

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra chemie



Lepek v potravinách, ano či ne?

Bakalářská práce

Autor práce: Šárka Nejedlá

Obor studia: Výživa a potraviny (ATZD)

Vedoucí práce: doc. Ing. Alena Hejtmánková, CSc.

© 2019 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Lepek v potravinách, ano či ne?" 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 neporušila autorská práva třetích osob.

V Praze dne 16.4.2019

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala doc. Ing. Aleně Hejtmánkové, CSc. za vstřícnost, cenné rady, odborný dohled a podporu při psaní bakalářské práce.

Lepek v potravinách, ano či ne?

Souhrn

Lepek je směs rostlinných glykoproteinů a v poslední době je velmi diskutovanou látkou, a to zejména v jeho negativním smyslu. Mnoho lidí jej vyřazuje ze svého jídelníčku, aniž by jim dělal sebemenší problémy jen proto, že se doslechli nebo dočetli, že není zdravý, ukládá se ve střevech, způsobuje tloustnutí nebo například celiakii.

Obiloviny obsahující lepek mají velké množství hydrofilních vitamínů skupiny B a také lipofilní vitamín E. Vitamíny jsou látky, které jsou v určitém množství nezbytné pro fungování lidského těla a člověk je musí přijímat potravou. Pokud by přijímal nedostatek některých vitamínů, mohlo by dojít k jejich deficienci, což by mohlo mít za následek zdravotní potíže. Dále obsahují obiloviny velké množství vlákniny, která je prospěšná pro trávicí trakt.

Celiakie je autoimunitní onemocnění, při kterém vede konzumace potravin obsahujících lepek k zánětu v tenkém střevě a ke zkrácení a otupení klků a mikrokĺků na sliznici střeva, čímž dochází ke zmenšení plochy pro vstřebávání živin. Velkou roli při celiakii neboli glutenové enteropatii hraje genetická predispozice, ale velmi důležitý je také celkový životní styl a četnost konzumace potravin obsahujících lepek. Celiakie však není jediné onemocnění související s glutenem. Existují i další onemocnění jako je Dühringova herpetiformní dermatitida, glutenová ataxie nebo alergie na lepek. Dühringova herpetiformní dermatitida je kožním projevem celiakie, glutenová ataxie je jev, při němž lepek ovlivňuje pohyby končetin, chůzi nebo může způsobovat problémy s psaním, mluvením a také s viděním. Alergie na lepek se projevuje přehnanou reakcí imunitního systému na konzumaci lepkových potravin, což vyvolává aktivaci imunoglobulinu E (IgE).

Jedinci, kteří mají zdravotní problémy po požití lepku, mohou konzumovat buď pseudocereálie, jako je pohanka, amarant, quinoa nebo bezlepkové obiloviny, mezi něž patří kukuřice, rýže, čirok nebo proso. V obchodech také mohou vyhledávat potraviny označené logem přeškrtnutého pšeničného klasu nebo potraviny s nápisy „bez lepku“ nebo „vhodné pro celiaky“. Takové potraviny mohou dle Evropské komise obsahovat lepek maximálně v množství 20 mg.kg⁻¹ potraviny. Člověku, který pečivo, těstoviny a jiné glutenové výrobky v rozumné míře konzumuje, nemá genetickou predispozici a zdravotní problémy, se lepek ve střevech neukládá ani ho nepoškozuje, proto není důvod potraviny obsahující lepek ze stravy zcela vynechávat, jelikož tyto potraviny obsahují cenné látky, které jinak mohou tělu chybět.

Klíčová slova: lepek, obiloviny, celiakie, potravní alergie, bezlepkové potraviny

Gluten in foodstuffs, yes or no?

Summary

Gluten is a mixture of plant glycoproteins and recently it is a highly discussed substance, especially in its negative sense. Many people eliminate it from their diet without any problems just because they heard or read that gluten is not healthy, it stores in their intestine, causes fattening or celiac disease, for example.

Gluten-containing cereals have a large amount of hydrophilic B-group vitamins and a lipophilic vitamin E. Vitamins are substances which are necessary for functioning of the human body in a certain amount and people must receive them from food. If someone would receive a lack of vitamins, it could attain a deficiency and than health problems. Furthermore, cereals contain a large amount of fiber which is beneficial to the digestive tract.

Celiac disease is an autoimmune disease in which the consumption of gluten-containing foods result into inflammation in the small intestine and into shortening and blunting villi and microvilli in the intestinal mucosa, thereby the area for nutrient absorption is reduced. Genetic predisposition plays a major role in celiac disease in other words gluten enteropathy, but the overall lifestyle and frequency of eating gluten-containing foods are also very important. However, celiac disease is not the only gluten-related disease. There are other diseases such as Dühring's herpetiform dermatitis, gluten ataxia or allergy to gluten. Dühring's herpetiform dermatitis is a cutaneous manifestation of celiac disease, gluten ataxia is a syndrome in which gluten affects movements of the limbs, walking, or it can cause problems with writing, speaking and also with vision. Gluten allergy is manifested by an exaggerated response of the immune system to the consumption of gluten-free foods, which induces immunoglobulin E (IgE) activation.

Individuals with health problems after eating gluten can consume either pseudocereals such as buckwheat, amaranth, quinoa or gluten-free cereals, including corn, rice, sorghum or millet. They can also search for groceries labeled with the crossed-out wheat grain logo or "gluten-free" or "celiac-fit" labels. According to the European Commission, that kind of foods may contain gluten at a maximum of 20 mg.kg⁻¹. A human being who consumes pastries, pasta and other gluten products in a reasonable way, does not have genetic predisposition and health problems, gluten is not harming the small intestine and it also it is not stored, so there is no reason to omit foods containing gluten, because these foods contain valuable substances otherwise they may be missing in nutrition.

Keywords: gluten, cereals, celiac disease, food allergy, gluten-free foodstuffs

Obsah

1	Úvod	1
2	Cíl práce	2
3	Literární rešerše	3
3.1	Obiloviny	3
3.1.1	Pšenice.....	3
3.1.2	Žito	4
3.1.3	Ječmen.....	5
3.1.4	Oves.....	6
3.1.5	Triticale	7
3.1.6	Tritordeum.....	8
3.1.7	Kukuřice	9
3.1.8	Rýže.....	9
3.2	Morfologické složení obilky	10
3.2.1	Endosperm a aleuronová vrstva	11
3.2.2	Klíček	11
3.2.3	Obalové vrstvy	11
3.3	Chemické složení obilovin.....	12
3.3.1	Vitamíny	12
3.3.2	Sacharidy	15
3.3.2.1	Vláknina.....	16
3.3.2.2	Škrob.....	16
3.3.3	Lipidy	17
3.3.4	Proteiny	17
3.3.4.1	Albuminy	18
3.3.4.2	Globuliny	18
3.3.4.3	Prolaminy.....	18
3.3.4.4	Gluteliny	19
3.4	Lepek	19
3.5	Trávicí soustava	20
3.6	Alergie na lepek.....	22
3.7	Celiakie.....	22
3.7.1	Projevy nemoci	25
3.7.2	Diagnostika.....	25
3.8	Neceliakální glutenová senzitivita	25
3.9	Dühringova herpetiformní dermatitida	26
3.10	Pseudocereálie	27
3.10.1	Pohanka	28
3.10.2	Amarant	28
3.10.3	Quinoa	29
3.11	Bezlepkové potraviny	30
3.12	Pekárenský průmysl	32
3.13	Metody stanovení lepku	32
3.13.1	ELISA.....	32
3.13.2	Polymerázová řetězová reakce (PCR).....	33
3.13.3	Hmotnostní spektrometrie (MALDI-TOF).....	34
4	Závěr	35

5	Seznam použité literatury	36
6	Seznam obrázků.....	43

1 Úvod

Lepek, latinsky gluten je rostlinný glykoprotein obsažený v některých druzích obilovin jako je především pšenice (*Triticum sp.*), žito (*Secale sp.*), ječmen (*Hordeum sp.*) a oves (*Avena sp.*). Problematika ovsu je o něco složitější. Oves má mnoho druhů a některé z nich mohou obsahovat tak malé množství lepku, že pro člověka, který není extrémně citlivý, nemusí menší množství ovsa ve stravě vyvolávat žádné potíže. Oves se však často pěstuje blízko obilovin obsahujících lepek a zpracovává se spolu s nimi, čímž se jen těžko dá zabránit kontaminaci ovsa lepkem.

Obiloviny představují pro člověka významný zdroj rostlinných proteinů. Gluten se nachází ve vnější části obilky a je složený ze dvou hlavních bílkovin, kterými jsou prolaminy, jinak také nazývány gliadiny a gluteliny. Co se týče aminokyselin, obsahují obiloviny nejvíce glutaminu, prolinu a leucinu, nejméně pak tryptofanu a methioninu.

Pokud se mluví o problematice lepku, myslí se tím především ten pšeničný, který je složený z gluteninu, což je typ glutelinu a gliadinu, což je zástupce prolaminů. Právě v pšenici může lepek tvořit až 80 % bílkovinného obsahu. Jiné obiloviny jsou složeny z odlišných druhů prolaminů a glutelinů a mají také jiné procentuální zastoupení v obilce. Nemají však pro směs proteinů svůj vlastní název, proto se u nich začalo také používat označení lepek, i když to není zcela přesné.

Určité procento lidí trápí zdravotní potíže spojené s lepkem, jako je například alergie na lepek nebo celiakie, což je intolerance lepku. Tato onemocnění ale nemusí být způsobena pouze glutenem, člověk k nim má také genetické predispozice, což někteří lidé nevědí a dávají vinu jen a pouze lepku. Jak při alergii, tak i při celiakii je nutné, aby pacient dodržoval bezlepkovou dietu. Rozdíl je však v tom, že z alergie se člověk může vyléčit, celiakie prozatím vyléčitelná bohužel není. Jako náhradu za obiloviny s obsahem lepku může člověk konzumovat obiloviny s nízkým obsahem prolaminů, které se považují pro alergiky nebo celiaky za bezpečné, a to je například kukuřice, rýže, čirok a proso. Další variantou jsou takzvané pseudoobiloviny, které jsou přirozeně bez lepku. Do této skupiny patří pohanka, laskavec neboli amarant a merlík čilský, známější pod názvem quinoa.

Pro zdravého člověka, který netrpí žádnými obtížemi, však není vhodné, aby se stravoval úplně bez lepku, jelikož obsahuje důležité vitamíny, minerály a aminokyseliny, které pak organismu mohou chybět, avšak konzumace potravin s vysokým obsahem lepku by se neměla příliš nepřehánět. Pšeničný lepek je také velmi důležitý v pekařství, protože těstu dodává vláčnost, pružnost a tažnost.

2 Cíl práce

Cílem práce bylo podat ucelený literární přehled o kladech a záporech konzumace lepku z pohledu zdravého člověka a osob trpících alergií na lepek či celiaků. Dílčím cílem byla charakterizace obilovin z hlediska obsahu lepku a možnosti jejich využití v bezlepkové dietě.

3 Literární rešerše

3.1 Obiloviny

Obiloviny neboli cereálie patří k nejstarším zdrojům potravy jak pro lidi, tak pro zvířata (Prugar et al. 2008). Jsou to jedlá semena nebo zrna travin (*Gramineae*). Téměř všechny obiloviny patří do čeledi lipnicovitých (*Poaceae*), pouze pohanka patří do čeledi rdesnovitých (*Polygonaceae*), amarant do laskavcovitých (*Amaranthaceae*) a quinoa do čeledi merlíkovitých (*Chenopodiaceae*) (Kopáčová 2007). Cereálie a výrobky z nich patří mezi nejdůležitější potraviny. Hlavními jsou pšenice, žito, ječmen, rýže, proso a oves. Pšenice a žito mají zvláštní roli, protože jen ty jsou vhodné na výrobu chlebu (Belitz et al. 2009).

Nejdůležitější složkou obilovin je škrob, který slouží jako zdroj energie. Méně zastoupené jsou bílkoviny, tuky a vitamíny. Škrob může být také přeměněn například na alkohol, který se poté konzumuje v různých nápojích nebo na biopalivo (Rosentrater & Evers 2018). Co se týká dalších látek, jsou obiloviny bohaté na vlákninu, vitamíny skupiny B, vitamín E a minerální látky, jako například zinek a hořčík. Při zpracování se však mnoho živin ztrácí. Cereálie mají obecně nízký obsah bílkovin, jen oves a proso jsou výjimkou (McKevith 2004; González-Pérez & Arellano 2009). Pohanka, amarant a quinoa se řadí mezi pseudoobiloviny, což znamená, že to jsou rostliny přirozeně bez obsahu lepku a jsou využívány stejně jako kukuřice a rýže k výrobě bezlepkových cereálních produktů.

U cereálií se spotřebovává výhradně zrno, a to buď celé anebo semleté, tj. mouka. Vzhledem k tomu, že je celosvětový podíl obilnin v lidské výživě odhadován na 60–70 %, jsou obiloviny různými způsoby šlechtěny za účelem většího zrna a vyššího výnosu (Bajerová et al. 2016).

3.1.1 Pšenice

Z historického hlediska je pšenice (*Triticum sp.*) první obilovina používaná k lidské potřebě (Kulp & Ponte 2000). Na obrázcích č. 1 a č. 2 jsou vyobrazeny klas a zrna pšenice. Klas je nelámaný a může být jak osinatý, tak bezosinatý. Obilky jsou nahé a spíše oblé, na jedné straně mírně ochmýřené (Kopáčová 2007). Pšenice se stala nejpěstovanější plodinou vzhledem k jejím nutričním hodnotám, snadnému sklizení, skladování a zpracování (Kulp & Ponte 2000). Pěstuje se v různých klimatických podmínkách, od chladného Ruska až po Indii (González-Pérez & Arellano 2009). Nejpěstovanějším druhem v dnešní době je pšenice setá (*Triticum*

aestivum subsp. vulgare) a pšenice tvrdá (*Triticum durum*), která se využívá zejména k výrobě těstovin (Kopáčová 2007). U pšenice se rozlišuje také jarní a ozimá forma, přičemž ozimá forma je častější a představuje asi 94 % plochy v České republice. Tento druh pšenice se seje na podzim a sklízí v létě následujícího roku. Jarní forma se seje brzy z jara a sklízí se také v létě (Zimolka et al. 2005).

Obsah bílkovin v pšenici se pohybuje v rozmezí 8–20 %. Nejvyšší podíl se nachází v aleuronové vrstvě a v klíčku. V obilovinách se nachází 4 typy bílkovin a to albuminy, globuliny, prolaminy a gluteliny, přičemž v pšenici jsou prolaminy a gluteliny zastoupeny nejvíce, a to přibližně z 80 % (Prugar et al. 2008). Tyto bílkoviny se nazývají glutenové neboli lepkové. Díky nim je možné vytvořit pružné a elastické těsto potřebné k výrobě kvasného chlebu, rohlíků a jiných druhů potravin (Khan & Shewry 2009). Tyto glutenové bílkoviny, zejména prolaminy, v pšenici zvané gliadiny, ale nemají jen pozitivní vlastnosti, neboť u některých jedinců mohou vyvolávat celiakii, alergii na lepek a jiné zdravotní potíže. Tyto potíže však nezpůsobuje pouze pšenice, ale i další druhy obilovin, nicméně právě v pšenici je obsah prolaminů nejvyšší (Prugar et al. 2008).



Obrázek č. 1: Klas pšenice



Obrázek č. 2: Zrna pšenice

3.1.2 Žito

Žito (*Secale sp.*) je tradiční obilnina v severní a východní Evropě (Poutanen & Äman 2017). Na obrázcích č. 3 a č. 4 jsou znázorněny klasy a zrna žita. Zralá rostlina žita má štíhlý a tuhý stonek. Výška rostlin může dosahovat od 30 cm až do více jak 2 metrů. Květenství má dlouhé takzvané vousy. Obilky jsou štíhlejší a delší než pšeničné. Jejich barva je šedavě žlutá, mohou se vyskytovat i jemné odstíny zelené (Sapirstein & Bushuk 2016). Žito je odolné vůči chladu, proto může být pěstováno i v chladných oblastech s méně úrodnou půdou, což nemusí

být vhodné pro jiné typy obilnin (Poutanen & Åman 2017). Obsahuje velké množství vlákniny, která se nachází především v jádru. Tato vláknina se skládá z arabinoxylanů, celulózy, β -glukanů, fruktanů a ligninu. Rozpustné složky vlákniny, což znamená arabinoxylany a β -glukany jsou spolu s fruktany nejsnadněji fermentovatelným substrátem pro mikrobiotu tlustého střeva, což příznivě ovlivňuje gastrointestinální trakt a celkové zdraví. Nerozpustné složky vlákniny ovlivňují průchod střev, což může snížit riziko zácpy, zánětů a také mohou přispět ke snížení rizika kolorektálního karcinomu (Jonsson et al. 2018).

V České republice se pěstuje zejména ozimá forma žita, a to až z 90 % určená k potravinářskému využití. Zbylých přibližně 10 % produkce slouží ke krmení, případně k lihovarnickému využití.

Bílkoviny v žitu představují 9–12 % z obilky a technologicky mají menší význam než bílkoviny pšenice. Žitné proteiny obsahují vyšší podíl albuminů a globulinů než pšeničné. Tyto druhy bílkovin jsou bohaté na esenciální aminokyseliny, s čímž souvisí i vyšší obsah aminokyseliny lysinu oproti pšenici. Dále je v žitu vyšší obsah methioninu, valinu, argininu a threoninu (Prugar et al. 2008).



Obrázek č. 3: Klas žita



Obrázek č. 4: Zrna žita

3.1.3 Ječmen

Ječmen (*Hordeum sp.*) je jednou z prvních pěstovaných obilnin na světě. V 15. století tvořil chléb z ječmene a žita základní potravu rolníků a chudších obyvatel Anglie. Pouze šlechtici si mohli dovolit chléb pšeničný (Rosentrater & Evers 2018). V dnešní době se však poměrně málo využívá k přímé lidské výživě. Většina celkové produkce se používá především k výrobě nápojů, krmiv pro zvířata a sladu, což je naklíčené a usušené zrno. Podíl ječmene ve stravě by však bylo vhodné zvýšit, jelikož přispívá ke snížení rizika koronárních onemocnění srdce, diabetu a rakoviny tlustého střeva (Shewry & Ullrich 2014).

Ječmen se považuje za funkční potravinu vzhledem k jeho vysokému obsahu bioaktivních látek, jako jsou β -glukany, což je druh rozpustné vlákniny. Tyto látky jsou významné především díky jejich schopnostem snížit hladinu cholesterolu v krvi, zlepšit metabolismus lipidů a také snížit glykemický index. Obsah β -glukanů v ječmeni se pohybuje od 2 do 11 % a ovlivňuje ho genetika rostliny a také environmentální podmínky (Messia et al. 2019).

Na obrázku č. 5 je zobrazen klas ječmene dvouřadého, který má podobně jako žitný klas dlouhé vousy. Kromě dvouřadého ječmene existují i odrůdy víceřadé, respektive ječmen čtyřřadý a šestřadý. Všechny tyto odrůdy mají obilku ukrytou v tvrdé pluše, což je vidět na obrázku č. 6. Jedinou výjimkou je ječmen nahý, jehož obilky pluchu nemají (Kopáčová 2007).



Obrázek č. 5: Klas ječmene



Obrázek č. 6: Zrna ječmene

3.1.4 Oves

S porovnáním s ostatními obilovinami má oves (*Avena sp.*) vysoký obsah lipidů, a to přibližně od 2 až do 13 %. Je také plodinou s vysokým obsahem bílkovin, vlákniny a minerálních látek a pozitivně ovlivňuje hladinu krevní glukózy, tělesnou hmotnost a krevní tlak (Webster & Wood 2011). Oves setý (*Avena sativa*) má podlouhlá pluchatá zrna, proto dochází při loupání k vysokým ztrátám. Výjimkou je oves nahý (*Avena nuda*), který nemá pluchu přirostlou k zrnu. Tento druh ovsa je ale méně odolný vůči mechanickému poškození a z toho důvodu je i méně stabilní při skladování (Kopáčová 2007). Oves je schopný růst i v chladnějším klimatu a na méně úrodné půdě. Je pěstován především pro výrobu krmiv zvířatům, pouze malý podíl se produkuje pro lidskou spotřebu, a to především ve formě ovesných vloček a ovesné mouky. Dále se oves může používat na výrobu kosmetiky a lepidel (McKevith 2004).

Role ovsu v bezpečkové výživě je velmi diskutabilní. Oves je v evropských předpisech uveden na seznamu bezpečkových složek. Některé studie však tvrdí, že je oves pro lidi s celiakií

sice bezpečný, ale že hlavním problémem je sekundární kontaminace jinými obilovinami. Jiné studie mají za to, že existuje mnoho odrůd ovsa, mající různou imunoreaktivitu spojenou s bílkovinami prolaminy, proto je nelze jednoznačně označit za bezpečné (Comino et al. 2015).

Na obrázku č. 7 je znázorněn klas ovsa. Druh květenství je lata. Na obrázku č. 8 lze vidět zrna ovsa. Tato zrna jsou zřetelně podlouhlá, štíhlá a povrch mají pokrytý chlupy (Zwer 2016).



Obrázek č. 7: Klas ovsa



Obrázek č. 8: Zrna ovsa

3.1.5 Triticale

Triticale (*Triticosecale sp.*) neboli žitovec je prvním člověkem vytvořeným druhem obiloviny (Furman 2016). V 19. století vzniklo zkřížením pšenice jako mateřské rostliny a žita jako otcovské rostliny za účelem zlepšení vlastností obilovin. Důvodem křížení těchto dvou obilnin byla odolnost žita vůči nepříznivým podmínkám a univerzálnost použití pšenice (Zhu 2018). Další výhodou je vysoký obsah bílkovin a to 15–20 % (Velíšek & Hajšlová 2009a). Stejně jako jeho předchůdci i triticale obsahuje lepek, čímž se stává nevhodným pro celiaky, lidi trpící alergií na lepek a jinými problémy s ním spojenými (Zhu 2018). Triticale se používá nejčastěji pro krmení zvířat. Použití pro lidskou spotřebu je značně omezené, i když mouku nebo určité výrobky jako vločky z triticale lze najít ve specializovaných obchodech (Furman 2016). Zrno triticale má také tu výhodu, že je měkčí než zrno pšenice, díky této jeho vlastnosti dochází k menšímu poškození škrobu při mletí (Wrigley & Bushuk 2017). Co se týče aminokyselin, obsahuje triticale více esenciální aminokyseliny lysinu než ostatní obiloviny.

Obrázek č. 9 zobrazuje klas triticale. Na obrázku č. 10 jsou zrna triticale, která jsou poněkud větší než zrna ostatních obilovin. U některých odrůd může mít obilka svaštělý povrch (Kopáčová 2007).



Obrázek č. 9: Klas triticales



Obrázek č. 10: Zrna triticales

3.1.6 Tritordeum

Tritordeum je novým křížencem pšenice tvrdé (*Triticum durum*) a planého, jinak také divokého ječmene (*Hordeum chilense*). Jeho klas a zrna jsou znázorněna na obrázcích č. 11 a č. 12. Má dobré nutriční a organoleptické vlastnosti a je vysoce odolný proti suchu a tepelnému stresu (CSIC 2013). Tento kříženec je vhodný pro výrobu mnoha produktů, kterými jsou pečivo, cereálie, těstoviny a také pivo. Výhodou tritordea je vysoký obsah luteinu, barviva patřícího mezi karotenoidy, který má pozitivní vliv na zdraví očí a také chrání pokožku před škodlivým UV zářením a předčasným stárnutím (Oancea 2017). Obilovina obsahuje také vysoký podíl vlákniny a bílkovin a to od 18 do 25 % (Gallardo & Fereres 1993). Vaquero et al. (2017) svým výzkumem zjistili, že mouka z tritordea má méně gliadinů než pšeničná mouka, a tím je i lépe stravitelná. Gliadiny neboli prolaminy jsou bílkoviny obecně obsažené v obilovinách, avšak celkový obsah lepku v mouce z tritordea je výrazně nižší než v pšenici. Přestože má tritordeum této látky méně, je stále nevhodné pro celiaky a lidi, kterým způsobuje lepek jakékoliv zdravotní potíže.



Obrázek č. 11: Klas tritordea



Obrázek č. 12: Zrna tritordea

3.1.7 Kukuřice

Kukuřice (*Zea mays*), jejíž porosty jsou vyobrazeny na obrázku č. 13, má mnoho využití. Jednak je to potravinu k výživě lidí, dále se používá jako krmivo pro zvířata a využívá se i jako surovina pro výrobu biopaliv, pseudoplastů a dalších materiálů. Kukuřice je také známá pro svůj vysoký obsah škrobu, bílkovin, oleje a dalších hodnotných látek. Hlavními proteiny v kukuřičném jádru jsou zeiny, které patří do skupiny prolaminů a tvoří asi 60 % z celkového množství bílkovin (Serna-Saldivar 2019). Zrna kukuřice mohou mít různé barvy. Existují bílá, žlutá nebo načervenalá zrna (Rosentrater & Evers 2018). Rozlišují se i určité convariety kukuřice, které se dělí podle endospermu zrna. Nejvýznamnější je kukuřice koňský zub (*Zea mays* convar. *indentata*), dále například kukuřice cukrová (*Zea mays* convar. *saccharata*), která obsahuje amyloextrin rozpustný ve vodě a používá se jako zelenina na vaření a konzervování nebo kukuřice pukancová (*Zea mays* convar. *evarta*), používající se k výrobě pukanců a vloček (Kopáčová 2007).



Obrázek č. 13: Porosty kukuřice

3.1.8 Rýže

Rýže (*Oryza sativa*), zobrazená na obrázku č. 14, je jednou z nejdůležitějších a nejrozšířenějších plodin. Pěstuje se po celém světě, zejména však v Asii. Ze všech obilovin má nejnižší obsah vlákniny a bílkovin. Nejvíce vlákniny obsahují vnější vrstvy, endosperm je bohatý škrob (Bao 2019). Chemické složení rýže se mění během mletí. Odstranění vnějších otrub způsobuje ztrátu bílkovin, tuků a velkého množství vlákniny, vitamínů a minerálů (Arendt

& Dal Bello 2008). Rýže je lehce stravitelná, neobsahuje žádný cholesterol, má pouze velmi malé množství tuku a neobsahuje lepek, proto se hodí k časté konzumaci (Kopáčová 2007).

Rýžové zrno se skládá z vnějšího ochranného obalu neboli lusku a jedlé obilky. Hnědá rýže nemá odstraněnou obalovou vrstvu, která má v sobě pigment, a navíc obsahuje vitamíny a minerální látky. Divoká neboli indiánská rýže nemá s klasickou rýží nic společného. Je to zrno rostliny rodu *Zizania* (česky ovsucha), což je vodní tráva rostoucí především v Kanadě a v USA (McKevith 2004; Ústav experimentální botaniky AV ČR 2012).



Obrázek č. 14: Rýže

3.2 Morfologické složení obilky

Obilné zrno se skládá z endospermu, klíčku a obalových vrstev, zrno i s popiskem je zobrazeno na obrázku č. 15. Tyto vrstvy mají různé funkce při vývoji obilného zrna a z tohoto důvodu jsou tvořeny různými strukturami a mají odlišné složení (Brouns et al. 2012). Morfologická stavba obilky všech obilovin je dost podobná, liší se hlavně tvarem, velikostí, hmotností a podílem jednotlivých vrstev (Kopáčová 2007). Endosperm představuje největší část zrna a to přes 80 %, dále jsou obalové vrstvy, které činí 15 % a nejmenší část zabírá klíček a to okolo 5 % (Velíšek & Hajšlová 2009a).

3.2.1 Endosperm a aleuronová vrstva

Botanicky se endosperm skládá ze škrobového endospermu (70–80 % jádra) a vrstvou aleuronových buněk, která obsahuje bílkoviny, tuky, enzymy, minerální látky a vitamíny (Belitz et al. 2009). Aleuronová vrstva obaluje endosperm, a to buď v jedné vrstvě, jako je to v pšenici, žitu, ovsu a kukuřici anebo ve třech vrstvách, jako v rýži a ječmeni (McKevith 2004). Obsahuje téměř dvakrát více bílkovin než endosperm a příjem těchto vrstev zvyšuje stravitelnost potravy a snižuje riziko chronických a kardiovaskulárních onemocnění (Nirmal et al. 2019). Aleuronová vrstva je připojena k hyalinové vrstvě, a proto je často při zpracování odstraněna od endospermu a je považována za část otrub nebo je vymleta společně s endospermem do mouky (Fardet 2010; Brouns et al. 2012).

3.2.2 Klíček

Klíček neboli embryo je zárodkem nové rostliny a je nositelem genetické informace. Při mlýnských úpravách se odděluje. Je bohatý na enzymy a tuky, což způsobuje jeho rychlé žluknutí (Příhoda et al. 2003; Belitz et al. 2009). V případě, že se klíčky zpracovávají, musí se dané enzymy během několika hodin inhibovat, aby se zabránilo nežádoucím reakcím (Kopáčová 2007).

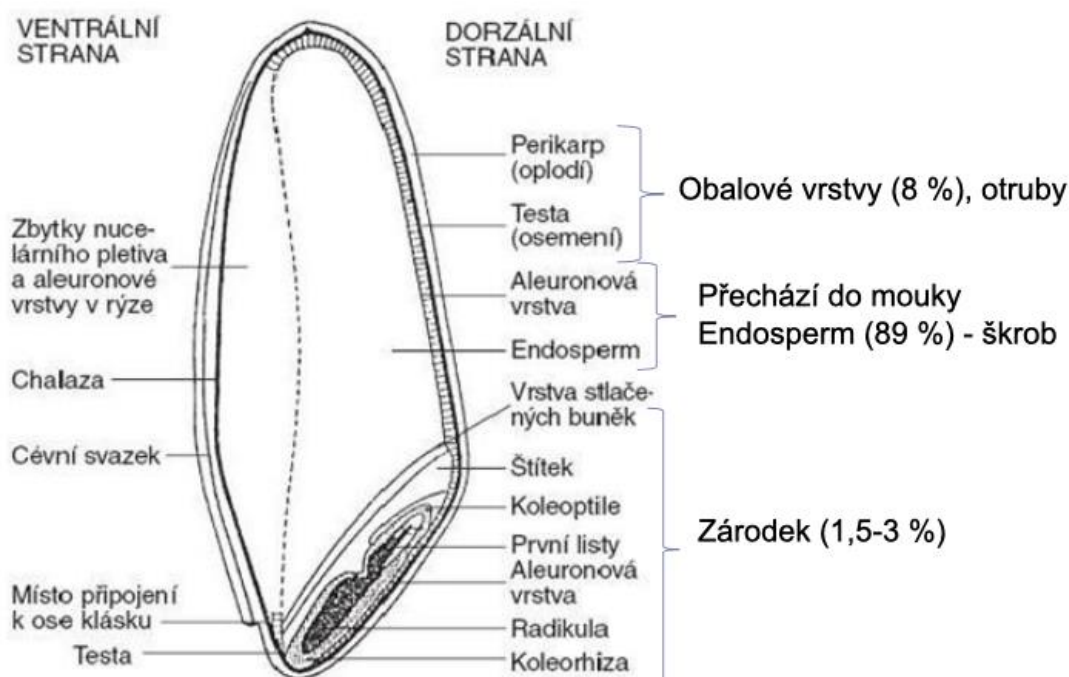
3.2.3 Obalové vrstvy

Tyto vrstvy, které lze též nazývat i otruby, chrání obilku před mechanickým nebo mikrobiologickým poškozením, případně vyrovnávají vlhkost obilky. Z potravinářského hlediska obsahují obalové vrstvy nestravitelnou vlákninu, která pozitivně ovlivňuje funkčnost lidského těla. Vnější vrstvy jsou složeny z nerozpustných polysacharidů, jako je celulóza a podpovrchové vrstvy obsahují polysacharidy, které ve vodě bobtnají nebo se částečně rozpouští (Příhoda et al. 2003).

Otruby jsou vedlejším produktem při zpracování mouky a jsou tvořeny několika tkáněmi:

- vnější perikarp (oplodí)
- vnitřní perikarp (oplodí)
- testa (osemení)
- hyalinová vrstva
- aleuronová vrstva se zbytky endospermu

Perikarp je tvořen především celulózou a slouží k ochraně zrna před mechanickým poškozením. Testa neboli osemení je hydrofobní vrstva obsahující lipidy a barviva určující barevný vzhled obilky (Kopáčová 2007). Hyalinová vrstva obsahuje zejména arabinoxylany, což jsou polysacharidy zajišťující zvýšení viskozity, tvorbu gelu a absorpci vody (Phillips & Williams 2009; Brouns et al. 2012), což přispívá k udržování vlhkosti zrna. Všechny tyto části tvoří dohromady pevnou vrstvu, která při mletí zrna přechází do otrub (Kopáčová 2007).



Obrázek č. 15: Stavba obilky

3.3 Chemické složení obilovin

3.3.1 Vitamíny

Vitamíny jsou organické nízkomolekulární sloučeniny, které jsou v určitém množství nezbytné pro člověka. Nejčastěji fungují jako biokatalyzátory biochemických reakcí. Vitamíny se dělí dle rozpustnosti, a to na lipofilní neboli vitamíny rozpustné v tucích a hydrofilní, což jsou vitamíny rozpustné ve vodě. Mezi lipofilní patří vitamíny A, D, E, K a k hydrofilním patří vitamíny skupiny B a vitamín C, jinak také L-askorbová kyselina (Velíšek & Hajšlová 2009a). Rozdíl mezi nimi je ten, že lipofilní vitamíny se v lidském těle ukládají i na několik let, proto může hrozit předávkování, jinak také hypervitaminóza. Hydrofilní se postupně vylučují močí, proto je předávkování neboli hypervitaminóza téměř nemožné. Savci si vitamíny neumí sami syntetizovat, proto je musí stále přijímat potravou, aby nedošlo k jejich deficienci –

hypovitaminóze, v horším případě avitaminóze, což je úplná absence vitamínu v těle (Merkunová & Orel 2008). Vitamíny se v obilných zrnech vyskytují zejména v klíčku a aleuronové vrstvě. Tyto dvě části se však často při mlýnském zpracování oddělují do otrub a tmavých krmných mouk, proto jsou světlé mouky používané k výživě často o značnou část vitamínů ochuzeny (Prugar et al. 2008).

Vitamín B₁, jinak také thiamin (obrázek č. 16) se podílí na zlepšení nálady, posiluje srdce, zlepšuje problémy s pálením žáhy a také má funkci antioxidantu (Fardet 2010). Nedostatek může vyvolat nemoc beriberi. Jsou dva typy této nemoci. První forma se nazývá suché beriberi a projevuje se jako neurologické onemocnění. Druhá forma je mokré beriberi, což se projevuje kardiovaskulárním onemocněním (Hanninen et al. 2006).

Niacin, nikotinamid, kyselina nikotinová, vitamín B₃ (obrázek č. 17) dalším názvem také vitamín PP se podílí na replikaci DNA a produkci steroidních hormonů v nadledvinách (Fardet 2010). Niacin není skutečným vitamínem, protože může být syntetizován v metabolické cestě aminokyseliny tryptofanu (Lule et al. 2016). Ovlivňuje stav kůže a chrání před vznikem rakoviny, kardiovaskulárních onemocnění a také zlepšuje duševní zdraví a snižuje riziko vzniku schizofrenie, deprese a nespavosti (Fardet 2010). Jeho velký nedostatek může vést k onemocnění zvané pelagra, problémům s trávením a funkcí mozku (Lule et al. 2016).

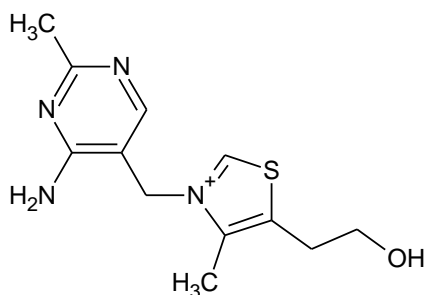
Vitamín B₆, pyridoxin (obrázek č. 18) je důležitý pro téměř každou funkci v lidském těle. Hlavní roli hraje v metabolismu bílkovin a také při tvorbě erytrocytů, protilátek a neurotransmiterů, což jsou látky, které slouží k přenášení nervových vzruchů. Ovlivňuje zdraví srdce a duševní zdraví, slouží jako prevence před depresemi, únavou, nespavostí. Dále chrání před kolorektální rakovinou a astmatickými záchvaty (Fardet 2010).

Biotin, vitamín B₇, také nazývaný vitamínem H (obrázek č. 19) je látka nezbytná pro normální funkci buněk, jejich růst a vývoj (Dasgupta 2019). Důležitý je také pro zdravý stav kůže, vlasů a nehtů. Účastní se metabolismu tuků a sacharidů a tělo bez něj nemůže tuky spalovat. Zajímavostí spojenou s biotinem je skutečnost, že jeho nedostatek může způsobit konzumace syrových vajec například sportovci. Surový vaječný bílek obsahuje protein avidin, který se váže na biotin, a tím zabraňuje jeho vstřebání. Tepelnou úpravou vejce se avidin zničí. (Kleiner & Greenwood-Robinson 2010). Nedostatek biotinu se vyznačuje dermatitidami, špatným stavem nehtů a vlasů, poruchami sluchu a zraku. Může dojít i k vývojovému opoždění dětí (Dasgupta 2019).

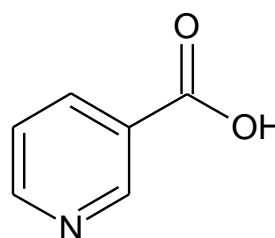
Listová kyselina, folacin, folát, kyselina folová, jinak také vitamín B₉ (obrázek č. 20) má antikarcinogenní účinky. Chrání před kardiovaskulárním onemocněním, rakovinou tlustého střeva a pozitivně ovlivňuje plodnost (Fardet 2010). Nedostatek tohoto vitamínu může

způsobovat dermatitidy, vypadávání vlasů, únavu nebo neurologické poškození. Příčinou nedostatku může být mimo poruchy stravování nebo alkoholismus také celiakie, Crohnova choroba a chronická pankreatitida (Sobczyńska-Malefora 2019).

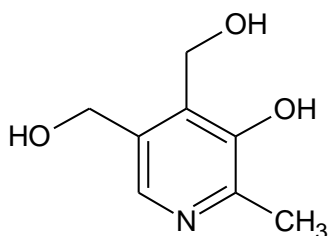
Dalším vitamínem přítomným v obilovinách je vitamín E (obrázek č. 21), který patří do skupiny lipofilních vitamínů. Je důležitý pro správnou tvorbu červených krvinek a působí jako antioxidant, který zabraňuje poškození tkání volnými radikály. Dostatečný příjem vitamínu E chrání lidské tělo proti kardiovaskulárním nemocem a neurologickým postižením (Kleiner & Greenwood-Robinson 2010; Leonard & Traber 2019).



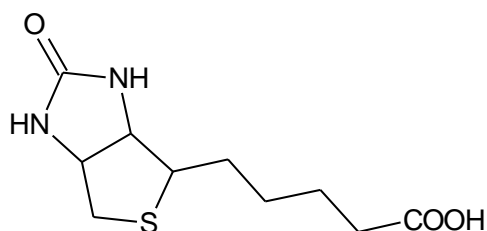
Obrázek č. 16: Vitamín B₁



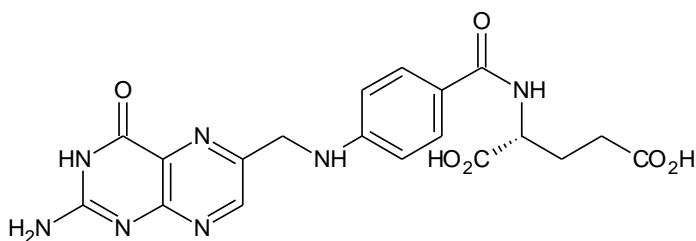
Obrázek č. 17: Vitamín B₃



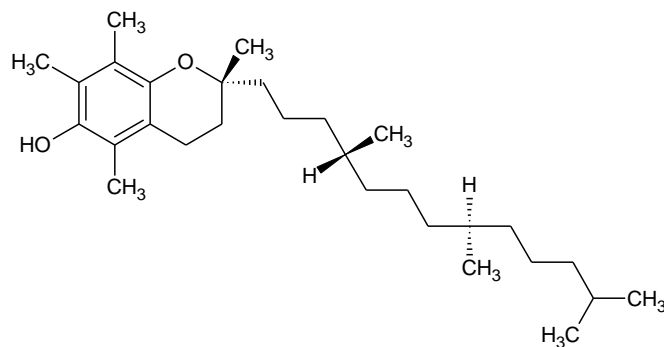
Obrázek č. 18: Vitamín B₆



Obrázek č. 19: Vitamín B₇



Obrázek č. 20: Vitamín B₉



Obrázek č. 21: Vitamín E

3.3.2 Sacharidy

Pro lidi jsou sacharidy hlavním zdrojem energie a obvykle zastupují 45–70 % celkového denního příjmu. Představují 65–75 % z celé obilky, přičemž největší procentuální zastoupení má škrob. Sacharidy se dělí podle jejich molekulární velikosti a také podle stupně polykondenzace. Každá skupina je rozdělena podle počtu sacharidových jednotek na monosacharidy, disacharidy, oligosacharidy a polysacharidy. Monosacharidy mají jednu sacharidovou jednotku, disacharidy 2 a oligosacharidy 2–10 sacharidových jednotek. Polysacharidy, jinak také glykany jsou složeny z více než deseti sacharidových jednotek, jsou stejně jako ostatní sacharidy s více jednotkami spojeny glykosidickou vazbou a v rostlině mají zásobní funkci. V obilovinách mohou být buď škrobové polysacharidy skládající se z amylozy a amylopektinu nebo neškrobové, což jsou v obilovinách zejména hemicelulózy. V pšenici a žitu jsou to především arabinoxylany a v ječmeni a ovsu β -glukany. Z neškrobových polysacharidů se dále v obilovinách vyskytují fruktany, xyloglukany a celulóza. Obsah polysacharidů v obilné mouce se mění na základě jejího vymletí. Čím více je mouka vymletá, tím má vyšší obsah neškrobových polysacharidů (Velíšek & Hajšlová 2009a; Lafiandra et al. 2014).

Celulóza je hlavní složkou buněčné stěny rostlin. Je ve vodě nerozpustná a je odolná vůči trávicím enzymům v tenkém střevě. Může být však částečně fermentována ve střevě tlustém, což vede k produkci mastných kyselin s krátkým řetězcem. Díky své schopnosti zachytávat vodu dělá celulóza stolicí objemnější. Také zlepšuje eliminaci možných karcinogenů právě díky mastným kyselinám s krátkým řetězcem a zkracuje dobu průchodu střevem. Mimo obiloviny se celulóza nachází také v luštěninách, ovoci, zelenině nebo ořeších (Ciudad-Mulero et al. 2019).

Hemicelulózy se také nachází v buněčné stěně, ale od celulózy se liší druhem monosacharidů, které obsahuje a také tím, že má menší molekulu (Dhingra et al. 2011). Arabinoxylany jsou složkou hemicelulóz. Nejčastěji se vyskytují v otrubách nebo v endospermu. Tyto látky posilují imunitní systém a chrání před kardiovaskulárními chorobami, obezitou, rakovinou tlustého střeva a snižují poškození jater a zvyšují počet probiotických bakterií ve střevě (Chen et al. 2019). β -glukany se nachází v buněčných stěnách endospermu a v aleuronových buňkách. Mají pozitivní vliv na zdraví člověka, protože regulují hladinu glukózy v krvi (Yuan et al. 2019). Hemicelulózy podporují pravidelné peristaltické pohyby střev zvýšením hydratace stolice. Také na sebe vážou cholesterol a zabraňují jeho absorpci. Hemicelulózy jsou štěpeny střevní mikrobiotou, čímž zvyšují počet prospěšných

bakterií ve střevě a produkují stejně jako celulóza mastné kyseliny s krátkým řetězcem neboli SCFA. Mimo obiloviny jsou tyto látky přítomny také v zelenině, ovoci, luštěninách a ořechích, stejně jako celulóza (Ciudad-Mulero et al. 2019).

3.3.2.1 Vlákna

Vlákna je zbytkem buněčných stěn rostlinných pletiv (Prugar et al. 2008) a je jednou ze složek, která ovlivňuje stravitelnost sacharidů, hladinu glukózy v krvi a také snižuje hladinu cholesterolu v krvi, čímž chrání proti kardiovaskulárním onemocněním. Pro lidské tělo je prospěšná také tím, že slouží jako prevence proti zácpě (konstipaci), vředům, hemoroidům a také před rakovinou střev a konečníku (Velíšek & Hajšlová 2009a). Skládá se ze dvou hlavních složek. První složka je ve vodě nerozpustná a patří do ní celulóza, část hemicelulóz a lignin. Druhá složka, nazývaná rozpustná vlákna je ve vodě gumovitá a zahrnuje druhou část hemicelulóz, a to arabinoxylany a β -glukany, pektiny, gumy a slizy (Dhingra et al. 2011). Nerozpustná vlákna zvětšuje objem potravy, zkracuje dobu průchodu trávicím traktem a také zlepšuje peristaltiku střev. Rozpustná vlákna zvyšuje viskozitu tráveniny v žaludku a ve střevě (Velíšek & Hajšlová 2009a).

Vlákna není trávena a absorbována v tenkém střevě, ale prochází až do střeva tlustého, kde dochází k její degradaci bakteriemi. Pouze rozpustná vlákna je částečně trávena trávicími enzymy již v tenkém střevě (Lafiandra et al. 2014).

3.3.2.2 Škrob

Škrob je hlavním zásobním polysacharidem vyšších rostlin. Rozlišují se 3 typy škrobu na základě rychlosti jeho trávení. První typ je rychle stravitelný, druhý pomalu stravitelný a třetí je zastoupen rezistentním škrobem (Ciudad-Mulero et al. 2019). Jeho molekula se skládá ze dvou vysokomolekulárních látek, amylozy a amylopektinu. Obě tyto látky jsou složeny z glukózy. Amylóza je menší, většinou lineární a amylopektin je větší a vysoce rozvětvený (Caballero 2003). V běžných druzích obilovin je přítomno přibližně 25 % amylozy. V takzvaných voskových odrůdách, mezi něž patří například rýže a kukuřice je většina škrobu tvořena amylopektinem. Tento podíl škrobu však nemůže být stráven a absorbován v tenkém střevě a z toho důvodu je označován jako rezistentní škrob (McKevith 2004), který se řadí do následujících čtyř kategorií:

- RS1 – fyzikálně nepřístupný škrob; například škrob v luštěninách, je součástí buněčné stěny, není přístupný enzymové hydrolýze a pouze prochází tenkým střevem
- RS2 – nativní škrob obsažený ve škrobových zrnech; například škrob syrových brambor, banánů nebo kukuřičný škrob
- RS3 – retrogradovaný škrob tvořený převážně amylázou; nachází se ve vařených bramborách, kukuřičných vločkách nebo chlebu
- RS4 – chemicky modifikovaný škrob, rezistentní proti enzymatické hydrolýze; nachází se v některých nápojích a potravinách, v nichž byly modifikované škroby použity (chleby, koláče)

Vzhledem ke svému prebiotickému účinku přispívá rezistentní škrob ke zdraví tlustého střeva. Během fermentace těchto škrobů vzniká velké množství butyrátu – soli kyseliny máselné, který je hlavní živinou pro kolonocyty, což jsou buňky na sliznici tlustého střeva, které jsou důležitou součástí slizniční bariéry chránící vnitřní povrch střeva při tvorbě a posuvu odpadních látek. Tímto způsobem může rezistentní škrob snížit riziko onemocnění tlustého střeva (Šárka et al. 2013; Ciudad-Mulero et al. 2019).

3.3.3 Lipidy

Obsah lipidů v obilovinách je velmi nízký. V obilném zrně se olej ukládá nejčastěji v embryu, jinak také v klíčku, a to ve formě triacylglycerolů. V pšenici, ječmenu, rýži a žitu tvoří lipidy asi 2–3 % hmotnosti. Kukuřice je na obsah lipidů o něco bohatší a lipidy tvoří 4 % hmotnosti. Kukuřičný olej je uložen v embryu a ve vrstvě aleuronových buněk (Barthole et al. 2012). Nejvíce lipidů obsahuje oves a to přibližně 5–10 %. V tucích jsou také uloženy lipofilní vitamíny, v obilovinách jde především o vitamín E (Kopáčová 2007).

3.3.4 Proteiny

Obiloviny obsahují přibližně 6–15 % bílkovin (Kopáčová 2007). Tyto látky mají v obilce důležité funkce jako je energetická zásoba, stavební nebo metabolické funkce (Guerrieri & Cavaletto 2018). Obilné bílkoviny jsou charakterizovány vysokým obsahem glutamové kyseliny a prolinu, přičemž obecně mají nedostatek lysinu. Výjimku tvoří žito, v žitných bílkovinách je hlavní limitující aminokyselinou tryptofan (González-Pérez & Arellano 2009). Obsah proteinů v obilovinách je vyšší ve vnějších vrstvách než v endospermu. Bílkoviny

v mouce tak závisí na stupni vymletí a samozřejmě také na druhu obiloviny. Tmavé celozrnné mouky mají vyšší obsah proteinů než bílé, rozdíl může být až 4 %. Pšeničná mouka obvykle obsahuje okolo 10 % bílkovin (Velíšek & Hajšlová 2009a). Asi 80 % z celkového obsahu bílkovin tvoří lepek, to znamená prolaminy a gluteliny. Zbylých 20 % tvoří albuminy a globuliny (González-Pérez & Arellano 2009).

3.3.4.1 Albuminy

Albuminy jsou neutrální bílkoviny, které jsou ve vodě dobře rozpustné (Velíšek & Hajšlová 2009a). Kromě vysokého obsahu dusíku jsou albuminy také bohaté na cystein. Bylo zjištěno, že tvoří 20 až 60 % celkových bílkovin v semenech dvouděložných rostlin.

Albuminy se skládají ze dvou polypeptidových řetězců spojených disulfidickými vazbami (González-Pérez & Arellano 2009).

3.3.4.2 Globuliny

Globuliny jsou slabě kyselé bílkoviny, ve vodě nerozpustné. Rozpustné jsou pouze ve zředěných roztocích solí, např. v 5% roztoku chloridu sodného, kyselin a zásad (Velíšek & Hajšlová 2009a). Některé globuliny patří mezi inhibitory trypsinu a α -amylázy. Trypsin je enzym rozkládající bílkoviny a α -amyláza je enzym rozkládající sacharidy. Dále bylo také prokázáno, že globuliny působí jako alergeny vyvolávající pekárenské astma a alergii na lepek (Scherf et al. 2016).

3.3.4.3 Prolaminy

Prolaminy, často nazývány jako gliadiny (Velíšek & Hajšlová 2009a) jsou hlavním proteinem v obilovinách s výjimkou rýže a ovsa, kde jsou hlavními bílkovinami gluteliny a globuliny (González-Pérez & Arellano 2009). Jsou to látky nerozpustné ve vodě. Rozpustné jsou pouze ve zředěných roztocích solí, kyselin a zásad a také v 70% ethanolu. Mezi tyto proteiny se řadí zejména rostlinné bílkoviny obsahující velké množství prolinu a glutaminu, nicméně neobsahují žádný lysin (Velíšek & Hajšlová 2009a). V obilovinách jsou přítomny jako samostatné jednotky nebo malé agregáty.

Prolaminům jsou přiřazeny triviální názvy podle původu jako je gliadin nacházející se v pšenici, hordein v ječmenu, zein v kukuřici, sekalin v žitu nebo avenin v ovsu (González-Pérez & Arellano, 2009).

3.3.4.4 Gluteliny

Gluteliny jsou stejně jako prolaminy nerozpustné ve vodě, ale jsou rozpustné ve zředěných roztocích solí, kyselin, zásad a hydroxidu amonném. Od prolaminů se liší tím, že nejsou rozpustné v ethanolu a teplem koagulují. Obsahují vysoké množství glutamové kyseliny (Velíšek & Hajšlová 2009a). Gluteliny tvoří v obilovinách velké agregáty spojené disulfidickým můstkem (González-Pérez & Arellano 2009).

Typickým příkladem je pšeničný glutenin nebo oryzenin rýže (Velíšek & Hajšlová 2009a).

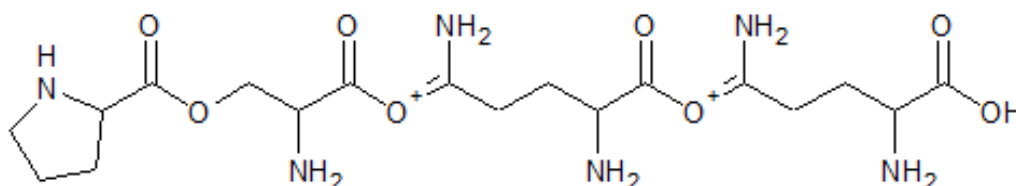
3.4 Lepek

Lepek neboli gluten je označení pro skupinu ve vodě a v 0,5M NaCl nerozpustných bílkovin nacházejících se v pšenici, prolaminů a glutelinů. Označení lepek se také používá pro skupiny bílkovin v žitu, ječmeni a ovsu. Posledně jmenované obiloviny obsahují také gluteliny a prolaminy, nicméně jiné druhy než pšenice a také jsou zastoupeny v jiných poměrech. Nemají však svůj vlastní název, proto se pro ně používá to samé označení jako u pšenice (Stamnaes & Sollid 2015). V pšenici jsou zastoupeny prolaminy, v této obilovině nazvané gliadiny z 32,6 % a gluteliny, zde gluteniny ze 45,7 %. Žito obsahuje prolaminy, zvané v něm sekaliny z 20,9 % a gluteliny sekalininy z 24,5 %. V ječmeni se nazývají prolaminy hordeiny a mají 25% zastoupení, gluteliny hordeniny jsou obsaženy z 54,5 % (Velíšek & Hajšlová 2009a). V ovsu je obsah lepku velice sporný. Oves obsahuje bílkovinu avenin, což je látka podobná lepku, která u velmi citlivých jedinců může vyvolávat příznaky podobné celiakii nebo alergii na lepek. Samotný oves přímo lepek ale neobsahuje, často se však pěstuje v blízkosti pšenice, ječmene nebo žita a také s těmito obilovinami přichází obvykle do styku při sklizení a zpracování, a proto může dojít ke kontaminaci ovsu lepkem (Stamnaes & Sollid 2015; Dennis et al. 2018). Funkcí glutenových bílkovin je ukládání uhlíku, dusíku a síry v endospermu pro podporu klíčení semen a růstu sazenic (Caminero et al. 2014).

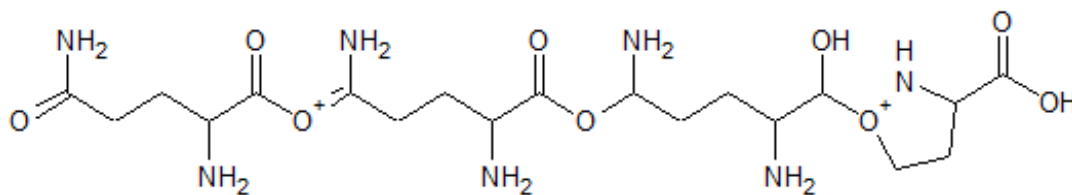
Lepek obsahuje 90 % bílkovin, 8 % tuků a 2 % sacharidů. Ze sacharidů jsou přítomny zejména pentosany nerozpustné ve vodě, které jsou schopné vázat a udržovat významné

množství vody, zatímco lipidy tvoří komplex lipoproteinů s glutenovými bílkovinami. Tento komplex je zodpovědný za soudržné vlastnosti a elasticitu těsta (Belitz et al. 2009).

Prolaminy a gluteliny jsou rozděleny podle jejich rozpustnosti na α -, γ - a ω -gliadiny a gluteliny se rozdělují na typy s vysokou a na typy s nízkou molekulovou hmotností (Stamnaes & Sollid 2015). Lepkové bílkoviny jsou zajímavé především díky jejich aminokyselinovému spektru, které se vyznačuje vysokým obsahem glutaminu a prolinu (Wieser 2007). Jsou odolné vůči trávení v trávicím traktu (Vaquero et al. 2017) a také zčásti způsobují chronické onemocnění zvané celiakie. Onemocnění způsobují dvě sekvence aminokyselin a to prolin-serin-glutamin-glutamin (obrázek č. 22) nebo glutamin-glutamin-glutamin-prolin (obrázek č. 23) (Velíšek & Hajšlová 2009b). Lepkové bílkoviny jsou důležité zejména v pekárenském průmyslu, protože dokážou absorbovat vodu a poskytují soudržnost, viskozitu a elasticitu těsta (Wieser 2007).



Obrázek č. 22: Sekvence aminokyselin Pro-Ser-Gln-Gln



Obrázek č. 23: Sekvence aminokyselin Gln-Gln-Gln-Pro

3.5 Trávicí soustava

Trávicí soustava, jinak také gastrointestinální trakt (GIT) je soustava zabývající se příjmem a zpracováním přijaté potravy (Merkunová & Orel 2008). Tento trakt se dělí do tří částí. Horní část je tvořena dutinou ústní, hltanem, jícnem a žaludkem. Střední část tvoří tenké střevo a dolní část představuje tlusté střevo a konečník (Kittnar et al. 2011).

V dutině ústní se přijatá potrava rozmělnuje za pomoci zubů, jazyka a slin. Také zde začíná trávení sacharidů, a to enzymem α -amylázou neboli ptyalinem. Ptyalin štěpí α -glykosidové vazby škrobu a glykogenu. β -glykosidové vazby amyláza štěpit neumí, proto je pro člověka například celulóza, která tyto vazby obsahuje, nestravitelná. Dále pokračuje potrava přes hltan a jícn až do žaludku, kde se upravuje na tráveninu (Novotný & Hruška 2015). V žaludku se nachází parietální neboli krycí buňky, ve kterých se tvoří kyselina chlorovodíková (HCl) a vnitřní faktor, což je glykoprotein potřebný pro vstřebání vitamínu B₁₂, kobalaminu (Kittnar et al. 2011). Dále se zde nachází hlavní buňky, které produkují pepsinogen. Pepsinogen je neaktivní forma enzymu, která se aktivuje působením kyseliny chlorovodíkové na pepsin. Tato proteáza rozkládá bílkoviny na peptidy (Novotný & Hruška 2015).

Trávenina postupuje díky peristaltickým pohybům hladkého svalstva dál do tenkého střeva. Tenké střevo (*intestinum tenue*) se dělí na 3 části – dvanáctník (*duodenum*), lačník (*jejunum*) a kyčelník (*ileum*). Jeho celková délka činí 3 až 5 metrů. Sliznici tenkého střeva tvoří enterocyty neboli cylindrické buňky. Tyto buňky produkují hlen a antimikrobiální látky a jsou součástí střevních žlázek, které tvoří střevní šťávu. Sliznice a podslizniční vrstva tenkého střeva tvoří kruhové řasy. Dále sliznice vybíhá v klky (*villi*), které mají na svém povrchu další malé výběžky, mikrokilky (*microvilli*) a krypty neboli žlásky. Klky a mikrokilky zvětšují povrch tenkého střeva, čímž se i zvětšuje plocha pro vstřebávání a rozkládání tráveniny (Merkunová & Orel 2008). Při příchodu z žaludku má trávenina vysoké pH kvůli kyselině chlorovodíkové, která je ve dvanáctníku neutralizována hydrogenuhličitanem, který je přítomný ve šťávě produkované slinivkou břišní, jejíž vývod do dvanáctníku ústí společně se žlučovodem. V tenkém střevě končí trávení sacharidů, které již byly natráveny v dutině ústní ptyalinem. Probíhá zde také trávení bílkovin, které byly předem natráveny pepsinem v žaludku. Peptidy, se v tenkém střevě rozštěpí až na aminokyseliny. Tučky jsou štěpeny na glycerol a mastné kyseliny.

Konečným orgánem je tlusté střevo, které začíná slepým střevem mající slepý červovitý výběžek (*appendix vermiformis*). Dále pokračuje střevo vzestupným, příčným a sestupným tračníkem. V tlustém střevu již neprobíhá žádné trávení. Jeho úkolem je shromažďování zbytků potravy a vstřebávání vody a solí. Vstřebáváním vody se obsah střeva zahustí. V tlustém střevě působí bakterie, díky kterým dochází ke kvasným a hnilobným procesům. Z tohoto obsahu po několika hodinách vzniká stolice, která se dostává do konečníku, což je poslední část trávicí soustavy (Novotný & Hruška 2015).

3.6 Alergie na lepek

Alergie na lepek je nežádoucí imunologická reakce na tuto bílkovinu v obilovinách (Henggeler et al. 2017). Lepek vyvolá ve sliznici gastrointestinálního traktu imunitní odpověď, která je vázána na imunoglobulin E (IgE), důsledkem je uvolnění histaminů (Jackson Allen 2015). Tato reakce způsobuje kromě nevolnosti a bolesti břicha také otoky, svědění úst nebo rýmu, čímž se dá alergie na lepek od celiakie alespoň částečně odlišit. Pokud má pacient alergii na lepek jen mírnou, může tolerovat alespoň menší množství lepku ve své stravě. Pokud je velmi citlivý, musí dodržovat úplnou bezlepkovou dietu. Podpůrnou léčbou pro alergiky jsou antihistaminika, léky proti alergii (Henggeler et al. 2017).

Alergie nevede ke zvýšeným hodnotám imunoglobulinu A (IgA), atrofii sliznice tenkého střeva a není spojena s antigeny HLA-DQ2 a HLA-DQ8, což je významný rozdíl od celiakie. Diagnóza alergie spočívá v kožních testech a testech na přítomnost imunoglobulinu E v těle. V době testování by měl člověk konzumovat stravu s obsahem lepku a také nesmí užívat antihistaminika, v opačném případě by mohly být výsledky velmi zkresleny (Jackson Allen 2015). Je také možné, že člověk bude mít alergii jen na prolaminy nebo gluteliny v pšenici nebo pouze na látky přítomné v ovsu, v těchto případech nemusí dodržovat celkově bezlepkovou dietu, ale ze svého jídelníčku vyřadí pouze danou obilovinu.

Studie ukázala, že alergií na lepek trpí především muži. Také bylo zjištěno, že alergie se objevuje většinou ve velmi raném věku a to okolo 6 měsíců života. Nejčastějšími projevy byly kožní problémy, může ale nastat i anafylaxe, což je velmi rychlá a nepřiměřená reakce na alergen, která se projevuje otoky, problémy s dýcháním až úplným dušením. Mohou také vzniknout potíže s nízkým tlakem, arytmií a některé další nežádoucí projevy (Braunová 2007; Maia et al. 2014).

3.7 Celiakie

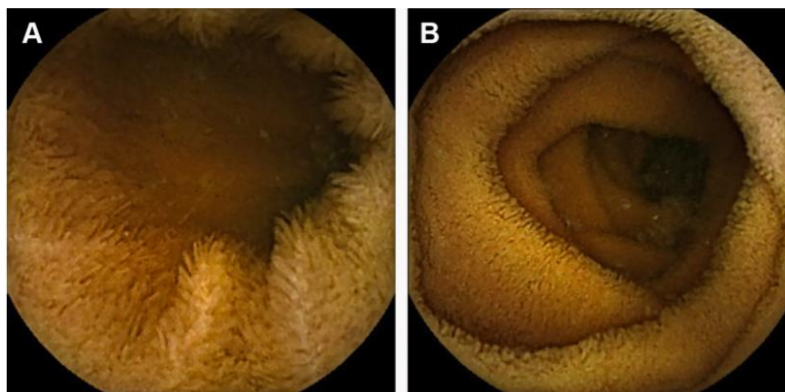
Celiakie, celiakální sprue nebo také glutenová enteropatie je celoživotní autoimunitní onemocnění, které se může vyskytnout v jakémkoliv věku. Autoimunitní onemocnění znamená, že imunitní systém jedince reaguje proti vlastním buňkám, tkáním a orgánům. Od alergie na lepek se liší tím, že se při celiakii netvoří v těle protilátka imunoglobulin E. Na tuto nemoc neexistují žádné léky, jediná léčba spočívá v dodržování bezlepkové diety (Nylund et al. 2016). Trynka et al. (2010) tvrdí, že velkou roli v této nemoci hraje genetická predispozice, kdy jsou u daných jedinců přítomny antigeny HLA-DQ2 a HLA-DQ8. Tyto antigeny, které podněcují tvorbu protilátek, představují přibližně 35% riziko, že jedinec bude trpět glutenovou enteropatií.

Z toho vyplývá, že genetická predispozice není jediný důvod, proč je člověk touto nemocí postizen. Dalším důvodem je také celkový životní styl člověka a s jakou mírou konzumuje potraviny bohaté na lepek. Mezi obiloviny obsahující lepek patří pšenice, ječmen, žito a případně oves. Jak bylo zmíněno v jedné z předchozích kapitol, na přítomnost lepku v ovsu nemají lidé zabývající se touto problematikou jednotný názor (Nylund et al. 2016).

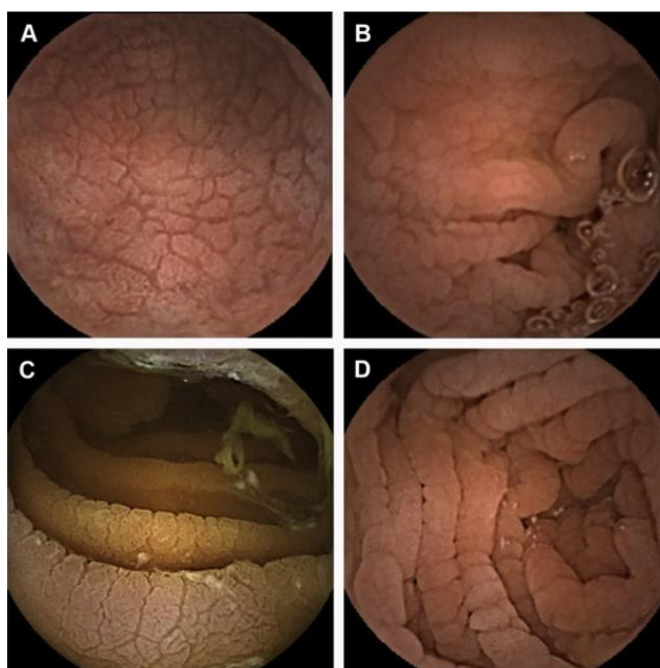
V těle zdravého jedince tráví žaludeční enzymy, pankreatické enzymy a enzymy tenkého střeva většinu bílkovin na peptidy a dále na aminokyseliny. V těle celiaka se bílkoviny lepku rozštěpí na peptidy, ale kvůli vysokému obsahu zejména prolinu, ale také glutaminu jsou vůči dalšímu štěpení odolné. Vzniklé peptidy se poté hromadí v tenkém střevě a v důsledku toho dochází k produkci T-lymfocytů, které nestrávené zbytky peptidů napadají, čímž dochází k poškození tenkého střeva, produkci protilátek proti glutenovým peptidům a tkáňovým transglutaminázám. Tento proces zapříčiňuje také špatné vstřebávání živin, což může způsobit nedostatek vitamínů a minerálních látek, anémii, zpomalení růstu dětí a dospívajících a reprodukční problémy žen (Malalagoda & Simsek 2017). Poškození tenkého střeva při celiakii zasahuje zejména jeho epitelové buňky (Nylund et al. 2016). Zdravé tenké střevo (obrázek č. 24) má dlouhé klky (*villi*) a krátké krypty, které zvyšují plochu pro vstřebávání živin. Krypty jsou žlásky nacházející se v *lamina propria mucosae*, což je slizniční vrstva střeva. Při celiakii má člověk zkrácené nebo otupené klky a krypty rozšířené (obrázek č. 25). Na sliznici se může objevit mozaikovitá struktura (obrázek 25A), nodularity (obrázek 25B), vrásnění (obrázek 25C) nebo navrstvené záhyby (obrázek 25D). Porušení klků velmi zmenšuje plochu pro vstřebávání živin. Při dodržování bezlepkové diety se sliznice střeva vrací pomalu do původního stavu, epiteliální buňky mají vysokou schopnost regenerace. Pokud však člověk začne lepek opět konzumovat, vyvolá to ve střevě rychlou imunitní odpověď a destrukci tkáně (Stamnaes & Sollid 2015). Pro bližší určení míry poškození definoval Marsh (1992) následující stupnici:

- typ 0 – preinfiltrační fáze – normální sliznice
- typ 1 – infiltrační fáze – normální střevní sliznice s porušeným vstřebáváním živin kvůli zanesení klků lymfocyty
- typ 2 – hyperplastická fáze – podobná jako léze typu 1, ale dochází zde i ke zvětšení krypt
- typ 3 – destruktivní fáze – velké poškození klků a zvětšení krypt
- typ 4 – nevratné poškození

Dle metaanalýzy Singh et al. (2018) bylo zjištěno, že celková prevalence biopsie potvrzující celiakii je 0,7 % u testovaných 138 792 jedinců. Podle analýzy žije většina pacientů s celiakální spruiv ve vyspělých zemích, což ale může být dáno také tím, že velkému počtu lidí v rozvojových zemích nebylo onemocnění doposud diagnostikováno. Celková prevalence na základě séroprevalence, což znamená na základě výsledků testů na protilátky proti tkáňovým transglutaminázám nebo na antiendomysialní protilátky, byla 1,4 % u 275 818 testovaných jedinců. Nízké procento celiaků žije v Jižní Americe a to 0,4 %. V Africe a Severní Americe je 0,5 % celiaků a v Asii 0,6 %. V Evropě a Oceánii je postižených nejvíce a to 0,8 %. Tato metaanalýza také potvrzuje, že dle biopsie je celiakální onemocnění 1,5 krát častější mezi ženami než mezi muži a také se vyskytuje přibližně 2 krát častěji u dětí než u dospělých jedinců.



Obrázek č. 24: Tenké střevo zdravého jedince



Obrázek č. 25: Poškozené tenké střevo

3.7.1 Projevy nemoci

Mezi typické projevy onemocnění patří bolesti břicha, průjem nebo naopak zácpa, únava, úbytek hmotnosti nebo bolesti hlavy a změny nálady. Někteří lidé ale nemusí mít žádné příznaky. U těchto takzvaných asymptomatických pacientů může být diagnóza celiakie značně opožděna. V důsledku toho se jim tenké střevo poškodí víc, než u pacientů s běžnými symptomy (Nylund et al. 2016). Počet pacientů s klasickými příznaky celiakie se snížil, naopak se zvyšuje podíl lidí s mimostřevními problémy, což může značně prodloužit dobu správné diagnózy. Mezi tyto projevy mohou patřit i neurologické a kardiovaskulární poruchy. Pacienti trpící celiakií a glutenovou ataxií mají často problémy s koordinací rukou a nohou, mají nestabilní chůzi a mohou mít problémy s psaním, mluvením a viděním (Hadjivassiliou et al. 2010).

3.7.2 Diagnostika

Při podezření na celiakii se sérologicky vyšetřují protilátky imunoglobuliny A (IgA) proti tkáňové transglutamináze (tTG) (Capili et al. 2014), endomysiu (EMA) a také proti syntetickým deamidovaným peptidům gliadinu (DGP). tTG je enzym tvořící se v enterocytech, což jsou buňky vyskytující se na sliznici střeva a endomysium je jedna z vrstev nacházejících se na povrchu svalového vlákna. Nejčastěji se však pro určení diagnózy používá test, při němž se zjišťuje přítomnost imunoglobulinu A, jakožto protilátky k tkáňové transglutamináze. Tato metoda je vysoce citlivá (Hujoel et al. 2018). Dále se provádí endoskopie s duodenální biopsií, při níž se odebere kousek tenkého střeva pro další vyšetřování. Je také důležité, aby pacient stále jedl všechny potraviny, které obsahují lepek. Pokud pacient sám přejde na bezlepkovou dietu bez předchozího vyšetření, mohou být výsledky značně zkreslené (Capili et al. 2014).

3.8 Neceliakální glutenová senzitivita

Neceliakální glutenová senzitivita (NCGS) je termín používaný k popisu gastrointestinálních nebo extraintestinálních potíží spojených s konzumací lepku. Tento symptom má podobné příznaky jako celiakie nebo alergie na lepek, což zahrnuje bolesti břicha, nadýmání, střevní potíže, únavu, bolesti hlavy, kloubů nebo kožní potíže (Capili et al. 2014). NCGS vyvolává i závažnější příznaky, jako jsou neurologické a psychické poruchy, včetně schizofrenie (Lundin & Alaedini 2012). NCGS je důsledkem vrozeného imunitního mechanismu, kdežto celiakie je podnícena autoimunitně a alergie na lepek přímo alergenem.

Jelikož pro NCGS neexistuje žádný specifický sérologický marker, diagnóza se stanoví až po vyloučení celiakie a alergie na lepek. Pokud vychází negativně histologické nálezy s celiakální sérologií a také vychází negativně testy na přítomnost imunoglobulin E, který se tvoří při alergii, bude pravděpodobně příčinou uvedených symptomů NCGS. Neceliakální glutenová senzitivita se také často zaměňuje se syndromem dráždivého tračníku, jelikož má podobné příznaky. NCGS nepoškozuje sliznici tenkého střeva a není geneticky podmíněna, čímž se odlišuje od celiakie. Může se objevit v kterémkoliv věku, více se ale vyskytuje u dospělých jedinců a častější je u žen. Spouštěčem této nemoci nemusí být jen lepek, ale také fermentované oligosacharidy, disacharidy, monosacharidy a polyoly, takzvaně FODMAP. Mezi potraviny s vysokým obsahem FODMAP se řadí například kravské, ovčí nebo kozí mléko, obiloviny, ovoce jako jablka nebo vodní meloun, zelenina zejména cibule, česnek a chřest, luštěniny a další (Capili et al. 2014; Vazquez-Roque & Oxentenko 2015; Nylund et al. 2016).

3.9 Dühringova herpetiformní dermatitida

Dühringova herpetiformní dermatitida, jinak také *dermatitis herpetiformis* je autoimunitní onemocnění. Jedná se o kožní projev celiakie, který je vzácný (Kohout 2006). Dermatitida je způsobena protilátkou imunoglobulinem A (IgA), kterou produkuje sliznice střeva (Bower et al. 2007). Projevuje se bolestivými, až 3 mm velkými puchýřky na těle, zejména na pokožce hlavy, prstech, hýždích, ramenou, loktech nebo kolenou (Kárpáti 2012) (obrázek č. 26 a č. 27). I při této formě nesnášenlivosti lepku je poškozováno tenké střevo. Pacient musí opět dodržovat bezlepkovou dietu pro zlepšení příznaků (Kohout 2006). Stejně jako celiakie, je i tato její forma podnětována genetickou predispozicí geny HLA-DQ2 a HLA-DQ8. Typické znaky dermatitidy také mohou urychlit diagnostiku samotné celiakie (Rodrigues & Bachmeyer 2018). Dermatitida se vyskytuje nejčastěji mezi 30–40 rokem života a je častější u mužů. Při sérologickém vyšetření na celiakii může být až 20 % jedinců s Dühringovou herpetiformní dermatitidou negativních na tkáňovou transglutaminázu, proto je takové vyšetření značně nespolehlivé (Bower et al. 2007). Dermatitida se často zhojí, avšak dochází k hypopigmentaci nebo hyperpigmentaci kůže, při častém škrábání postižených míst může dojít i ke zhrubnutí kůže. Při neléčení může být dermatitida i celoživotní, její závažnost se však může měnit (Kárpáti 2012).



Obrázek č. 26: Dühringova herpetiformní dermatitida na loktech



Obrázek č. 27: Dühringova herpetiformní dermatitida na kolenou

3.10 Pseudocereálie

Pseudocereálie neboli nepravé obiloviny, jsou rostliny, které botanicky nepatří mezi obilniny (Moudrý et al. 2011), ale pěstují se pro škrobové zrno vhodné pro výživu lidí a zpracovávají se podobně jako ‚pravé‘ obiloviny. Často se pseudocereálie pěstují i kvůli tomu, že se dají pěstovat bez použití agrochemikálií, tedy ekologicky (Prugar et al. 2008). Jejich hlavní výhodou je, že přirozeně neobsahují lepek. Jsou tak vhodné při alergiích nebo celiakii jako náhrada za obilné pečivo (González-Pérez & Arellano 2009). Pseudocereálie se také doporučují k výživě dětí, a to díky jejich nízké tendenci způsobovat alergie (Mota et al. 2016).

Pseudoobiloviny jsou významné také tím, že mají dobře vyvážený esenciální aminokyselinový profil (González-Pérez & Arellano 2009).

3.10.1 Pohanka

Pohanka obecná, střelovitá nebo také setá (*Fagopyrum esculentum*) je dvouděložná rostlina patřící do čeledi rdesnovitých (*Polygonaceae*) (Kopáčová 2007). Plody neloupané pohanky, nažky, mají tmavou, hnědou barvu a tvar pyramidy (obrázek č. 28). Když se oloupe, říká se jí krupice a obvykle se mele dále na mouku. Vzhledem k tomu, že má pohanka vysoký podíl nenasycených tuků, je náchylná k oxidaci, žluknutí (Casper & Atwell 2015). V plodech pohanky se nachází vitamíny skupiny B, vitamín E a řada prvků, především draslík, fosfor, hořčík, vápník a ve stopách železo, měď, mangan a zinek (Tůmová et al. 2007). Bílkoviny v pohance mají vysoký podíl albuminů a globulinů a nízký podíl glutelinů a gliadinů, díky čemuž se mohou zařadit mezi bezlepkové suroviny. Dále obsahuje pohanka vysoký podíl antioxidantů, zejména rutin patřící do skupiny flavonoidů. Rutin má protizánětlivé, antikarcinogenní a antimutagenní účinky, reguluje srážlivost krve, podporuje pružnost cév a má pozitivní vliv na imunitní systém (Kopáčová 2007).



Obrázek č. 28: Neloupaná pohanka

3.10.2 Amarant

Amarant (*Amaranthus sp.*) neboli laskavec je rostlina s drobnými semeny pocházející z Ameriky (Casper & Atwell 2014) (obrázek č. 29). K potravinářskému zpracování se nejčastěji využívají druhy *Amaranthus edulis*, *Amaranthus hypochondriacus* a *Amaranthus hybridus* (Kopáčová 2007). Tato rostlina prosperuje na vyprahlých místech, ale ke klíčení semen vyžaduje vlhkost (Casper & Atwell 2014). Laskavec obsahuje minerální látky

a to zejména fosfor, vápník, draslík a hořčík. Velmi ceněný je vysoký obsah železa. Dále obsahuje amarant poměrně hodně tuku, zejména kvalitní mastné kyseliny jako linolovou, olejovou kyselinu a nasycenou palmitovou kyselinu (Prugar et al. 2008). Olej z laskavce obsahuje také 6–7 % skvalenu, což je látka, která snižuje riziko vzniku rakoviny, zpomaluje stárnutí kůže, reguluje látkovou přeměnu tuků a zlepšuje obranyschopnost organismu (Moudrý et al. 2011). Skvalen však snižuje stravitelnost oleje. Zajímavý je v laskavci také obsah vitamínu C, protože se v běžných obilovinách nevyskytuje (Prugar et al. 2008). Dále je amarant dobrým zdrojem riboflavinu (vitamín B₂), listové kyseliny (vitamín B₉) a lipofilního vitamínu E (Arendt & Dal Bello 2008).

Tato pseudocereálie se používá hlavně k výrobě mouky. Amarantová mouka má našedlou barvu a chuť po ořeších. Surovina se poté používá při výrobě bezlepkových produktů, jako jsou chleby, sušenky, nudle nebo kreky (Casper & Atwell 2014).



Obrázek č. 29: Amarant

3.10.3 Quinoa

Quinoa (obrázek č. 30), jinak také merlík čilský (*Chenopodium quinoa*) je semeno rostliny, která je příbuzná řepě nebo špenátu. Existuje mnoho druhů této rostliny, nejvíce známé jsou však rostliny s bílými, červenými a černými semeny (Casper & Atwell 2014). Ve srovnání s obilovinami má quinoa vysoký obsah bílkovin a obsahuje esenciální aminokyselinu lysin (Moudrý et al. 2011). Z vitamínů obsahuje thiamin, riboflavin, listovou kyselinu, vitamín C a vitamín E. Ve velkém množství obsahuje quinoa minerální látky jako je vápník, hořčík, železo, draslík a zinek.

Největším problémem quinoxy mohou být saponiny, což jsou antinutriční látky, které způsobují hořkou chuť. Mohou tvořit komplexy se zinkem a železem, a tím se omezí jejich biologická dostupnost. Obsah saponinů lze snížit jemným obrušováním neboli leštěním, tepelným zpracováním, promýváním a vařením. Odstraněním saponinů se však také může výrazně snížit obsah minerálních látek (Arendt & Dal Bello 2008; Prugar et al. 2008).



Obrázek č. 30: Quinoa

3.11 Bezlepkové potraviny

Určité procento lidí trpí alergií na lepek nebo celiakií, což je chronické onemocnění, na které neexistují léky. Jediný způsob, jak předejít dalším zdravotním problémům je se celý život stravovat bezlepkově (Koehler et al. 2014). Nejčastěji se k výrobě bezlepkových potravin využívá kukuřice, rýže, čirok a proso. Základní informace o kukuřici a rýži jsou uvedené v předchozích kapitolách. Čirok i proso jsou, stejně jako ostatní druhy obilovin, rostliny z čeledi lipnicovité (*Poaceae*). Čirok (*Sorghum bicolor*) je velice odolná rostlina rostoucí zejména v tropických částech Země (Taylor & Duodu 2018). Pro potravinářské účely se nejčastěji pěstuje čirok cukrový (*Sorghum saccharatum*), který v dřeni stonku obsahuje velké množství sacharózy (Kopáčová 2007). Čirok se používá na výrobu různých druhů bezlepkových potravin, například fermentovaných nekvašených chlebů, tortill nebo kaší. Většina těchto produktů však není typická pro stravu západního typu (Schober & Bean 2008).

Obecný název proso zaštiťuje několik podobných druhů. Nejvíce je však využíváné proso seté (*Panicum miliaceum*). Značná část produkce prosa se využívá na výrobu jahel, z kterých se připravují nejčastěji kaše. Jáhly obsahují velké množství bílkovin, minerálních látek, zejména železa a vitaminů, především B₁ a B₂. Jsou také lehce stravitelné, proto se často doporučují k výživě dětí (Kopáčová 2007).

Další variantou je použití pseudoobilovin jako jsou amarant, pohanka a quinoa. Pseudocereálie jsou doporučovány vzhledem k tomu, že mají vysoký obsah bílkovin, vlákniny a minerálů jako vápník a železo. Z těchto surovin se může vyrábět velké množství produktů, mezi které patří těstoviny, chléb a další (Koehler et al. 2014). Výroba produktů bez lepku je však náročnější, protože se musí přídatnými látkami vytvořit taková struktura, jakou dodává těstu lepek. V dnešní době je dostupná široká nabídka bezlepkových potravin, z jejichž konzumace se stal jakýsi moderní trend zdravého stravování, a tak není problém v běžném supermarketu tyto výrobky zakoupit. Veškeré takové produkty mohou být pro usnadnění identifikace označeny logem s přeškrtnutou pšenicí (obrázek č. 31) nebo nápisy odkazující na absenci lepku a vhodnost při celiakii (Celiak 2016). Dle nařízení Evropské komise č. 828/2014 nesmí potraviny označené jako „bez lepku“ obsahovat více než 20 ppm lepku, což znamená 20 mg.kg^{-1} potraviny. Potraviny označené termínem „s velmi nízkým obsahem lepku“ musí obsahovat méně než 100 ppm, tj. 100 mg.kg^{-1} . Oves, nacházející se v potravinách označených termíny „bez lepku“ nebo „s velmi nízkým obsahem lepku“ musí být speciálně vyroben nebo zpracován tak, aby nedošlo ke kontaminaci jinými obilovinami obsahujícími lepek. Obsah lepku v ovsu nesmí překročit hranici 20 mg.kg^{-1} (Evropská komise 2014).

Dodržování bezlepkové diety je vhodné také u pacientů se syndromem dráždivého tračníku, revmatoidní artritidou, diabetem 1. typu, enteropatií spojenou s virem HIV, lupusem, psoriázou a neurologickým onemocněním (Gaesser & Angadi 2015).



Obrázek č. 31: Symbol bezlepkového výrobku

3.12 Pekárenský průmysl

Základní pekárenskou obilovinou je pšenice vzhledem ke kvalitě bílkovin lepku, zejména gliadinů a gluteninů, které jsou schopné vytvořit více nakypřenou strukturu než bílkoviny jiných obilovin. Těsto je díky těmto bílkovinám soudržné, elastické a je schopno zadržovat plyn, čímž se vytvoří velice objemné, nadýchané pečivo (Koehler et al. 2014). Nejvíce podobný pšeničnému lepku je lepek žitný, který však není tažný jako ten pšeničný, ale trhá se. Jedině z žita se dá však vyrobit klasický chléb, i když má odlišnou konzistenci (Velíšek & Hajšlová 2009a).

Při pečení bezlepkových výrobků je těžké nahradit pekárenské vlastnosti lepku. Náhradou za gluten se využívají nejrůznější mouky jako kukuřičné nebo rýžové, bramborový škrob, syrovátkové, vaječné nebo mléčné bílkoviny a přidávají se také hydrokoloidy, což jsou látky používající se ke zvýraznění chuti a textury. Dále se zkouší i nejrůznější technologie výroby (Koehler et al. 2014). Pekařské využití rýže, kukuřice, prosa, čiroku a pseudoobilovin je v našich zemích značně omezené, protože tyto obiloviny nejsou schopny vytvořit pevnou strukturu klenutého výrobku. Tradiční pečené výrobky jsou spíše placky (Kadlec et al. 2009).

3.13 Metody stanovení lepku

3.13.1 ELISA

Enzymová imunoanalýza na pevné fázi (ELISA) je nejpoužívanější metodou ke stanovení prolaminů v potravinách. Tento test je založen na interakci protilátky a antigenu (Hulín et al. 2008). Používají se protilátky, které byly vytvořeny proti různým frakcím prolaminu nebo škodlivým specifickým sekvencím (Colgrave et al. 2014). Nejčastěji bývá tato analýza prováděna v takzvaném sendvičovém uspořádání, ve kterém se vytvoří komplex protilátka–antigen–enzymově značená protilátka (Hulín et al. 2008). ELISA je test vysoce citlivý, rychlý a také je charakterizován jako test s vysokou specifitou. Jako protilátky pro toto testování jsou používány protilátky R5, Skerritt a G12.

Protilátka R5 detekuje pentapeptid QQFPF, který je přítomný v gliadinech, sekalinech a hordeinech, což jsou prolaminy pšenice, žita a ječmene (Sajic et al. 2017). Reaguje však také na sekvence QQQFP, LQFPF a QLFPF. Tato protilátka je schopna rozpoznat nativní a zahřátý lepek, ale nemůže být použita na detekci hydrolyzovaného lepku. Navíc se stává, že R5 udává vyšší obsah hordeinu, než je tomu ve skutečnosti (Colgrave et al. 2014).

ELISA R5 Mendez je protilátka vytvořena proti žitnému prolaminu sekalinu, ale vykazuje silnou křížovou reaktivitu s pšeničným gliadinem (Colgrave et al. 2014). Tato metoda je v současné době doporučována Codexem Alimentarius a je používána oficiálními kontrolními systémy v celé Evropě (Hochegger et al. 2015). Codex Alimentarius je potravinářský zákoník, který v šedesátých letech minulého století založily dvě organizace FAO a WHO. Cílem Codexu je ochrana spotřebitelů a usnadnění celosvětového obchodu s potravinami prostřednictvím potravinových norem, kodexů a jiných pokynů. Normy přijaté Codexem nemají právní platnost, ale jsou uznávané a používány z toho důvodu, že byly sestaveny na základě vědeckých poznatků (Bezpečnost potravin 2007).

Skerritt protilátka dokáže rozpoznat tepelně upravené gliadiny, což ji činí vhodnou k použití ve zpracovaných potravinách. Nevýhodou je ale skutečnost, že Skerritt sice dobře reaguje na pšeničné gliadiny, špatně ale reaguje na prolaminy v ječmeni (hordeiny). Naopak G12 protilátka rozpoznává hexapeptidovou sekvenci QPQLPY v pšenici, ale i podobné peptidy nacházející se v ječmeni, žitu a ovsu (Colgrave et al. 2014).

Přestože analýza ELISA detekuje přímo cílové proteiny, má i několik nevýhod. Mohou to být falešně negativní výsledky nebo špatná reprodukovatelnost, což je způsobeno rozmanitostí lepků v aminokyselinových sekvencích a také denaturace bílkovin během výrobních procesů (Ahmed & Meng 2018).

3.13.2 Polymerázová řetězová reakce (PCR)

PCR metoda byla vynalezena v roce 1983 Dr. Mullisem. Jedná se o rychlou, citlivou, jednoduchou a relativně nenákladnou metodu, při které se amplifikují neboli zvětší a rozmnoží nepoškozené sekvence molekul DNA lepkových obilovin (Hulín et al. 2008; Najafov & Hoxhaj 2017). Tyto požadované sekvence se ohraničují pomocí oligodeoxynukleotidů, které mají sekvence bází komplementární k cílové DNA (Wieser 2008). Velkou výhodou je skutečnost, že PCR metodou je možné detekovat i jednu molekulu DNA a produkovat miliony kopií požadované cílové sekvence (Najafov & Hoxhaj 2017). Další výhodou PCR metody je, že DNA je při procesu ohřívání stabilnější než bílkoviny a také je tato metoda citlivější než metoda ELISA (Ahmed & Meng 2018).

3.13.3 Hmotnostní spektrometrie (MALDI-TOF)

Hmotnostní spektrometrie MALDI-TOF se používá pro stanovení molekulových hmotností bílkovin (Wieser 2008). Laser hmotového spektrometru MALDI-TOF ozáří nanosekundovým pulsem směs vzorku a matrice, přičemž matrice absorbuje energii pulsu a její rozklad ionizuje molekuly vzorku, především ve vysokých koncentracích přítomné ribosomální proteiny. Pozitivně nabitě ionty jsou pak na krátkou vzdálenost urychleny silným elektrickým polem a vstupují do vakua v trubici detektoru, kde se pohybují rychlostí úměrnou jejich hmotnosti a náboji. Doby letu iontů se velmi přesně měří a výpočetně se konvertují na poměr molekulové hmotnosti a náboje (SVÚJ 2011).

Touto metodou lze stanovit nejen neporušené proteiny, ale také proteinové hydrolyzáty, což jsou částečně naštěpené bílkoviny, které neumí stanovit například metoda ELISA. Hmotnostní spektrometrie disponuje vysokou přesností a citlivostí. Její nevýhodou je však vysoká cena veškerého vybavení (Wieser 2008). Tato metoda se používá zejména jako srovnávací, při které se odhalí případné falešně pozitivní výsledky imunoanalytických měření.

Dalšími metodami používající se ke stanovení lepku v potravinách jsou elektroforéza a kapalinová chromatografie (Hulín et al. 2008).

4 Závěr

Potraviny s obsahem lepku obsahují množství aminokyselin a hydrofilních vitamínů majících na lidské tělo pozitivní účinky. Také se v obilovinách nachází lipofilní vitamín E, který působí jako antioxidant a zabraňuje poškození tkání volnými radikály. Vitamíny jsou pro lidi esenciální, proto je důležité, aby je přijímali v dostatečném množství potravou. Obiloviny také obsahují vlákninu, která je velmi důležitá hlavně pro trávicí trakt.

Na druhou stranu může být lepek jedním z původců celiakie, alergie na lepek a dalších zdravotních potíží. Je však důležité si uvědomovat, že za tyto potíže nemůže pouze lepek, ale i genetická predispozice a celkový životní styl.

Lidé mající zdravotní potíže mohou konzumovat například výrobky z kukuřice a rýže nebo pseudoobiloviny. Tyto bezlepkové rostliny mají také své výhody. Kukuřice obsahuje množství bílkovin a oleje, rýže je zase velmi dobře stravitelná a neobsahuje žádný cholesterol. Pseudoobiloviny obsahují velké množství vitamínů a minerálních látek.

Pokud však člověk netrpí žádnými zdravotními potížemi, neměl by lepek ze své stravy zcela vynechávat. Neměl by ho konzumovat pořád, ke každému chodu, ale v rozumném množství. Zároveň by měli lidé do svého jídelníčku zařadit i další bezlepkové obiloviny a pseudoobiloviny, jelikož i tyto suroviny a potraviny z nich mají množství zdravotně prospěšných látek.

5 Seznam použité literatury

- Ahmed N, Meng M. 2018. Detection of Gluten-Rich Cereals in Processed Foods with Enhanced Sensitivity by Targeting Mitochondrial DNA Using PCR. *Food Analytical Methods* **3**: 811-825
- Arendt EK, Dal Bello F. 2008. *Gluten-free cereal products and beverages*. Elsevier, New York.
- Bajerová E, et al. 2016. *Obiloviny v lidské výživě 2016. Moderní trendy v mlýnské a pekárenské výrobě*. Potravinářská komora České republiky. Česká technologická platforma pro potraviny, Praha.
- Bao J. 2019. *Rice: Chemistry and Technology*, 4th Edition. Elsevier, Amsterdam.
- Barthole G, Lepiniec L, Rogowsky PM, Baud S. 2012. Controlling lipid accumulation in cereal grains. *Plant Science* **185-186**: 33-39
- Belitz HD, Grosch W, Schieberle P. 2009. *Food Chemistry*. 4th revised and extended edition. Springer, Würzburg.
- Bezpečnost potravin. 2007. *Codex Alimentarius – základní informace*. Informační centrum bezpečnosti potravin. Available from <https://www.bezpecnostpotravin.cz/kategorie/codex-alimentarius-zakladni-informace.aspx> (accessed March 2019).
- Bower SL, Sharrett MK, Plogsted S. 2014. *Celiac disease. A guide to living with celiac intolerance*. Demos Medical Publishing, New York.
- Braunová J. 2007. Alergie, anafylaxe, anafylaktický šok. *Medicína pro praxi* **6**: 279-281
- Brouns F, Hemery Y, Price R, Anson NM. 2012. Wheat Aleurone: Separation, Composition, Health Aspects and Potential Food Use. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* **52**: 553-568
- Caballero B. 2003. *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition*, 2nd Edition. Elsevier, Amsterdam.
- Caminero A, Nistal E, Herrán AR, Pérez-Andrés J, Vaquero L, Vivas S, de Morales JMR, Casqueiro J. 2014. Gluten Metabolism in Humans: Involvement of the Gut Microbiota. Pages 157-170 in Watson RR, Preedy VR, Zibadi S, editors. *Wheat and Rice in Disease Prevention and Health. Benefits, risks and mechanisms of whole grains in health promotion*. Academic Press, Cambridge.
- Capili B, Chang M, Anastasi JK. 2014. A Clinical Update: Nonceliac Gluten Sensitivity – Is It Really the Gluten? *The Journal for Nurse Practitioners* **10**: 666-673

- Casper JL, Atwell WA. 2014. Gluten-Free Baked Products. AACC International, Minnesota.
- Celiak. 2016. Celiak.cz – Bezlepková dieta SpBD, z.s. Společnost pro bezlepkovou dietu, Praha. Available from <https://www.celiak.cz/o-diete/legislativa/alternativni-zpusoby-znaceni> (accessed March 2019).
- Ciudad-Mulero M, Fernández-Ruiz V, Matallana-González MC, Morales P. 2019. Dietary fiber sources and human benefits: The case study of cereal and pseudocereals. *Advances in Food and Nutrition Research* **88**: 1-52
- Colgrave ML, Goswami H, Blundell M, Howitt CA, Tanner GJ. 2014. Using mass spectrometry to detect hydrolysed gluten in beer that is responsible for false negatives by ELISA. *Journal of Chromatography A* **1370**: 105-114
- Comino I, de Lourdes Moreno M, Sousa C. 2015. Role of oats in celiac disease. *World Journal of Gastroenterology* **21**: 11825-11831
- CSIC. 2013. Tritordeum, a novel natural cereal, reaches the market. CSIC. Available from <http://www.dicat.csic.es/rdcsic/index.php/en/agroalimentacion-2/89-success-stories/161-tritordeum-a-novel-natural-cereal-reaches-the-market> (accessed February 2019).
- Dasgupta A. 2019. Biotin: Pharmacology, Pathophysiology, and Assessment of Biotin Status. *Biotin and Other Interferences in Immunoassays*. Elsevier, Houston.
- Dennis M, Lee AR, McCarthy T. Nutritional Considerations of the Gluten-Free Diet. *Gastroenterology Clinics of North America* **48**: 53-72
- Dhingra D, Michael M, Rajput H, Patil RT. 2011. Dietary fibre in foods: a review. *Journal of Food Science and Technology* **49**: 255-266
- Evropská komise. 2014. Prováděcí nařízení Komise (EU) č. 828/2014 ze dne 30. července 2014 o požadavcích na poskytování informací o nepřítomnosti či sníženém obsahu lepku v potravinách spotřebitelům. *Úřední věstník Evropské unie* L 228, 31. 7. 2014, s. 5-8
- Fardet A. 2010. New hypotheses for the health-protective mechanisms of whole-grain cereals: what is beyond fibre? *Nutrition Research Reviews* **23**: 65-134
- Furman BJ. 2016. Triticale. Reference Module in Food Science. Elsevier, Oxford, UK.
- Gaesser GA, Angadi SS. 2015. Navigating the gluten-free boom. *Journal of the American Academy of Physician Assistants* **28**: 1-7

- Gallardo M, Fereres E. 1993. Growth, grain yield and water use efficiency of tritordeum in relation to wheat. *European Journal of Agronomy* **2**: 83-91
- González-Pérez S, Arellano JB. 2009. Vegetable protein isolates. Pages 383-419 in Phillips GO, Williams PA, editors. *Handbook of Hydrocolloids (2nd Edition)*. Woodhead Publishing, Oxford.
- Guerrieri N, Cavaletto M. 2018. Cereal proteins. Pages 223-244 in Yada RY, editor. *Proteins in Food Processing (2nd Edition)*. Woodhead Publishing, Oxford.
- Hadjivassiliou M, Sanders DS, Grünewald RA, Woodroffe N, Boscolo S, Aeschlimann D. 2010. Gluten sensitivity: from gut to brain. *The Lancet Neurology* **9**: 318-330
- Hanninen SA, Darling PB, Sole MJ, Barr A, Keith ME. 2006. The Prevalence of Thiamin Deficiency in Hospitalized Patients With Congestive Heart Failure. *Journal of the American College of Cardiology* **47**: 354-361
- Henggeler JC, Veríssimo M, Ramos F. 2017. Non-coeliac gluten sensitivity: A review of the literature. *Trends in Food Science & Technology* **66**: 84-92
- Hochegger R, Mayer W, Prochaska M. 2015. Comparison of R5 and G12 Antibody-Based ELISA Used for the Determination of the Gluten Content in Official Food Samples. *Foods* **4**: 654-664
- Hujoel IA, Reilly NR, Rubio-Tapia A. 2018. Clinical Features and Diagnosis. *Gastroenterology Clinics of North America* **48**: 19-37
- Hulín P, Dostálek P, Hochel I. 2008. Metody stanovení lepkových bílkovin v potravinách. *Chemické listy* **102**: 327-337
- Chen Z, Li S, Fu Y, Li C, Chen D, Chen H. 2019. Arabinoxylan structural characteristics, interaction with gut microbiota and potential health functions. *Journal of Functional Foods* **54**: 536-551
- Jackson Allen P. 2015. Gluten-Related Disorders: Celiac Disease, Gluten Allergy, Non-Celiac Gluten Sensitivity. *Primary Care Approaches* **41**: 146-150
- Jonsson K, et al. 2018. Rye and health- Where do we stand and where do we go? *Trends in Food Science & Technology* **79**: 78-87
- Kadlec P, et al. 2009. Co byste měli vědět o výrobě potravin? *Technologie potravin*. KEY Publishing s.r.o., Ostrava.

- Kárpáti S. 2012. Dermatitis herpetiformis. *Clinics in Dermatology* **30**: 56-59
- Khan K, Shewry PR. 2009. *Wheat: Chemistry and Technology*, 4th Edition. Elsevier, Amsterdam.
- Kittnar O, et al. 2011. *Lékařská fyziologie*. Grada Publishing, Praha.
- Kleiner S, Greenwood-Robinson M. 2010. *Fitness výživa. Power Eating program*. Grada Publishing, Praha.
- Koehler P, Wieser H, Konitzer K. 2014. *Celiac Disease and Gluten, Multidisciplinary Challenges and Opportunities*. Academic Press, Cambridge.
- Kohout P. 2006. Diagnostika a léčba celiakie. *Interní medicína pro praxi* **8**: 324-326
- Kopáčová O. 2007. Trendy ve zpracování cereálií s přihlédnutím zejména k celozrnným výrobkům. Ústav zemědělských a potravinářských informací, Praha.
- Kulp K, Ponte JG Jr. 2000. *Handbook of Cereal Science and Technology*. CRC Press, New York.
- Lafiandra D, Riccardi G, Shewry PR. 2014. Improving cereal grain carbohydrates for diet and health. *Journal of Cereal Science* **59**: 312-326
- Leonard SW, Traber MG. 2019. Methods for assessment of Vitamin E. Pages 79-105 in Harrington D, editor. *Laboratory Assessment of Vitamin Status*. Academic Press, Oxford.
- Lundin KEA, Alaedini A. 2012. Non-celiac Gluten Sensitivity. *Gastrointestinal Endoscopy Clinics of North America* **4**: 723-734
- Lule VK, Garg S, Gosewade SC, Tomar SK, Khedkar CD. 2016. Niacin. Pages 63-72 in Caballero B, Finglas PM, Toldrá F, editors. *Encyclopedia of Food and Health*. Academic Press, Oxford.
- Maia EB, Lemos SG, Loureiro CC, Pinheiro JA. 2014. Alergia ao glúten: série de nuove casos. *Scientia Medica* **3**: 259-263
- Malalgoda M, Simsek S. 2017. Celiac disease and cereal proteins. *Food Hydrocolloids* **68**: 108-113
- Marsh MN. 1992. Gluten, Major Histocompatibility Complex and the Small Intestine. A Molecular and Immunobiological Approach to the Spectrum of Gluten Sensitivity ('Celiac Sprue'). *Gastroenterology* **102**: 330-354

- McKevith B. 2004. Nutritional aspects of cereals. *Nutrition Bulletin* **29**: 111-142
- Merkunová A, Orel M. 2008. *Anatomie a fyziologie člověka pro humanitní obory*. Grada Publishing, Praha.
- Messia MC, Oriente M, Angelicola M, De Arcangelis E, Marconi E. 2019. Development of functional couscous enriched in barley β -glucans. *Journal of Cereal Science* **85**: 137-142
- Mota C, Santos M, Mauro R, Samman N, Matos AS, Torres D, Castanheira I. 2016. Protein content and amino acids profile of pseudocereals. *Food Chemistry* **193**: 55-61
- Moudrý J, et al. 2011. *Alternativní plodiny*. Profi Press, Praha.
- Najafov A, Hoxhaj G. 2017. *PCR Guru: An Ultimate Benchtop Reference for Molecular Biologists*. Academic Press, Oxford.
- Nirmal RC, Singh AK, Furtado A, Henry RJ. 2019. Analysis of the expression of transcription factors and other genes associated with aleurone layer development in wheat endosperm. *Journal of Cereal Science* **85**: 62-69
- Novotný I, Hruška M. 2015. *Biologie člověka (5.vydání)*. Fortuna, Praha.
- Nylund L, Kaukinen K, Lindfors K. 2016. The microbiota as a component of the celiac disease and non-celiac gluten sensitivity. *Clinical Nutrition Experimental* **6**: 17-24
- Oancea I. 2017. Special: What is Tritordeum? New Cereal Explained. World Bakers. Available from <https://www.worldbakers.com/ingredient/special-what-is-tritordeum-new-cereal-explained/> (accessed February 2019).
- Phillips GO, Williams PA. 2009. *Handbook of Hydrocolloids*, 2nd Edition. Woodhead Publishing, Cambridge.
- Poutanen K, Åman P. 2017. *Rye and Health*. Elsevier, Amsterdam.
- Prugar J, et al. 2008. *Kvalita rostlinných produktů na prahu 3. tisíciletí. Výzkumný ústav pivovarský a sladařský a.s., Praha*.
- Příhoda J, Humpolíková P, Novotná D. 2003. *Základy pekárenské technologie. Pekař a cukrář s.r.o., Praha*.
- Rodrigues F, Bachmeyer C. 2018. Coeliac disease and dermatitis herpetiformis. *The Lancet* **392**: 916

- Rosentrater KA, Evers AD. 2018. Kent's Technology of Cereals. An Introduction for Students of Food Science and Agriculture, 5th Edition. Woodhead Publishing, Cambridge.
- Sajic N, Oplatowska-Stachowiak M, Streppel L, Drijfhout JW, Salden M, Koning F. 2017. Development and in-house validation of a competitive ELISA for the quantitative detection of gluten in food. *Food Control* **80**: 401-410
- Sapirstein HD, Bushuk W. 2016. Rye Grain: Its Genetics, Production, and Utilization. Pages 159-167 in Wrigley C, Corke H, Seetharaman K, Faubion J, editors. *Encyclopedia of Food Grains*, 2nd Edition. Academic Press, Oxford.
- Serna-Saldivar SO. 2019. *Corn: Chemistry and Technology*, 3rd Edition. Elsevier, Amsterdam.
- Shewry PR, Ullrich SE. 2014. *Barley: Chemistry and Technology*, 2nd Edition. Woodhead Publishing and AACC International Press, Cambridge.
- Scherf KA, Koehler P, Wieser H. 2016. Gluten and wheat sensitivities – An overview. *Journal of Cereal Science* **67**: 2-11
- Schober TJ, Bean SR. 2008. Sorghum and maize. Pages 101-118 in Arendt EK, Dal Bello F, editors. *Gluten-free cereal products and beverages*. Elsevier, New York.
- Singh P, Arora A, Strand TA, Leffler DA, Catassi C, Green PH, Kelly CP, Ahuja V, Makharia GK. 2018. Global Prevalence of Celiac Disease: Systematic Review and Meta-analysis. *Clinical Gastroenterology and Hepatology* **16**: 823-836
- Sobczyńska-Malefora A. 2019. Methods for assessment of folate (Vitamin B9). Pages 219-264 in Harrington D, editor. *Laboratory Assessment of Vitamin Status*. Academic Press, Oxford.
- Stamnaes J, Sollid LM. 2015. Celiac disease: Autoimmunity in response to food antigen. *Seminars in Immunology* **27**: 343-352
- SVÚJ. 2011. Druhá identifikace mikroorganismů hmotnostní spektrometrií MALDI-TOF. Státní veterinární ústav Jihlava. Available from <https://www.svujihlava.cz/229-maldi-tof.html> (accessed April 2019).
- Šárka E, Smrčková P, Seilerová L. 2013. Rezistentní a pomalu stravitelný škrob. *Chemické listy* **107**: 929-935
- Taylor JRN, Duodu KG. 2018. *Sorghum and Millets: Chemistry, Technology and Nutritional Attributes*, 2nd Edition. Woodhead Publishing and AACC International Press, Cambridge.

- Trynka G, Wijmenga C, van Heel DA. 2010. A genetic perspective on coeliac disease. *Trends Mol Med* **16**: 537-550
- Tůmová L, Píchová M, Dušek J. 2007. Pohanka obecná a její terapeutické využití. *Fytoterapie* **4**: 190
- Ústav experimentální botaniky AV ČR. 2012. Jezerní obilí. Ústav experimentální botaniky AV ČR. Available from <http://www.ueb.cas.cz/cs/content/jezerni-obili> (accessed February 2019).
- Vaquero L, Comino I, Vivas S, Rodríguez-Martín L, Giménez MJ, Pastor J, Sousa C, Barro F. 2017. Tritordeum: A novel cereal for food processing with good acceptability and significant reduction in gluten immunogenic peptides in comparison with wheat. *Journal of the Science of Food and Agriculture* **98**: 2201-2209
- Vazquez-Roque M, Oxentenko AS. 2015. Nonceliac Gluten Sensitivity. *Mayo Clinic Proceedings* **90**: 1272-1277.
- Velíšek J, Hajšlová J. 2009a. *Chemie potravin I.*, 3. vydání. OSSIS, Tábor.
- Velíšek J, Hajšlová J. 2009b. *Chemie potravin II.*, 3. vydání. OSSIS, Tábor.
- Webster FH, Wood PJ. 2011. *Oats: Chemistry and Technology*, 2nd Edition. Elsevier, Amsterdam.
- Wieser H. 2007. Chemistry of gluten proteins. *Food Microbiology* **2**: 115-119
- Wieser H. 2008. Detection of gluten. Pages 47-80 in Arendt EK, Dal Bello F, editors. *Gluten-free cereal products and beverages*. Elsevier, New York.
- Wrigley C, Bushuk W. 2017. Triticale: Grain-Quality Characteristics and Management of Quality Requirements. Pages 179-194 in Wrigley C, Batey I, Miskelly D, editors. *Cereal Grains, Assessing and Managing Quality*, 2nd Edition. Woodhead Publishing, Oxford, UK.
- Yuan B, Ritzoulis C, Chen J. 2019. Rheological investigations of beta glucan functionality: Interactions with mucin. *Food Hydrocolloids* **87**: 180-186
- Zhu F. 2018. Triticale: Nutritional composition and food uses. *Food Chemistry* **241**: 468-479.
- Zimolka J, et al. 2005. *Pšenice- pěstování, hodnocení a užití zrna*, 1. vydání. Profi Press, Praha.
- Zwer PK. 2016. Oats: Overview. Pages 173-183 in Wrigley C, Corke H, Seetharaman K, Faubion J, editors. *Encyclopedia of Food Grains*, 2nd Edition. Academic Press, Oxford.

6 Seznam obrázků

Obrázek č.1: Klas pšenice

<https://najisto.centrum.cz/277398/olseed-as/produkty/736488/psenice-ozima/>

Obrázek č.2: Zrna pšenice

<https://www.bio-kramek.cz/Psenice-ozima-Bio-1kg-Country-life-d262.htm?tab=description>

Obrázek č.3: Klas žita

<http://www.chlebnasvezdejsi.cz/cs/jime/jime-pro-zdravi-a-krasu/vite-ze-zito-neni-jen-zakladni-potravina>

Obrázek č.4: Zrna žita

<http://www.zitnecentrum.cz/2014/02/10/co-je-zito/>

Obrázek č.5: Klas ječmene

http://agrobiologie.cz/SMEP3/Pestovani_rostlin_cviceni_Obilninny/etext.czu.cz/php/skripta/objektfbe3.html?titul_key=81&obj=190&no=Img.%202.1%20-%202010

Obrázek č.6: Zrna ječmene

<https://www.saltspringseeds.com/products/robust-barley>

Obrázek č.7: Klas ovsa

<http://bezlepek.cz/2015/06/kanada-povoluje-oves-jako-bezlepkovou-potravinu/>

Obrázek č.8: Zrna ovsa

<https://www.bioplaneta.org/catalog/product/oves-100-g>

Obrázek č.9: Klas triticales

<https://www.washingtonagnetwork.com/2017/08/03/new-insurance-plan-covers-triticales/>

Obrázek č.10: Zrna triticales

<https://www.ardentmills.com/products/ancient-heirloom-grains/triticales/>

Obrázek č.11: Klas tritordea

<https://www.wikidata.org/wiki/Q11953163>

Obrázek č.12: Zrna tritordea

<http://www.dicat.csic.es/rdcsic/index.php/en/agroalimentacion-2/89-success-stories/161-tritordeum-a-novel-natural-cereal-reaches-the-market>

Obrázek č.13: Porosty kukuřice

http://krv.agrobiologie.cz/atlas/katalog/plodiny?seradit_smer=desc&seradit_podle=nazev_la

Obrázek č.14: Rýže

<https://www.arcgis.com/apps/MapJournal/index.html?appid=6c4df430b8194cbaaa51997d814e80b1>

Obrázek č.15: Stavba obilky

<https://slideplayer.cz/slide/2841608/>

Obrázek č.16: Vitamín B₁

Obrázek č.17: Vitamín B₃

Obrázek č.18: Vitamín B₆

Obrázek č.19: Vitamín B₇

Obrázek č.20: Vitamín B₉

Obrázek č.21: Vitamín E

Obrázek č.22: Sekvence aminokyselin Pro-Ser-Gln-Gln

Obrázek č.23: Sekvence aminokyselin Gln-Gln-Gln-Pro

Obrázek č.24: Tenké střevo zdravého jedince

Lewis SK, Semrad CE. 2019. Capsule Endoscopy and Enteroscopy in Celiac Disease. Gastroenterology Clinics of North America **48**: 73-84

Obrázek č.25: Poškozené tenké střevo

Lewis SK, Semrad CE. 2019. Capsule Endoscopy and Enteroscopy in Celiac Disease. Gastroenterology Clinics of North America **48**: 73-84

Obrázek č.26: Dühringova herpetiformní dermatitida

<https://www.merckmanuals.com/en-pr/home/skin-disorders/blistering-diseases/dermatitis-herpetiformis>

Obrázek č.27: Dühringova herpetiformní dermatitida na kolenou

<https://www.glutenfreeliving.com/gluten-free/celiac-disease/dermatitis-herpetiformis/>

Obrázek č.28: Neloupaná pohanka

<https://www.veganstore.cz/Zrna/260-Pohanka-neloupaná-Bio-400g-Country-life>

Obrázek č.29: Amarant

<https://www.sportifnutrition.cz/produkt/amarant-bio/>

Obrázek č.30: Quinoa

<https://nuts.com/cookingbaking/grains/quinoa/toasted.html>

Obrázek č.31: Symbol bezpečného výrobku

<https://www.celiak.cz/pro-firmy/symbol-preskrtnuteho-klasu>