization of anthocyanins using organic molecules and encapsulation techniques. *Current Plant Biology* **29**:100238.
- Grausgruber H, Oberforster M, Ghambashidze G, Ruckebauer P. 2005. Yield and agronomic traits of Khorasan wheat (*Triticum turanicum* Jakubcz.). *Field Crops Research* **91**:319-327.
- Hidalgo A, Alamprese C, Marti A, Galli S, Terno AB, Brandolini A. 2020. Nutritional and technological properties of non-traditional einkorn (*Triticum monococcum*) wheat pasta. *LWT* **133**:109932.
- Hidalgo A, Brandolini A. 2008. Protein, ash, lutein and tocopherols distribution in einkorn (*Triticum monococcum* L. subsp. *monococcum*) seed fractions. *Food Chemistry* **107**:444-448.
- Hidalgo M, Sánchez-Moreno C, Pascual-Teresa S. 2010. Flavonoid- flavonoid interaction and its effect on their antioxidant activity. *Food Chemistry* **121**:691-696.
- Holopainen-Mantila U, Vanhatalo S, Lehtinen P, Sozer N. 2024. Oats as a source of nutritious alternative protein. *Journal of Cereal Science* **116**:103862.

Izydorczyk MS, Mcmillan T. 2021. Barley Production and Quality of Western Canadian Malting Barley. Annual Barley Harvest Report; Grain Research Laboratory, Canadian Grain Commission: Winnipeg, Canada.

Izydorczyk SM, Dexter EJ. 2008. Barley β -glucans and arabinoxylans: Molecular structure, physicochemical properties, and uses in food products. *Food Research International* **41**:850-868.

Jurkaninová L. 2017. Obiloviny a sacharidy 6- 7 in Capouchová I, Pánek J, editors. *Obiloviny v lidské výživě. Česká technologická platforma pro potraviny*, Praha.

Kakabouki I, Beslemes DF, Tigka EL, Folina A, Karydogianni S, Zisi C, Papastylianou P. 2020. Performance of six genotypes of tritordeum compare to bread wheat under east mediterranean condition. *Sustainability* **12**:9700.

Kalač P. 2003. *Funkční potraviny: kroky ke zdraví*. České Budějovice: Dona. ISBN80-7322-029-6.

Kelly SA, Summerbell CD, Brynes A, Whittaker V, Frost G. 2007. Wholegrain cereals for coronary heart disease. *Cochrane Database Syst Rev*. DOI: 10.1002/14651858.CD005051.pub2. Update in: *Cochrane Database Syst Rev*. 2017. DOI: 10.1002/14651858.CD005051.pub3

Knudsen B, Laerke N. 2010. Rye arabinoxylans: molecular structure, physicochemical properties and physiological effects in the gastrointestinal tract. *Cereal Chemistry* **87**:353-362.

Kopáčová O. 2007. *Trendy ve zpracování cereálií s přihlédnutím zejména k celozrnným výrobkům*. Praha: Ústav zemědělských a potravinářských informací. Available from: http://www.bezpecnostpotravin.cz/UserFiles/File/Kopov_Cerelie%20web.pdf. (accessed October 2023).

Kotíková Z, Šulc M, Lachman J, Pivec V, Orsák M, Hamouz K. 2016. Carotenoid Profile And Retention In Yellow-, Purple- And Red-Fleshed Potatoes After Thermal Processing. *Food Chemistry* **197**:992-1001.

Küçük F, Bayram S, Soylu S. 2018. Tritordeum hat ve çeşitlerinin konya sulu ve kuru şartlarına adaptasyonunun belirlenmesi. *Bahri dağdaş bitkisel araştırma dergisi* **7**:23-31.

Kučerová J. 2015. *Technology of cereals*. Brno: Mendel University in Brno. ISBN:978-80-7509-343-1.

Kupper C. 2005. Dietary guidelines and implementation for celiac disease. *Gastroenterology* **128**:121-127.

Lachman J, Hejtmánková A, Orsák M, Popov M, Martinek P. 2018. Tocotrienols and tocopherols in colored-grain wheat, tritordeum and barley. *Food Chemistry* **240**:725-735.

Lachman J, Martinek P, Kotíková Z, Orsák M, Šulc M. 2017. Genetics and chemistry of pigments in wheat grain- A review. *Journal of Cereal Science* **74**:145-154.

Lam KL, Cheung PChK. 2013. Non-digestible long chain beta-glucans as novel prebiotics. *Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre* **2**:45-64.

- Landolfi V, Blandino M. 2023. Minor Cereals and New Crops: Tritordeum. 83-103 in Ferranti P, editors. Novel Food Sources. Elsevier.
- Lennerz BS, Alsop DC, Holsen LM, Stern E, Rojas R, Ebbeling CB, Goldstein JM, Ludwig DS. 2013. Effects of dietary glycemic index on brain regions related to reward and craving in men. *The American Journal of Clinical Nutrition* **113**:641-647.
- Li Q, Pan Z, Deng G, Long H, Li Z, Deng X, Yu M. 2014. Effect of wide variation of the Waxy gene on starch properties in hull-less barley from Qinghai-Tibet plateau in China. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **62**:11369-11385.
- Lima-Brito J, Guedes-Pinto H. 1998. Crossability between tritordeum and triticales. *Euphytica* **104**:107-111.
- Lukinac J, Jukić M. 2022. Barley in the production of cereal-based products. *Plants* **11**:3519.
- Lunn J, Buttriss JL. 2007. Carbohydrates and dietary fibre. *Nutrition Bulletin* **32**:21-64.
- Macháň P, Ehrenbergerová J, Cerkal R, Benešová K, Vaculová K. 2014. The influence of genotype and environment on arabinoxylan and beta-glucan contents in grain of spring barley (*Hordeum vulgare* L.). *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis* **62**:553-560.
- Martín A, Alvarez JB, Martín LM, Barro F, Ballesteros J. 1999. The development of tritordeum: a novel cereal for food processing. *Journal of Cereal Science* **30**:85-95.
- Martinek P. 2021. Odrůdy pšenice s barevným zrnem a jejich nutriční hodnota. *Úroda* **7**:78-80.
- Menis-Henrique M, Scarton M, Piran M, Clerici M. 2020. Cereal Fiber: extrusion modifications for food industry. *Current Opinion in Food Science* **33**:141-148.
- Michalcová E, Potocká E, Chmelová D, Ondrejovic M. 2012. Study of wheat protein degradation during germination. *Journal of Microbiology Biotechnology and Food Sciences* **1**:1439-1447.
- Michalska A, Ceglińska A, Zieliński H. 2007. Bioactive compounds in rye flours with different extraction rates. *European Food Research and Technology* **225**:545-551.
- Navarro-Contreras AL, Chaires-González CF, Rosas-Burgos EC, Borboa-Flores J, Wong-Corral FJ, Cortez-Rocha MO, Cinco-Moroyoqui FJ. 2014. Comparison of protein and starch content of substituted and complete triticales (X *Triticosecale* Wittmack): Contribution to functional properties. *International Journal of Food Properties* **17**:421-432.
- Nesvadba Z. 2021. Tritordeum- nová obilnina v kolekci Genové banky v Ruzyni - Výzkumný ústav rostlinné výroby. *Úroda* **9**:30-34.
- Oscarsson M, Andersson R, Salomonsson AC, Åman P. 1996. Chemical Composition of Barley Samples Focusing on Dietary Fibre Components. *Journal of Cereal Science* **24**:161-170.

Paznocht L, Burešová B, Kotíková Z, Martinek P. 2021. Carotenoid content of extruded and puffed products made of colored-grain wheats. *Food Chemistry* **340**:127951.

Paznocht L, Kotíková Z, Burešová B, Lachman J, Martinek P. 2020. Phenolic Acids In Kernels Of Different Coloured-Grain Wheat Genotypes. *Plant, Soil and Environment* **66**:57-64.

Paznocht L, Kotíková Z, Šulc M, Lachman J, Orsák M, Eliášová M, Martinek P. 2018. Free and esterified carotenoids in pigmented wheat, tritordeum and barley grains. *Food Chemistry* **240**:670-678.

Peter R. Shewry, Sandra Hey, 2015. Do “ancient” wheat species differ from modern bread wheat in their contents of bioactive components?. *Journal of Cereal Science* **65**:236-243.

Podloucká P, Polišínská I. 2021. Polyfenolické látky v obilovinách. Česká technologická platforma rostlinných biotechnologií. Available from: <http://www.rostlinyprobudoucnost.eu/ctprb/novinky/zajimavosti/199-polyfenolicke-latky-v-obilovinach.html>. (accessed February 2024).

Prugar J. 2008. Kvalita rostlinných produktů na prahu 3. tisíciletí. Výzkumný ústav pivovarský a sladařský ve spolupráci s Komisí jakosti rostlinných produktů ČAZV. ISBN:978-80-86576-28-2.

Robbana C, Kehel Z, Ben Naceur MB, Sansaloni C, Bassi F, Amri A. 2019. Genome-wide genetic diversity and population structure of Tunisian durum wheat landraces based on DArTseq technology. *International Journal of Molecular Sciences* **20**:1352.

Roberfroid MB. 2005. Introducing inulin-type fructans. *The British Journal of Nutrition* **93**:13-25.

Saa DT, Turrone S, Serrazanetti DI, Rampelli S, Maccaferri S, Candela M, Severgnini M, Simonetti E, Brigidi P, Gianotti A. 2014. Impact of Kamut® Khorasan on gut microbiota and metabolome in healthy volunteers. *Food Research International* **63**:227-232.

Santis MA, Kosik O, Passmore D, Flagella Z, Shewry PR, Lovegrove A. 2018. Comparison of the dietary fibre composition of old and modern durum wheat (*Triticum turgidum* spp. *durum*) genotypes. *Food Chemistry* **244**:304-310.

Shewry PR, Halford NG. 2002. Cereal seed storage proteins: structures, properties and role in grain utilization. *Journal of Experimental Botany* **53**:947-958.

Sluková M, Jurkaninová L, Švec I, Skřivan P. 2020. Rezistentní škrob- charakteristika, zdroje a vliv na lidské zdraví. *Zpravodaj pro školní a dietní stravování* **4**:53-55.

Sluková M, Skřivan P. 2016. Obiloviny 2-19 in Dostálová R, Horáček J, Skřivan P, Sluková M. Obiloviny a luštěniny. Jak poznáme kvalitu? Potravinářská komora České republiky. ISBN 978-80-88019-09-1.

Sluková M, Vaculová K, Skřivan P. 2017. Přehled o beta-glukanech 14- 21 in Capouchová I, Pánek J, editors. Obiloviny v lidské výživě. Česká technologická platforma pro potraviny, Praha.

Společnost pro výživu. 2021. Bezpečnost potravin- Zdravá třináctka- stručná výživová doporučení pro obyvatelstvo. Available from <https://bezpecnostpotravin.cz/zdrava-trinactka-strucna-vyzivova-doporuceni-pro-obyvatelstvo/> (accessed December 2023).

Státní zemědělský intervenční fond. 2022. Tržní informační systém- Zpráva o trhu obilovin a olejnin. Globální trhy- FAO, str. 4.

Steffen LM, Jacobs DR, Stevens J, Shahar E, Carithers T, Folsom AR. 2003. Associations of whole-grain, refined-grain, and fruit and vegetable consumption with risks of all-cause mortality and incident coronary artery disease and ischemic stroke: the Atherosclerosis Risk in Communities (ARIC) Study. The American Journal of Clinical Nutrition **78**:383-390.

Sudheesh Ch, Bhat ZR, Aaliya B, Sunooj VK. 2022. Chapter 2- Cereal proteins. Nutraceuticals and Health Care 29-60.

Suchowilska E, Kandler W, Wiwart M, Krska R. 2023. Is Tritordeum (*×Tritordeum martinii* A. Pujadas, nothosp. nov.) grain a potentially useful source of essential minerals in the human diet? Journal of Food Composition and Analysis **115**:104874.

Sullivan P, Arendt E, Gallagher E. 2013. The increasing use of barley and barley by-products in the production of healthier baked goods. Trends in Food Science & Technology **29**:124-134.

Šebestíková R, Burešová I, Vyhnánek T, Martinek P, Pospiech M. 2023. Rheological and fermentation properties of doughs and quality of breads from colored wheat varieties. Heliyon **9**:4.

Tarar ZI, Zafar MU, Farooq U, Basar O, Tahan V, Daglilar E. 2021. The Progression of Celiac Disease, Diagnostic Modalities, and Treatment Options. Journal of Investigative Medicine High Impact Case Reports **9**:23247096211053702.

Tauferová A, Ošťádalová M, Javůrková Z, Petrášová M, Čáslavková P. 2014. Technologie a hygiena potravin rostlinného původu I., II. Brno: Veterinární a farmaceutická univerzita Brno. ISBN978-80-7305-692-6.

Venclová B. 2023. Pšenice – významná komodita ve světě a v Evropské unii. Úroda. Available from: <https://uroda.cz/psenice-vyznamna-komodita-ve-svete-a-v-evropske-unii/>. (accessed February 2024).

Villarroel P, Gómez C, Vera C, Torres J. 2018 Almidón resistente: Características tecnológicas e intereses fisiológicos. Revista chilena de nutrición **45**:271-278.

Wang J, Jia F, Yang X, Qi B, Qu L. 2013. The classification and characteristic of proteins in wheat. Material design, processing and applications **690-693**:1301-1304.

Wieser H, Mueller KJ, Koehler P. 2009. Studies on the protein composition and baking quality of einkorn lines. European Food Research and Technology **229**:523-532.

- Wieser H. 2006. Chemistry of gluten proteins. *Food Microbiology* **24**:115-119.
- Willats WGT, McCartney L, Mackie W, Knox JP. 2001. Pectin: cell biology and prospects for functional analysis. *Plant Molecular Biology* **47**:9-27.
- Xiang J, Apea-Bah FB, Ndolo VU, Katundu MC, Beta T. 2019. Profile of phenolic compounds and antioxidant activity of finger millet varieties. *Food Chemistry* **275**:361-368.
- Zaharieva M, Ayana NG, Hakimi A, Misra S, Monneveux P. 2010. Cultivated emmer wheat (*Triticum dicoccon* Schrank), an old crop with promising future: a review. *Genetic Resources and Crop Evolution* **57**:937-62.
- Zang P, Gao Y, Chen P, Lv Ch, Zhao G. 2022. Recent Advances in the Study of Wheat Protein and Other Food Components Affecting the Gluten Network and the Properties of Noodles. *Foods* **11**:3824.
- Zdaniewicz M, Pater A, Hrabia O, Duliński R, Cioch-Skoneczny M. 2020. Tritordeum malt: An innovative raw material for beer production. *Journal of Cereal Science* **96**:103095.
- Zhou Y, Zhang Y, Zhou M, Wu Y, Guan X. 2023. Study on the interaction between grain polyphenols and intestinal microorganisms: A review. *Food Bioscience* **53**:102536.
- Zhu F. 2018. Triticale: Nutritional composition and food uses. *Food Chemistry* **241**:468-479.

9 Seznam tabulek

Tabulka 1: Rozdělení obilovin.....	9
Tabulka 2: Rozdíly ve velikosti a hmotnosti tisíce zrn (HTZ) různých obilovin	10
Tabulka 3: Obsah nutričních složek v pšeničných výrobcích; hodnoty na 100 g.....	12
Tabulka 4: Podíl hlavních skupin sacharidů v některých cereáliích.....	13
Tabulka 5: Složení bílkovin obilovin.....	17
Tabulka 6: Spotřeba potravin v kg na obyvatele za rok	23
Tabulka 7: Spotřeba potravin v kg na obyvatele za rok	30
Tabulka 8: Rozdíly v chemickém složení zrna v sušině pluchatého a nahého ječmene.....	33
Tabulka 9: Zastoupení živin v mouce vybraných plodin.....	38
Tabulka 10: Bílkovinné frakce vyjádřené jako procento z celkového obsahu bílkovin	39

10 Seznam obrázků

Obrázek 1: Anatomická stavba obilného zrna	10
Obrázek 2: Pět jednotek α -1,4-D-glukopyranózy z molekuly škrobu (amylózy).....	13
Obrázek 3 Schéma struktury gliadinu.....	17
Obrázek 4 Schéma struktury gluteninu.....	18
Obrázek 5 Schéma struktury hydratovaného lepkového vlákna.....	19
Obrázek 6: Fenol – aromatické jádro s navázanou hydroxylovou skupinou	19
Obrázek 7: Flavan – základní jednotka flavanoidů a strukturní modifikace v heterocyklu flavanu	20
Obrázek 8: Flavyliový (2-fenylbenzopyryliový) kation	20
Obrázek 9: Chemické struktury vybraných antokyanidinů	21
Obrázek 10: Chemická struktura izoprenu	21
Obrázek 11: Schéma taxonomie obilovin.....	23
Obrázek 12: A- pšenice setá (<i>Triticum aestivum</i>),.....	24
Obrázek 13: A- pšenice jednozrnka (<i>Triticum monococcum</i>), B- pšenice dvouzrnka (<i>T. dicoccum</i>), C- pšenice špalda (<i>T. spelta</i>)	27
Obrázek 14: Ukázky barev zrna pšenice a barevných odstínů mouky	28
Obrázek 15: A- odrůda ozimé pšenice Skorpion s modrým zabarvením zrna;	29
Obrázek 16: Žito seté (<i>Secale cereale</i>)	30
Obrázek 17: Ječmen setý (<i>Horedum vulgare</i>)	32
Obrázek 18: Oves setý (<i>Avena sativa</i>).....	35
Obrázek 19: Triticale.....	37
Obrázek 20: Schéma šlechtění tritordea	40
Obrázek 21: Klasy tritordea.....	41