

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra chemie



**Fakulta agrobiologie,
potravinových a přírodních zdrojů**

**Biologicky aktivní látky v zrnech obilnin z produkce
konvenčního a ekologického zemědělství**

Diplomová práce

**Bc. Nikola Králová
Výživa a potraviny**

Ing. Luboš Paznocht, Ph.D.

© 2022 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci „Biologicky aktivní látky v zrnech obilnin z produkce konvenčního a ekologického zemědělství“ jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autorka uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 12.4.2022

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala vedoucímu diplomové práce Ing. Lubošovi Paznochtovi, Ph.D. za vstřícnost, trpělivost a odborné rady. Dále bych chtěla poděkovat své rodině a příteli za podporu během celého studia.

Biologicky aktivní látky v zrnech obilnin z produkce konvenčního a ekologického zemědělství

Souhrn

Obilná zrna a z nich vyráběné potraviny představují důležitý zdroj energie a mnoha dalších cenných látek. Kromě základních živin (sacharidy, bílkoviny) jsou zrna bohatá na biologicky aktivní sloučeniny, jako jsou například karotenoidy, beta-glukany a fenolické sloučeniny. Tyto látky mají prokazatelný účinek na lidské zdraví a jejich zvýšený příjem potravou může mít vliv na omezení výskytu mnoha civilizačních chorob, jako jsou například kardiovaskulární onemocnění, obezita a hypercholesterolemie.

V experimentu této práce byl hodnocen vliv způsobu pěstování čtyř odrůd ovsa setého (Korok, Kertag, Raven, Seldon) a jedné odrůdy ovsa nahého (Patrik) na obsah karotenoidů. Odrůdy byly pěstovány konvenčním a ekologickým způsobem hospodaření na dvou lokalitách (ČZU Praha – Uhřetěves, JU České Budějovice) v roce 2021. Karotenoidy byly analyzovány a kvantifikovány za pomoci metody HPLC-DAD. V zrnech ovsa byl stanoven lutein, zeaxanthin a estery karotenoidů. Celkový obsah karotenoidů se pohyboval v rozmezí 1,027-1,236 $\mu\text{g/g}$. Nejvíce zastoupeným karotenoidem byl lutein (51 %), jehož nejvyšší průměrný obsah 0,633 $\mu\text{g/g}$ byl stanoven u odrůdy Kertag. Poměrně vysoký obsah luteinu (0,595 $\mu\text{g/g}$) byl naměřen u odrůdy Raven. Vyšší (o 17 %) průměrné obsahy karotenoidů (až 1,175 $\mu\text{g/g}$) byly zjištěny u ekologicky pěstovaných odrůd ovsa, u konvenčně pěstovaných odrůd byl stanoven průměrný obsah karotenoidů 1,002 $\mu\text{g/g}$. Po statistickém zhodnocení výsledků byl zjištěn statisticky významný rozdíl v obsahu karotenoidů z produkce konvenčního a ekologického zemědělství.

Klíčová slova: pšenice, oves, žito, karotenoidy, beta-glukany, HPLC-DAD

Biologically active substances in cereal grains from the production of conventional and organic agriculture

Summary

Cereal grains and cereal grain foods are an important source of energy and many other valuable substances. In addition to essential nutrients (carbohydrates, proteins), grains are rich in biologically active compounds such as carotenoids, beta-glucans and phenolic compounds. These substances have a demonstrable effect on human health and their increased intake through food may have an impact on reducing the incidence of many diseases of civilization, such as cardiovascular disease, obesity and hypercholesterolemia.

The aim of the experiment presented in this thesis is to evaluate the influence of farming methods on the content of carotenoids in the grains of four varieties of oats (Korok, Kertag, Raven, Seldon) and in one variety of naked oats (Patrik). The varieties were cultivated through conventional and organic farming at two locations (ČZU Praha – Uhřetěves, JU České Budějovice) in 2021. Carotenoids were analyzed and quantified using the HPLC-DAD method. Lutein, zeaxanthin and carotenoid esters were determined in oat grains. The total carotenoid content ranged between 1,027-1,236 $\mu\text{g/g}$. Lutein was the most abundant carotenoid (51%). The highest average content of lutein was 0,633 $\mu\text{g/g}$ and it was determined for the Kertag variety. A relatively high lutein content (0,595 $\mu\text{g/g}$) was measured in the Raven variety. A higher (by 17%) average carotenoid content (up to 1,175 $\mu\text{g/g}$) was determined in organically grown oat varieties. The average carotenoid content in conventionally grown varieties was 1,002 $\mu\text{g/g}$. After a statistical evaluation of the results, there was established a statistically significant difference in the content of carotenoids in cereal grains produced through conventional and organic agriculture.

Keywords: wheat, oat, rye, carotenoids, beta-glucans, HPLC-DAD

Obsah

1 Úvod	7
2 Vědecká hypotéza a cíle práce	8
3 Biologicky aktivní látky	9
3.1 Dietní vláknina	9
3.1.1 Arabinoxylany.....	9
3.1.2 Beta-glukany.....	10
3.2 Fenolické sloučeniny	11
3.2.1 Fenolové kyseliny.....	12
3.2.2 Flavonoidy.....	13
3.2.3 Avenanthramidy.....	13
3.2.4 Lignany.....	14
3.2.5 Alkylresorcinoly.....	14
3.3 Karotenoidy	15
3.4 Fytová kyselina	17
3.5 Fytosteroly	18
3.6 Tokoly	19
4 Způsoby hospodaření v zemědělství	21
4.1 Konvenční zemědělství	21
4.2 Ekologické zemědělství	21
4.2.1 Legislativa.....	22
4.2.2 Ekologické zemědělství v České republice.....	23
4.2.3 Hlavní cíle a zásady ekologického zemědělství.....	24
4.2.4 Pěstování pšenice v ekologickém zemědělství.....	25
4.2.5 Pěstování ovsa v ekologickém zemědělství.....	28
4.2.6 Pěstování žita v ekologickém zemědělství.....	29
5 Metodika	32
5.1 Podmínky experimentu, rostlinný materiál, popis lokality	32
5.2 Agrotechnická opatření Praha – Uhřetěves	32
5.3 Agrotechnická opatření JU České Budějovice	32
5.4 Průběh klimatických podmínek	33
5.5 Použité chemikálie	34
5.6 Příprava vzorků ovsa pro stanovení obsahu karotenoidů	34
5.7 Chromatografická separace	34
5.8 Identifikace a kvantifikace vzorků	35
6 Výsledky	36
7 Diskuze	40
8 Závěr	44
9 Literatura	45

1 Úvod

Obilniny jsou rostliny patřící do čeledi *Gramineae* a lidé je pěstují po tisíce let pro jedlá zrna. Mezi hlavní obilniny pěstované ve světě patří: pšenice obecná (*Triticum aestivum* L.) a pšenice tvrdá (*Triticum durum* Desf.), kukuřice (*Zea mays* L.), rýže (*Oryza sativa* L.), ječmen (*Hordeum vulgare* L.), čirok (*Sorghum bicolor* (L.) Moench), oves (*Avena sativa* L.), proso perlové (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.), žito (*Secale cereale* L.) a tritikale (*Triticale hexaploide* Lart.). Obilná zrna a potravinářské produkty z nich odvozené jsou důležitou součástí lidské stravy, poskytují živiny pro růst a zdraví lidí. Zrna z různých obilných plodin se liší tvarem, velikostí, strukturou a chemickým složením. Hlavní složky zrna jsou sacharidy a bílkoviny, spolu přispívají k relativně vysokým kalorickým hustotám obilných zrn (329-389 kcal/100 g). To byl jeden z hlavních důvodů, proč byla obilná zrna původně sklížena, vařena a konzumována lidmi jako základní potraviny pro zásobování energií. Rozvoj technologie zpracování potravin zapříčinil, že se stále větší podíl obilných zrn využívá jako surovina k výrobě široké škály potravinářských produktů, které obohacují lidskou stravu. V potravinářském průmyslu jsou nejrozšířenější zrna pšenice, kukuřice a rýže (Delcour & Hosney 2010; Tacer-Caba et al. 2015).

Obilná zrna jsou zdroji sacharidů, bílkovin, lipidů a dále obsahují řady unikátních látek zařazených mezi biologicky aktivní sloučeniny, jako je dietní vláknina (beta-glukany, arabinoxylany, celulóza, lignin a lignany), steroly, tokoferoly, tokotrienoly, alkylresorcinoly, fenolové sloučeniny, karotenoidy, vitaminy a mikroelementy. I když jsou koncentrace těchto látek v potravinách obvykle malé, přitahují pozornost pro svou biologickou aktivitu a pozitivní vliv na lidské zdraví (Anderson et al. 2000). Biologicky aktivní látky se většinou nacházejí v otrubách (vedlejší produkt při zpracování pšenice a žita mlýnskou technologií) obilných zrn, přičemž klíček je bohatý na oleje s obsahem nenasycených mastných kyselin a jeho odstranění je nezbytné pro zabránění procesů oxidace lipidů (Grabovská et al. 2019).

Ve vyspělých zemích stále převažuje konvenční, čili intenzivní způsob hospodaření, který má za cíl maximalizovat výnosy pomocí vysokých vstupů, a to jak materiálových, tak energetických (Moudrý et al. 2007). Tento způsob hospodaření však není z dlouhodobého hlediska pro přírodu vhodný, protože způsobuje například erozi, degradaci půdy, snížení druhové rozmanitosti (MZe 2021a). Vzhledem k těmto a mnoha dalším negativním dopadům intenzivního hospodaření na ekosystém se rozvinuly alternativní způsoby hospodaření, jako je například ekologické zemědělství, které využívá ekosystémy přiměřeně, snaží se především zachovávat a zlepšovat kvalitu životního prostředí, biodiverzitu, pěstovat kvalitní a zdravé potraviny (Bernet et al. 2021). Česká republika ekologicky hospodaří již od roku 1990, kdy začaly vznikat první ekofarmy, a dnes se řadí mezi patnáct zemí světa s nejvyšším výměrou ploch v ekologickém zemědělství, v rámci Evropské unie si drží 6. místo (MZe 2021a).

2 Vědecká hypotéza a cíle práce

Vědecká hypotéza:

Zrno ovsa z ekologické a konvenční produkce se liší množstvím obsažených karotenoidních látek.

Cílem diplomové práce bylo:

- 1) Zpracovat literární rešerši s tématem obsahu biologicky aktivních látek v zrnech obilnin.
- 2) Stanovit obsah a spektrum karotenoidních látek v zrně ovsa metodou HPLC-DAD.
- 3) Vyhodnotit vliv produkčního systému na obsah karotenoidních barviv v zrně ovsa.

3 Biologicky aktivní látky

3.1 Dietní vláknina

Dietní vlákninu lze obecně definovat jako sacharidové polymery a oligomery, které odolávají trávení v tenkém střevě a procházejí do tlustého střeva, kde jsou částečně (nerozpustná dietní vláknina) nebo zcela (rozpustná dietní vláknina) fermentovány a rozloženy střevní mikrobiotou (Devries et al. 2001; Jones 2013).

Mezi zdravotní přínosy spojené s konzumací vlákniny ve stravě patří podpora laxace a zkrácení doby průchodu gastrointestinálním traktem, snížení cirkulujících krevních lipidů a zmírnění postprandiálních sérových glukózových a inzulínových reakcí (Lafiandra et al. 2014). Neškrobové polysacharidy, které tvoří důležité strukturální složky rostlinných buněčných stěn, tvoří významnou část příjmu vlákniny v lidské potravě (Kellow & Walker 2018). Nedostatečná konzumace vlákniny je hlavním problémem v západních společnostech, přičemž odhadem 90 % dospělých nekonzumuje doporučené celkové množství 25-35 g vlákniny/den (Reicks et al. 2014). Chronický nízký příjem vlákniny je spojován s řadou zdravotních rizik, včetně zvýšeného rizika kolorektálního karcinomu, divertikulární choroby, kardiovaskulárního onemocnění, obezity, metabolického syndromu, prediabetu a diabetu 2. typu (Kellow & Walker 2018).

3.1.1 Arabinoxylany

Arabinoxylany jsou hemicelulózové neškrobové polysacharidy (Muralikrishna & Rao 2007). Z chemického hlediska jsou to polymery pentóz, a proto se nazývají „pentosany“. Řetězec je tvořen β -1,4 xylózovou kostrou (1500-5000 jednotek) nesoucí arabinózové postranní řetězce (Hobden et al. 2015). Arabinóza může být připojena náhodně α -1,2 nebo α -1,3 vazbami ke xylózovým jednotkám v celém řetězci. Kyselina octová, kyselina hydroxyskořicová, kyselina ferulová a kyselina *p*-kumarová jsou také kovalentně spojeny s některými zbytky xylózy, což poskytuje arabinoxylanům antioxidační aktivitu. Arabinoxylany lze klasifikovat na ve vodě rozpustné nebo ve vodě nerozpustné (Kellow & Walker 2018).

Arabinoxylany se nacházejí v otrubách a aleuronové vrstvě (vrstva obklopující endosperm) většiny obilných zrn včetně pšenice, žita, ječmene, ovsa, rýže a čiroku. Významné hladiny arabinoxylanů lze nalézt také ve slupkách psyllia, bambusových výhoncích a kukuřičných otrubách (Muralikrishna & Rao 2007). Arabinoxylany tvoří 60 až 69 % neškrobových polysacharidů v pšeničných otrubách a 88 % neškrobových polysacharidů v pšeničném endospermu (Kellow & Walker 2018). U otrub pšenice, žita, ječmene a ovsu tvoří 9,0-18,0 %, 12,1-14,8 %, 4,8-9,8 % a 4,0-13,0 %, v tomto pořadí. Žitná zrna jsou z výše uvedeného výčtu nejbohatší na arabinoxylany a jejich celkový obsah v celozrnné mouce se pohybuje od 3,1 do 4,3 %. Obsah arabinoxylanů v zrnech pšenice a ječmene je mírně nižší, v celozrnné mouce je jejich obsah v rozmezí 1,7-2,0 a 1,4-2,25 %. Nejméně arabinoxylanů se nachází v zrnech ovsu, v celozrnné mouce tvoří 0,35-1,25 %. Jejich obsah v mouce závisí na stupni vymletí mouky (Siurek et al. 2012).

Arabinoxylany mají mnoho funkčních vlastností, které jsou důležité pro výrobu chleba a které přispívají k jejich využití jako nutraceutik. Arabinoxylany zvyšují kvalitu chlebové mouky tím, že zlepšují schopnost těsta absorbovat vodu, dále způsobují vyšší stabilitu těsta, lepší strukturu střídy a prodlužují trvanlivost chleba (Saeed et al. 2011; Kellow & Walker 2018).

Arabinoxylany vykazují zdraví prospěšné účinky rozpustné a nerozpustné vlákniny. Potraviny obohacené arabinoxylany mají pozitivní účinky na zdraví tlustého střeva, metabolismus lipidů a kontrolu glykémie (Siurek et al. 2012; Kellow & Walker 2018). Arabinoxylany procházejí v nestrávené podobě lidským tenkým střevem dokud nedosáhnou tlustého střeva, kde slouží jako substráty pro bakteriální fermentaci, vytvářejí pro organismus významné mastné kyseliny s krátkým řetězcem včetně acetátu, butyrátu a propionátu. Tyto mastné kyseliny slouží například jako zdroj energie pro epiteliální buňky střeva, zvyšují vstřebávání některých minerálních látek (vápník, hořčík, železo) a snižují hodnotu pH (Nugent 2005; Gray 2013). Jako viskózní vlákna pomáhají arabinoxylany potlačovat chuť k jídlu, zpomalovat vyprazdňování žaludku a zpomalovat postprandiální glukózové a inzulínové reakce. Jejich příznivé účinky na postprandiální glukózové reakce byly uznány Evropským úřadem pro bezpečnost potravin a Evropská unie schválila zdravotní tvrzení, že „konzumace arabinoxylanů jako součástí jídla přispívá ke snížení vzestupu hladiny glukózy v krvi po tomto jídle“ (Kellow & Walker 2018).

3.1.2 Beta-glukany

Cereální beta-glukany jsou definovány jako vláknité struktury, které tvoří glukany se smíšenou vazbou s kombinací β -1,3-glykosidických a β -1,4-glykosidických vazeb (Sofi et al. 2019). Strukturálně jsou beta-glukany lineární homopolymery D-glukopyranózy, která obsahuje dvě až tři po sobě jdoucí β -1,4 vazby oddělené β -1,3 vazbou. Vazby β -1,3 činí molekulu rozpustnější a konfigurace „ β “ není stravitelná enzymy v lidském gastrointestinálním traktu, což umožňuje klasifikaci mezi rozpustnou dietní vlákninu (Mejia et al. 2020). Hlavními příznivými účinky cereálních beta-glukanů je modulace střevní mikrobioty, podpora syntézy mastných kyselin s krátkým řetězcem, snížení intenzity zánětu střev, ochrana proti rakovině tlustého střeva. Cereální beta-glukany působí dále jako imunomodulátor (Shoukat & Sorrentino 2021).

Beta-glukany se většinou nachází v aleuronové vrstvě a buněčných stěnách endospermu určitých obilovin, jako je oves a ječmen. Jiné obiloviny jako žito a pšenice obsahují nižší koncentrace beta-glukanů. V ječmeni jsou více koncentrované v endospermu, zatímco v ovsu jsou koncentrovány převážně v aleuronové vrstvě (Sofi et al. 2019; Mejia et al. 2020; Shoukat & Sorrentino 2021). Největší množství beta-glukanů se nachází v ječmeni (3-11 %) a ovsu (3-7 %), menší množství v žitu (1-2 %) a pšenici (<1 %) (Sofi et al. 2019). Mimo obilovin se beta-glukany vyskytují rovněž v kvasinkách, houbách, bakteriích a řasách. Tyto struktury, lišící se glykosidickými vazbami, jsou složeny z β -1,3-glykosidických a β -1,6-glykosidických vazeb. (Zhu et al. 2016). Podle Ahmada a Kaleema (2018) existují další méně významné zdroje beta-glukanů, jako jsou fazole, čočka, proso a kukuřice. Obsah beta-glukanů v obilných zrnech a jejich specifické molekulární vlastnosti jsou dány botanickým původem. Rozdíly mezi zrny

stejného druhu obilovin jsou způsobeny genetickými faktory a faktory prostředí. Genetické pozadí je v tomto ohledu důležitější než podmínky prostředí, kterým jsou rostliny vystaveny (Siurek et al. 2012). Například krmný ječmen obsahuje více beta-glukanů než kultivary ječmene používaných v pivovarech (Wilhelmson et al. 2001; Siurek et al. 2012).

Biologická funkce beta-glukanů závisí na primární struktuře, molekulové hmotnosti, náboji polymeru, stupni větvení, rozpustnosti a viskozitě (Atanasov et al. 2020). Obilné beta-glukany jsou převážně lineární a nerozvětvené polysacharidy. V potravinářském průmyslu dochází u většiny zpracovatelských operací k určitému poškození struktury beta-glukanů obilnin, což má za následek snížení jejich molekulové hmotnosti a ztrátu viskozity. Fermentace, pečení a smažení jsou typické procesy, které mohou vést k degradaci beta-glukanů, a proto odvozené produkty obsahují středně nebo extenzivně degradované beta-glukany (Henrion et al. 2019). Kromě toho může při zpracování potravin, zejména při vysokých teplotách, dojít k oxidaci hydroxylových skupin monomerů glukózy v beta-glukanech, což vede k tvorbě karbonylových nebo karboxylových skupin. Na druhou stranu oxidace může zlepšit zdraví posilující vlastnosti obilného beta-glukanu (Marasca et al. 2020).

3.2 Fenolické sloučeniny

Fenolické sloučeniny jsou sloučeniny tvořené jedním nebo více aromatickými kruhy s jednou nebo více hydroxylovými skupinami a mají tendenci se vázat na další molekuly, většinou sacharidy a proteiny. Obecně jsou kategorizovány jako fenolové kyseliny, flavonoidy, stilbeny, kumariny a taniny (Liu 2004; Rao et al. 2018).

Fenoly jsou produkty sekundárního metabolismu v rostlinách. Zajišťují základní funkce při reprodukci a růstu rostliny, jsou součástí obranných mechanismů proti patogenům a parazitům. Kromě své role v rostlinách poskytují fenolické sloučeniny v lidské stravě zdravotní přínosy spojené se sníženým rizikem chronických onemocnění. Fenolické sloučeniny mají antioxidační vlastnosti a chrání před degenerativními onemocněními, jako jsou srdeční choroby a nádorová onemocnění, na kterých se podílejí reaktivní formy kyslíku, např. superoxidový anion, hydroxylové radikály a peroxidové radikály (Harborne & Williams 2000; Sofi et al. 2019). Koncentrace fenolických sloučenin v zrnech je ovlivněna druhem a odrůdou obilniny (Adom & Liu 2002; Adom et al. 2005). Většina fenolických sloučenin se nachází převážně v otrubách (Rao et al. 2018), jejich dostupnost závisí na formě (volné vs. vázané), ve které pronikají do zažívacího traktu. Formy rozpustné ve vodě jsou snadněji dostupné a vstřebatelné v horní části trávicího traktu. Působením mikrobiálních enzymů dochází k uvolňování fenolických látek vázaných na polymery buněčných stěn rostlinné matrice (Hinneburg 2006; Stuper-Szablewska & Perkowski 2019). Nejběžnější fenolové sloučeniny nacházející se v obilovinách jsou fenolové kyseliny a flavonoidy (Sofi et al. 2019).

Antioxidační aktivita fenolických sloučenin závisí na chemické struktuře. Struktura a konfigurace určuje stabilitu a reaktivitu těchto sloučenin, což vede k schopnosti neutralizovat škodlivé volné radikály (Giada 2013). Úroveň rozpustnosti je ovlivněna biologickou dostupností fenolických sloučenin z potravy a v důsledku toho ovlivňuje množství volných radikálů, které může v těle vychytávat. Nerozpustné fenolické sloučeniny mají tedy extrémně nízkou úroveň biologické dostupnosti, což má za následek nízkou antioxidační aktivitu.

Zatímco rozpustné fenolické sloučeniny mohou být absorbovány přes střevní stěnu, což vede k vyšší biologické dostupnosti a tedy i vyšší antioxidační aktivitě (Rao et al. 2018).

3.2.1 Fenolové kyseliny

Fenolové kyseliny jsou přítomny ve všech obilovinách. Fenolové kyseliny lze rozdělit do dvou hlavních skupin: deriváty kyselin hydroxybenzoové a hydroxyskořicové. Deriváty kyseliny hydroxybenzoové zahrnují kyselinu *p*-hydroxybenzoovou, protokatechiny, kyselinu vanilovou, syringovou a gallovou. Deriváty kyseliny hydroxyskořicové zahrnují kyseliny *p*-kumarovou, kávovou, ferulovou a sinapovou.

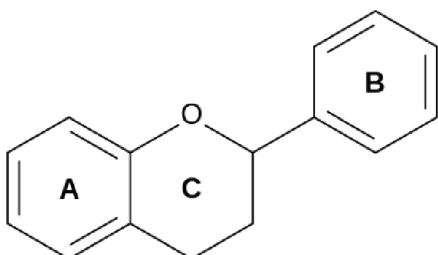
Fenolové kyseliny obsažené v obilovinách se vyskytují ve volné i vázané formě. Čirok a proso mají nejširší škálu fenolových kyselin. Volné fenolové kyseliny se nacházejí ve vnější vrstvě oplodí (Mattila et al. 2005; Sofi et al. 2019; Horvat et al. 2020). Vázané fenolové kyseliny jsou esterově vázané na složky buněčných stěn buněk nacházejících se v obalových vrstvách zrna (Kim et al. 2006; Horvat et al. 2020). Hlavními fenolovými kyselinami v obilovinách jsou kyselina ferulová a kyselina *p*-kumarová (Holtekjølen et al. 2006).

Fenolové kyseliny vykazují v lidském organismu různou biologickou aktivitu. Mimo jiné přispívají k vychytávání volných radikálů, chelataci kovových iontů, změnám aktivity enzymů a dostupnosti bílkovin. Chrání také před fotooxidačním poškozením kůže, přičemž kyselina kávová v tomto ohledu vykazuje větší aktivitu než kyselina ferulová (Stuper-Szablewska & Perkowski 2019). Fenolové kyseliny, zejména kyselina ferulová, jsou vysoce aktivní sloučeniny vykazující antimutagenní aktivitu. Vykazují silnou aktivitu při inhibici poškození DNA, což má za následek jejich protirakovinný účinek. Kyselina kávová vykazuje neuroprotektivní účinek (Pereira et al. 2012; Stuper-Szablewska & Perkowski 2019). V případě diabetiků jsou žádoucími složkami stravy fenolové kyseliny, jako je kyselina ferulová a kumarová, snižující hladiny glukózy v krvi díky zvýšené aktivitě glukokinázy, produkci glykogenu v játrech a zvýšení hladiny krevního inzulínu (Virgili et al. 2000). Epidemiologické studie prokázaly, že příjem vysokého množství fenolových kyselin (40 mg/kg tělesné hmotnosti) je spojen se sníženou hladinou γ -glutamyltranspeptidázy, která je biomarkerem časně fáze oxidačního stresu. Fenolové kyseliny vykazují výhodný synergický účinek s dalšími biologicky aktivními sloučeninami obsaženými ve stravě. Jejich metabolity mohou vykazovat nižší biologickou aktivitu (Hinneburg 2006; Stuper-Szablewska & Perkowski 2019).

Kumarové kyseliny jsou hydroxylované deriváty kyseliny skořicové. Existují tři formy kumarových kyselin: *p*-kumarová, *o*-kumarová, a *m*-kumarová kyselina. Tyto tři formy se liší polohou hydroxylové substituce fenolické skupiny (Garrait et al. 2006). Kyselina *p*-kumarová je přítomna v nejnižším množství ve středu zrna a směrem k vnějším vrstvám zrna její množství roste (Awika & Rooney 2004). Kumarová kyselina má schopnost zachycovat volné radikály (Ferguson et al. 2006), vykazuje protinádorovou aktivitu proti lidským maligním nádorům, indukuje cytostázu a inhibuje maligní vlastnosti lidských nádorových buněk *in vitro* (Sofi et al. 2019; Stuper-Szablewska & Perkowski 2019). Ferulové kyseliny se ve slupce zrna nachází 75 %, v endospermu 15 % a zbytek je obsažen v aleuronové vrstvě (Horvat et al. 2020). Obsah ferulové kyseliny v pšeničných zrnech může představovat 90 % celkových polyfenolů (Sofi et al. 2019).

3.2.2 Flavonoidy

Základní strukturu flavonoidů (Obr. 1) tvoří flavanové jádro (kruhy A, B, C) neboli difenylpropan (C₆-C₃-C₆), který se skládá ze dvou aromatických kruhů spojených tříuhlíkovou vazbou a spolu s kyslíkem vytváří heterocyklický 2H-pyran. Flavonoidy a jejich deriváty zahrnují: anthokyanidiny, flavonoly, flavony, flavanony a flavanoly neboli katechiny (Yao et al. 2004; Rao et al. 2018).



Obr. 1: Základní struktura flavonoidů

Flavonoidy se nacházejí v oplodí všech obilovin. Například apigenin se nachází mimo jiné v ječmeni, prosu a ovsu. Obiloviny obsahují pouze malá množství flavonoidů, kromě ječmene, který obsahuje měřitelné množství katechinu a některé di a tri pro-kyanidiny.

Flavonoidy jsou velmi hojné sloučeniny mající jednu z nejvyšších antioxidačních aktivit mezi ostatními fenolickými sloučeninami. Tato vysoká antioxidační aktivita flavonoidů typicky vyplývá z přítomnosti hydroxylových skupin v polohách 3' a 4' kruhu B (Giada 2013). Kromě toho mají flavonoidy řadu volných hydroxylových skupin na kruzích C a A přispívajících k jejich aktivitě, která se po substituci sacharidy snižuje (Rao et al. 2018). Flavonoidy mají dále antialergické, protizánětlivé, antikarcinogenní a gastroprotektivní účinky (Sofi et al. 2019).

Podskupinou flavonoidů, které vykazují rovněž silnou antioxidační aktivitu, jsou taniny, které se dále dělí na hydrolyzovatelné taniny a kondenzované neboli nehydrolyzovatelné taniny. Úroveň antioxidační aktivity vykazované taniny pozitivně koreluje se stupněm polymerace (Rao et al. 2018). Nehydrolyzovatelné taniny neboli proanthokyanidiny jsou oligomery flavan-3-olů, (-)-epikatechinu a (+)-katechinu. Mezi deriváty proanthokyanidinů, které se nacházejí v obilovinách patří prokyanidiny a prodelfinidiny (Gangopadhyay et al. 2016).

3.2.3 Avenanthramidy

Avenanthramidy jsou specifické polyfenoly vyskytující se v ovsu, zejména ve vnějších vrstvách. Jedná se o substituované amidy kyseliny skořicové s různými anthranilovými kyselinami (Beta & Duodu 2016). Tři hlavní avenanthramidy uváděné v ovsu jsou avenanthramid 1, 3 a 4, které jsou také známé jako avenanthramidy B, C a A (Sofi et al. 2019). Hladiny avenanthramidu 1 se v zrně pohybují od 4 do 13 µg/g. Ovesné vločky obsahují více avenanthramidů (26 až 27 µg/g) než ovesné otruby (13 µg/g) (Mattila et al. 2002).

Avenanthramid je biologicky dostupný a má protizánětlivé, antiaterogenní a antioxidační vlastnosti (Peterson et al. 2002).

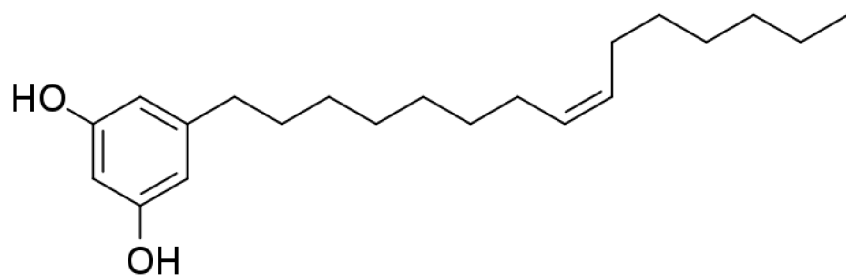
3.2.4 Lignany

Jedná se o sekundární metabolity rostlin. Tvoří skupinu dietetických fytoestrogenových sloučenin, které jsou přítomny v široké škále rostlinných potravin včetně lněných semen, kukuřice, ovsa, pšenice a žita (Sofi et al. 2019; Zálešák et al. 2019).

Biologická aktivita těchto fenolických sloučenin sahá od antioxidační, protinádorové, protizánětlivé, antineurodegenerativní, neuroprotektivní a antivirové, až po antimikrobiální. U enterolaktonu a jeho biochemických prekurzorů známých také jako fytoestrogeny, byly prokázány důležité fyziologické vlastnosti, například snížení rizika hormonálně závislých nádorových onemocnění, osteoporózy, různých koronárních příhod a ochranný účinek proti oxidativnímu stresu. Lignany poskytují ochranu proti rakovině tlustého střeva a prsu (Zálešák et al. 2019).

3.2.5 Alkylresorcinoly

Alkylresorcinoly (Obr. 2) jsou fenolické lipidy rostlinného původu, které se nacházejí výhradně v otrubách a konkrétně v oplodí. Ve srovnání s jednoduchými fenolovými kyselinami představují alkylresorcinoly velmi odlišnou skupinu fenolických sloučenin z hlediska molekulárních vlastností, jsou amfifilní, což znamená, že mají polární i nepolární vlastnosti. Tyto bioaktivní sloučeniny se skládají z fenolového kruhu se dvěma hydroxylovými skupinami a hydrofobním, většinou nasyceným alkylovým řetězcem, který může obsahovat 15 až 25 uhlíků (Lafiandra et al. 2012; Sapirstein 2016).



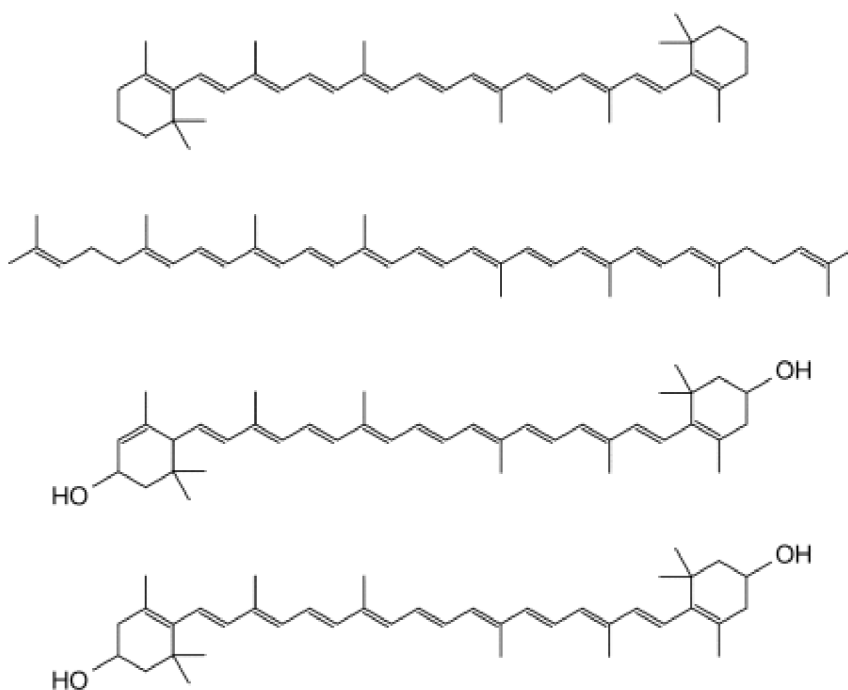
Obr. 2: Struktura alkylresorcinolů

Pšeničné otruby jsou zdrojem alkylresorcinolů, kterých obsahují asi 0,3 % (3 mg/g), což je čtyřikrát více průměrný obsah než v celém zrně (0,750 mg/g). Žito obsahuje nejvyšší množství alkylresorcinolů, které může být až dvojnásobné než u pšenice (Ross et al. 2003). Olej získaný z otrub pšenice obecně obsahuje alkylresorcinoly v množství 19 mg/g, zatímco množství alkylresorcinolů v celé pšeničce je 0,476 mg/g. Kultivary pšenice obecně mají vyšší obsah celkových alkylresorcinolů v rozmezí od 0,591 až 1,077 mg/g ve srovnání s kultivary pšenice tvrdé, kde se obsahy pohybují od 0,430 až 0,797 mg/g (Knödler et al. 2010; Lafiandra et al. 2012).

Alkylresorcinoly mají antibakteriální a antifungální vlastnosti a antioxidační vlastnosti *in vitro* (Sofi et al. 2019). Mnoho studií uvádí, že alkylresorcinoly mají schopnost chránit buněčné lipidové složky před oxidativními procesy. Jsou slabými antioxidanty na základě jejich schopnosti darovat vodík a pohlcovat radikály ve srovnání s některými jinými bioaktivními sloučeninami, jako je α -tokoferol (vitamín E). Jejich antioxidační potenciál závisí na délce řetězce, která ovlivňuje jejich amfifilní chování a zabudování do buněčných membrán (Sapirstein 2016).

3.3 Karotenoidy

Karotenoidy jsou červené, oranžové a žluté pigmenty produkované bakteriemi, řasami a rostlinami. V přírodě existuje více než 700 karotenoidů (Scott & Stuart 2020) a roční bioprodukce 100 milionů tun řadí karotenoidy mezi nejrozšířenější a největší skupiny pigmentů v přírodě (Lerfall 2016). Většina jsou tetraterpenoidy (C40) skládající se z 8 izoprenoidních jednotek (Obr. 3), jsou rozpustné v tucích a dělí se do dvou hlavních podtříd: karoteny a xantofyly (Ellison 2016; Lerfall 2016). Karoteny se skládají z lineárních uhlovodíků, které mohou být cyklizovány na jednom nebo obou koncích molekuly (Mezzomo & Ferreira 2016). Mezi karoteny je řazen β -karoten a lykopen. Xantofyly jsou kyslíkaté deriváty karotenů a patří mezi ně lutein, zeaxanthin či astaxanthin (Mezzomo & Ferreira 2016; Lerfall 2016; Scott & Stuart 2020). Systém konjugovaných dvojných vazeb dává těmto pigmentům vysokou chemickou reaktivitu, kterou lze snadno izomerizovat a oxidovat (Mezzomo & Ferreira 2016; Lerfall 2016).



Obr. 3: Struktury vybraných karotenoidů (zeshora: β -karoten, lykopen, lutein, zeaxanthin)

Karotenoidy se nacházejí v celé rostlinné říši a jsou hlavními endogenními pigmenty na květinách, ovoci a zelenině a exogenními pigmenty u hmyzu, ptáků a ryb (Lerfall 2016). Karotenoidy běžně se nacházející v obilovinách jsou lutein, zeaxanthin, β -kryptoxanthin a β -karoten (Sofi et al. 2019; Hussain et al. 2021). V pšenici se vyskytuje nejvíce lutein, následuje zeaxanthin a pak β -kryptoxanthin. Rýžové otruby obsahují jak lutein, tak zeaxanthin (Saikia & Deka 2011). Kukuřice je významným zdrojem karotenoidů s přibližně 11 mg/kg suché hmotnosti (Panfili et al. 2004). Karotenoidy jsou rovnoměrně distribuovány uvnitř obilných zrn, s významným obsahem v endospermu, na rozdíl od jiných mikro živin, jako jsou minerální látky, stopové prvky a polyfenoly.

Karotenoidní pigmenty jsou využívány v potravinářském, farmaceutickém, kosmetickém a krmivářském průmyslu díky barvicím vlastnostem. V potravinářském průmyslu jsou karotenoidy využívány hlavně jako obnovující barviva. Používají se ve výrobcích, podrobených intenzivnímu zpracování nebo skladování, které ztratily část své přirozené barvy, nebo za účelem standardizace barvy potravinářských výrobků, jako jsou ovocné šťávy, těstoviny, nápoje, bonbóny, margaríny, sýry a uzeniny (Mezzomo & Ferreira 2016). Karotenoidy se používají také při obohacování potravin pro možnou aktivitu jako provitamin A a pro biologické funkce prospěšné pro zdraví jako je například posílení imunitního systému, snížení rizika degenerativních onemocnění, chemoprotektivní (Hu et al. 2006; Mezzomo & Ferreira 2016) a antioxidační vlastnosti a snižování rizika vzniku obezity (Hu et al. 2006; Mezzomo et al. 2015). Karotenoidy v biologických systémech mohou působit přímo při neutralizaci volných radikálů, předcházet nebo redukovat poškození způsobené těmito sloučeninami v buňkách, nebo se nepřímo podílet na enzymových systémech, které mají antioxidační aktivitu (Shami & Moreira 2004). Podle Olsona (1999) karotenoidy zhasí singletový kyslík, odstraňují peroxyradikály, modulují metabolismus karcinogenů, inhibují buněčnou proliferaci, stimulují komunikaci mezi buňkami a zvyšují imunitní odpověď. Jak karotenoidy, které jsou prekurzory vitamínu A, tak i neprekurzory, jako je lutein, zeaxanthin a lykopen, mají ochranný účinek proti rakovině a snižují riziko výskytu kardiovaskulárních onemocnění (Kim et al. 2001; Hussain et al. 2021). Vitamin A je důležitý pro růst, vývoj, údržbu epitelálních tkání, reprodukci, imunitní systém a zejména zrakový cyklus uplatňující se při regeneraci fotoreceptorů. Jeho nedostatek je vážným zdravotním problémem a je hlavní příčinou dětské úmrtnosti v rozvojových zemích. Dlouhodobý nedostatek může způsobit změny na kůži, šeroslepost a vředy na oční rohovce. Kromě toho vede k slepotě, poruchám růstu a poruchám učení v dětství. Na druhou stranu je nadbytek vitamínu A toxický a může způsobit vrozené vývojové vady během těhotenství, onemocnění kostí u pacientů s chronickým selháním ledvin, xeroftalmii, slepotu a smrt (Ambrósio et al. 2006; Carvalho et al. 2006; Hussain et al. 2021). Karotenoidy jsou přeměňovány na vitamin A, dle potřeb organismu, s různým stupněm účinnosti přeměny (Carvalho et al. 2006).

β -karoten je termolabilní oranžový pigment, citlivý na světlo a kyslík (Osganian et al. 2003; Gul et al. 2015). Jeho nedostatek může mít za následek xeroftalmii, slepotu a předčasnou smrt (Gul et al. 2015). β -karoten chrání před vznikem aterosklerózy tím, že inhibuje oxidaci lipoproteinů (Mezzomo & Ferreira 2016). Studie Holick et al. (2002) ukázala, že konzumace zeleniny a ovoce bohaté na β -karoten může snížit riziko rakoviny plic ve vztahu k jedincům, kteří tuto zeleninu nekonzumovali.

Pigment lykopen se vyznačuje symetrickou strukturou obsahující 11 konjugovaných dvojných vazeb. Díky své chemické struktuře je lykopen jedním z nejlepších biologických supresorů volných radikálů (Rao & Agarwal 2000; Rao 2002). Ve srovnání s β -karotenem lykopen disponuje dvojnásobnou antioxidační aktivitou (Rao & Agarwal 2000; Mezzomo & Ferreira 2016). Diety bohaté na lykopen jsou spojeny se sníženým rizikem rozvoje rakoviny prostaty, plic a vaječníků a nižším výskytem chronických degenerativních onemocnění a kardiovaskulárních onemocnění (Cramer et al. 2001).

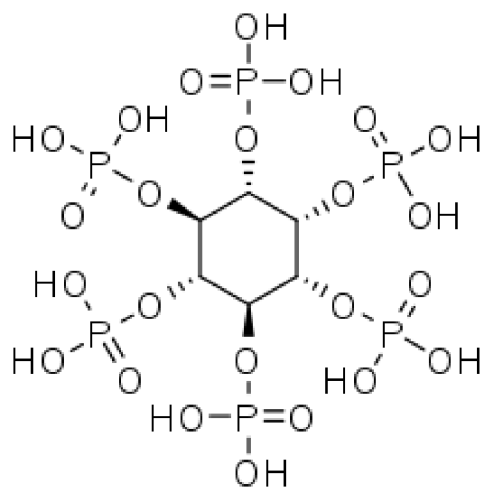
Lutein a zeaxanthin jsou karotenoidy uložené v lidském těle v sítnici a očních čočkách. Vysoký příjem luteinu a zeaxantinu, z potravin jako je špenát, brokolice a vejce, souvisí s významným snížením katarakty (o 20 %) a makulární degenerace související s věkem (o více než 40 %) (Mezzomo & Ferreira 2016).

Astaxanthin je pigment nacházející se u vodních živočichů, jako jsou humři, krabi a krevety a má antioxidační aktivitu 10krát vyšší než β -karoten a 500krát vyšší než vitamin E (López et al. 2004).

β -kryptoxantin je běžný karotenoid, který se nachází v ovoci, v lidské krvi a tkáních. Mezi potraviny, které jsou bohaté na β -kryptoxanthin, patří mandarinky a pomeranče (Burri 2015).

3.4 Fytová kyselina

Fytová kyselina (Obr. 4) je bioaktivní sloučenina známá jako inositol hexafosfát. V přírodě se vyskytuje nejčastěji ve formě ve vodě nerozpustných solí, obvykle jako komplex s esenciálními minerálními látkami nebo proteiny (Ahmed et al. 2014; Sofi et al. 2019).



Obr. 4: Chemická struktura kyseliny fytové

Kyselina fytová je široce zastoupena v potravinách, zejména v obilovinách, luštěninách a zelenině. Je hlavní zásobní sloučeninou fosforu a tvoří 65 % až 85 % celkového fosforu v semenech (Kumar et al. 2021). V obilných zrnech se vyskytuje především v otrubách a aleuronové vrstvě, kde je koncentrace této kyseliny nejvyšší. U kukuřice se nachází hlavně

v klíčku (Febles et al. 2002). Pšeničná mouka obsahuje relativně vysoké hladiny kyseliny fytové (6 až 10 mg/g), rafinací mouky se její koncentrace snižuje na 2 až 4 mg/g (Ahmed et al. 2014).

Fytová kyselina je považována za přírodní antinutriční látku. Fytát vytváří chelátové komplexy s minerálními prvky jako je Zn^{2+} , Fe^{2+} , Ca^{2+} a/nebo Mg^{2+} , a tím omezuje jejich biologickou dostupnost (Lopez et al. 2002). To může vést k následnému nedostatku mikroživin u lidí, z důvodu chybějícího enzymu fytáza, který hydrolyzuje fytáty (soli fytové kyseliny) a uvolňuje tak na něm navázané mikroživiny (Sofi et al. 2019; Kumar et al. 2021). Důvod, proč je výskyt fytové kyseliny v potravinách spíše nežádoucí je její negativní dopad na biologickou dostupnost některých minerálních prvků. Druhým důvodem je inhibice různých proteáz nezbytných pro degradaci bílkovin a následné trávení v žaludku a tenkém střevě. Fytová s kyselina se na druhou stranu uvádí jako silný přírodní rostlinný antioxidant, který hraje ochrannou roli proti oxidativnímu stresu v semenech a preventivní roli u různých lidských onemocnění. Nedávno byla popsána prospěšná role fytové kyseliny jako antidiabetika a antibakteriálního činidla (Kumar et al. 2021).

3.5 Fytosteroly

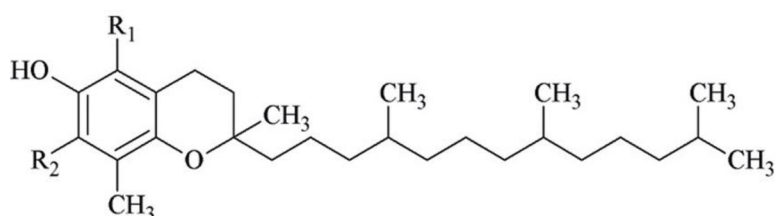
Fytosteroly je souhrnné označení pro rostlinné steroly a stanoly (nasyčené formy rostlinných sterolů), které jsou svou strukturou podobné cholesterolu, liší se pouze skupinami postranních řetězců.

Jsou přítomny v rostlinných olejích, obilovinách, ořechách a zelenině. V obilovinách se rostlinné steroly vyskytují jako volné steroly, sterylestery s mastnými kyselinami nebo fenolovými kyselinami, sterylglukosidy a acylované sterylglukosidy. Množství těchto složek se u různých obilnin a v různých částech obilky liší. Nejdůležitějším přírodním zdrojem rostlinných sterolů v lidské stravě jsou oleje a margaríny. Cereální produkty jsou považovány za významnější zdroje rostlinných sterolů než zelenina (Orehov & Ivanova 2016; Sofi et al. 2019). Mezi nejhojnější rostlinné steroly patří sitosterol, kampesterol a stigmasterol s typickým denním příjmem v rozmezí 150 až 400 mg (Katan et al. 2003; Rajasekaran 2017).

Vysoký příjem fytosterolů může chránit před aterosklerózou a snižovat hladinu celkového cholesterolu a LDL cholesterolu (Katan et al. 2003). Fytosteroly mechanicky soutěží s cholesterolem o tvorbu micel ve střevním lumen a inhibují tak absorpci cholesterolu (Sanclemente et al. 2012; Murphy et al. 2018). Z výsledků třech studií, které provedli Andersson et al. (2004), Klingberg et al. (2018) a Lin et al. (2010) vyplývá, že hladiny celkového i LDL cholesterolu v krevní plazmě byly nepřímo úměrné příjmu rostlinných sterolů, ačkoli účinek byl mírný i při nejvyšších úrovních příjmu potravou. Hladiny HDL a VLDL nebyly fytosteroly ovlivněny. Absence dietních fytosterolů/stanolů ve stravě vedla ke zvýšení sérového LDL cholesterolu (Racette et al. 2010). Fytosteroly ve stravě mají potenciál snižovat morbiditu a mortalitu způsobenou kardiovaskulárním onemocněním (Rajasekaran 2017).

3.6 Tokoly

Tokoly (tokoferoly a tokotrienoly) jsou monofenoly získané z 6-hydroxy-2-methyl-2-fytylchromanu (Durazzo et al. 2021) a jsou také známé jako vitamin E (Nielsen & Hansen 2008). Tokoly se vyskytují v osmi formách: α -tokoferol, β -tokoferol, γ -tokoferol, δ -tokoferol, α -tokotrienol, β -tokotrienol, γ -tokotrienol a δ -tokotrienol, které se liší počtem methylových skupin připojených ke kruhu 6-chromanolu (Sofi et al. 2019). Chemická struktura tokoferolů a tokotrienolů je odlišná. Tokoferoly (α , β , γ a δ) (Obr. 5) obsahují ve své struktuře chromanolový kruh a 16-uhlíkatý fytylový postranní řetězec. Chromanolový kruh α -tokoferolů je methylován ve třech polohách 5, 7, 8. U β -tokoferolů je kruh methylován v polohách 5,8, u γ -tokoferolů v polohách 7,8 a u δ -tokoferolů v poloze 8. Současně lze stejnou substituci methylových skupin pozorovat v tokotrienolech na chromanolovém kruhu s 16-uhlíkatým postranním řetězcem s dvojnými vazbami v polohách 3, 7 a 11 (Saini & Keum 2016; Durazzo et al. 2021).



Obr. 5: Struktura tokoferolů

Tokoly jsou přírodní antioxidanty přítomné v potravinách rostlinného původu včetně obilovin a je dobře známa jejich biologická aktivita (Nielsen & Hansen 2008). Jsou využívány jako přísady v potravinářském a farmaceutickém průmyslu (Lu et al. 2015). Tokoly jsou rozpustné v alkoholech, olejích a nerozpustné ve vodě. Jsou odolné vůči teplu a kyselinám, ale nestabilní při vystavení zásadám, světlu a kyslíku (Durazzo et al. 2021). Tokoly jsou syntetizovány pouze fotosyntetizujícími rostlinami a musí být obsaženy ve stravě (Sofi et al. 2019). Nejbohatším zdrojem vitamínu E v lidské stravě jsou obilná zrna, která obsahují více tokotrienolů než tokoferolů. Tento poměr je výhodný, protože zdravotní přínosy tokotrienolů převyšují účinky tokoferolů (Sen et al. 2007). Výzkumy Zielinskiho et al. (2001) odhalily, že nejbohatším zdrojem tokolů z testovaných obilovin byla zrna pšenice a žita, která obsahovala 27,81 a 27,78 mg těchto sloučenin. Zrna ječmene a ovsy obsahovala menší množství tokolů, a to 18,73 a 11,59 mg v tomto pořadí.

Tokoferoly a tokotrienoly disponují různými funkčními vlastnostmi, včetně protirakovinných (Marelli et al. 2018), antiobezitních (Fukui 2019), antidiabetických (Shen et al. 2018) a kardioprotektivních (Ramanathan et al. 2018) účinků. Vykazují také neuroprotektivní aktivitu a snižují hladinu cholesterolu v krevním séru (Sofi et al. 2019). Kromě toho jsou funkce tokotrienolů a tokoferolů odlišné a studie Aggarwal et al. (2010) ukázala účinnější aktivitu tokotrienolů než α -tokoferolů v prevenci rozvoje chronických chorob. Wong et al. (2020) odhalil inhibici hormonálních změn, oxidačního stresu, zánětlivých reakcí a HMG-CoA (3-hydroxy-3-methylglutaryl-koenzym A) reduktázy po podání tokotrienolů, přičemž účinnost tokotrienolů byla vyšší než účinnost tokoferolů. Idriss et al.

(2020) zjistili *in vitro* protirakovinnou aktivitu β -tokotrienolu, která souvisela s indukcí apoptózy a zastavením fáze G1 buněčného cyklu, a vyšší protinádorový potenciál β -tokotrienolu ve srovnání s γ -tokotrienolem. Podávání krmné dávky bohaté na tokotrienoly (200 mg/kg) po dobu asi tří měsíců prokázalo pozitivní dopad na antioxidační systém myokardu u potkanů prostřednictvím nové syntézy glutathionu (Zarkasi et al. 2020).

4 Způsoby hospodaření v zemědělství

4.1 Konvenční zemědělství

Nejrozšířenějším způsobem hospodaření vyspělých zemí je konvenční zemědělství, které se snaží maximalizovat produkci prostřednictvím vyšších materiálových a energetických vstupů (Moudrý et al. 2007). Konvenční zemědělství využívá různé prostředky pro zvyšování výnosu rostlin (průmyslová hnojiva, pesticidy, regulátory růstu) nebo ovlivňující užitek hospodářských zvířat (přísady do krmných směsí, léčivé přípravky, hormony) (Moudrý 1997). Tento intenzivní způsob hospodaření se projevuje vysokou mírou urbanizace krajiny, jako je například potlačování přirozené vegetace, zastavování ploch a ostré vymezení hranic pozemků (Moudrý 1997; Urban et al. 2003; Moudrý et al. 2007).

Hlavní charakteristikou intenzivního zemědělství je pěstování omezeného počtu druhů plodin, vysoká závislost na vnějších vstupech a také oddělení živočišné a rostlinné výroby. Celosvětově zemědělství spotřebovává značná množství energie, vody, chemických látek, dochází k odčerpávání vody z nádrží, průmyslová hnojiva se splachováním dostávají do vodních toků a používané pesticidy se koncentrují v povrchových vodách či půdě. Všechny tyto výše zmíněné kroky intenzivního zemědělství mají za následek:

- erozi,
- degradaci půdy,
- snížení počtu mikroorganismů v půdě,
- snížení biodiverzity,
- znečištění prostředí (např. vodních zdrojů, spodních vod, půdy, ovzduší),
- tvorbu nebezpečných odpadů,
- úpadek venkova v důsledku růstu nezaměstnanosti na venkově a odchodu lidí za prací do měst (Urban et al. 2003; Václavík 2003; MZe 2021a).

4.2 Ekologické zemědělství

Neustálé využívání bohatství přírody spolu s produkcí řady kontaminujících látek již překročilo fyzicky udržitelnou míru. Pokud nedojde k omezení toků energie a materiálů následkem bude nekontrolovatelný úpadek využívání energie, potravinové produkce. Trvale udržitelná společnost se jeví daleko více vhodnější než společnost pokoušející se o neustálou expanzi. V trvale udržitelné společnosti je vyžadováno pečlivé uvážení cílů, a to jak krátkodobých tak i dlouhodobých, je potřeba klást důraz také na kvalitu života (Moudrý & Prugar 2002). S požadavky na trvalou udržitelnost byly ke konvenčnímu, intenzivnímu hospodaření vyhledávány alternativní způsoby hospodaření. Jednou z těchto alternativ je zemědělství ekologické vycházející z poznatků, že jakýkoli výrazný zásah do agroekosystému s negativním působením na krajinu vyvolá řetězovou reakci s těžko předvídatelnými následky (Tichá 2008). Dle Moudrého et al. (2007) a Bernet et al. (2021) je ekologické zemědělství systém produkční usilující o zlepšení a zachování kvality životního prostředí a přírodních zdrojů. Tento způsob zemědělství je chápán jako proces, při kterém dochází k přiměřenému

využívání ekosystému a je respektována jeho setrvalost a stabilita. Moudrý (1997) a Lacko-Bartošová et al. (2005) uvádí, že ekologické zemědělství vychází z holismu, filozofického směru, kde je příroda brána jako jednotný celek a člověk je chápán jako součást této přírody. Je tedy potřeba prozkoumávat systém jako celek a nehlédět pouze na jeho části. Důležité je zachovat biodiverzitu, biologické koloběhy a přírodní zdroje a brát vše dohromady jako součást přírody (Lacko-Bartošová et al. 2005).

Ekologické zemědělství svým komplexním přístupem pozitivně přispívá k řešení mnoha problémů, které jsou způsobovány intenzivním způsobem hospodaření (např. eroze, povodně, extrémní sucha, eutrofizace vod, zanášení vodních nádrží, znečištění podzemních vod pesticidy, pokles biodiverzity). Podle definice nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) 2018/848 „je ekologická produkce celkový systém řízení zemědělského podniku a produkce potravin, který spojuje osvědčené postupy v oblasti životního prostředí a klimatu, vysokou úroveň biologické rozmanitosti, ochranu přírodních zdrojů, uplatňování přísných norem v oblasti dobrých životních podmínek zvířat a norem produkce v souladu s poptávkou rostoucího počtu spotřebitelů po produktech získaných za použití přírodních látek a procesů (Nařízení evropského parlamentu a rady (EU) 2018/848).“

4.2.1 Legislativa

První zákon týkající se ekologického zemědělství byl vydán v roce 1985 v Rakousku a následně byly vydány zákony obdobného obsahu v dalších zemích například ve Francii, v Dánsku a Švýcarsku. Roku 1991, v důsledku rozvoje trhu s biopotravinami v zemích EU, bylo vydáno nařízení Rady (EHS) 2092/1991. Toto nařízení, stanovující minimální požadavky pro označování biopotravin a bioproduktů a jejich dodávání na trh, bylo první evropskou právně závaznou normou (Dvorský & Urban 2014). Nařízení Rady č. 2092/1991 bylo několikrát novelizováno a revidováno. Dne 1. ledna 2022 vstoupilo v platnost současné nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) 2018/848 ze dne 30. května 2018 (Regulation (EU) 2018/848 of the European Parliament and of the Council; Bernet et al. 2021). Nařízení platí ve všech zemích EU a funguje jako centrální referenční předpis pro ostatní evropské země, zejména ve východní Evropě. Požadavky jsou podle soukromého práva stanoveny různými asociacemi ekologického zemědělství, které rovněž působí jako organizace soukromých značek. Pro usnadnění vzájemného přístupu ekologických produktů na trh existují mezi asociacemi dohody, které zaručují, že jsou tyto normy rovnocenné. V rámci Evropy mají některé organizace zabývající označováním podobné technické požadavky na pěstování potravin. Proto uzavřely tzv. dohody o ekvivalenci, což znamená, že produkty, které byly certifikovány pro určitou značku, jsou certifikovány i pro jiné ekvivalentní značky. Tento postup se však vztahuje pouze na produkty, které pocházejí ze země, v níž sídlí organizace pro označování. Například zboží s certifikací Naturland z Německa je ve Švýcarsku považováno za ekvivalentní podle dohody o rovnocennosti s Bio Suisse. Naproti tomu produkty s certifikací Naturland z jiných zemí než Německa musí být dodatečně kontrolovány a certifikovány certifikační organizací akreditovanou společností Bio Suisse, aby mohly být uváděny na trh s označením Bio Suisse (Bernet et al. 2021).

Všechny ekologické předpisy a kodexy jsou chráněny termíny „organický“ a „ekologický“ včetně jejich zkratk „Bio“ a „Eko“ v řadě variant a jazyků. V souladu s tím je lze použít pouze pro produkty, u nichž byly splněny ekologické normy při výrobě, zpracování a obchodu. Dodržování standardů je kontrolováno akreditovanými certifikačními organizacemi s vyhlášenými i spontánními kontrolami (Bernet et al. 2021).

Evropské normy jsou v ČR doplněny zákonem č. 242/2000 Sb. o ekologickém zemědělství. Všechny tyto předpisy a normy dbají na životní prostředí, omezují či zakazují používání chemických látek a postupů zatěžujících nebo znečišťujících prostředí nebo zvyšujících rizika kontaminace potravních řetězců (Dvorský & Urban 2014). Dále kladou důraz na pohodu chovaných zvířat, jejich cílem je také produkce a distribuce biopotravin dobré kvality a jejich šetrná výroba (MZe 2021a).

4.2.2 Ekologické zemědělství v České republice

Historie ekologického zemědělství (EZ) v ČR sahá do roku 1990, kdy došlo ke vzniku prvních třech farem. Česká republika se dnes s podílem 15 % celkové zemědělské půdy v ekologickém zemědělství řadí mezi patnáct zemí světa s nejvyšším počtem ploch v EZ a v rámci EU se nachází na 6. místě (MZe 2021a).

Z výstupů šetření Ústavu zemědělské ekonomiky a informací (ÚZEI) a údajů z Registru ekologických podnikatelů spravovaný Ministerstvem zemědělství (MZe) vyplývá, že na konci roku 2020 ekologicky hospodařilo více než 4 600 farem na celkové výměře 543 522 ha, což představuje 15,3% podíl na celkovém zemědělském půdním fondu (ZPF) dle evidence využívané zemědělské půdy (Tabulka č. 1). Celková výměra půdního fondu k 31. prosinci 2020 byla 3 555 247 ha (MZe 2022).

Ke konci roku 2019 v režimu EZ hospodařila takřka každá desátá farma z celkového počtu 48 500 a za uplynulých 5 let se počet ekologických farem zvýšil o 21 % (z původních 3 885) a tím vzrostla o 13 % (z původních 477 000 ha) i výměra ploch. Celková výměra ploch v EZ meziročně (2017-2019) vzrostla a od roku 2016 tyto plochy stabilně rostou (MZe 2021b). V roce 2020 vývoj ploch EZ při meziročním srovnání stagnoval. Z Tabulky č. 1 je patrné, že celková výměra ploch v ekologickém zemědělství vzrostla pouze o 0,4 %, což je odpovídá 2259 ha. Došlo také k poklesu počtu ekofarem o 0,5 %. Tento zpomalený rozvoj EZ souvisí s pozdržením příjmu žádostí o zapojení do EZ v roce 2020 a s končícími pětiletými závazky (2015–2019) (MZe 2022).

Rychlý rozvoj EZ byl způsoben vyšší poptávkou spotřebitelů po biopotravinách, podporou ekologických zemědělců od roku 1990 a následně pak podporou vyplácenou od roku 2004 z fondů EU. Tato podpora prostřednictvím fondů EU bude probíhat i po roce 2020 v rámci Strategického plánu a Společné zemědělské politiky (MZe 2021a).

Podle ÚZEI bylo v roce 2020 ekologicky obhospodařováno více než 541 tisíc hektarů, z toho téměř 93 tisíc ha (17 %) tvořila orná půda, 442 tisíc ha (82 %) připadalo na trvalé travní porosty a více než 6 tisíc ha (1,2 %) tvořily plochy trvalých kultur. Dominantními plodinami pěstované na orné půdě byly píce a obiloviny (45% a 43% podíl). Meziročně plocha obilnin o 1090 ha poklesla, došlo však k navýšení výměry v ekologickém režimu (takřka o 4000 ha) přesunutím ploch z přechodného období, a na základě toho došlo k nárůstu produkce bio

obilnin o 12 % (10000 tun) na 98 tisíc tun. Hlavními pěstovanými obilninami, zabírající 54 % celkové plochy obilnin v ekologickém zemědělství, jsou pšenice a oves. Dalšími významnými obilovinami jsou ječmen, triticales a špalda. Výměra špaldy meziročně vzrostla na 5 tisíc ha z 3 tisíc ha (o 58 %), zvýšení ploch nastalo i u ovsa, a to o 752 ha. Největší pokles ploch (okolo 1000 ha) byl zjištěn u triticales a žita (MZe 2022).

Tabulka č. 1: Vývoj počtu farem a celkové výměry v EZ od roku 1990 do roku 2020 (MZe 2022)

Rok	Počet farem hospodařících v EZ	Celková výměra ploch v EZ (ha)	Podíl z celkové výměry ZPF (%)	Mezitoční změna počtu farem v EZ (%)	Meziroční změna výměry ploch v EZ (%)
1990	3	480	-	-	0
1995	181	14982	0,35	-3,2	-5,3
2000	563	165 699	3,86	19	49,6
2005	829	254 982	5,98	-0,8	-3,2
2010	3 517	448 202	10,55	30,8	12,5
2015	4 115	494 661	11,74	5,9	0,1
2016	4 243	507 070	12,03	3,1	2,3
2017	4 399	520 032	12,37	3,7	2,8
2018	4 606	538 223	12,8	4,7	3,5
2019*	4 690	540 993	45,22	1,8	n.a.
2020	4 665	543 252	15,28	-0,5	0,4

4.2.3 Hlavní cíle a zásady ekologického zemědělství

Ekologické zemědělství se snaží o produkci zdravých potravin. Tato produkce šetří zdroje, životní prostředí a je šetrná ke zvířatům. Termín „ekologické“ odkazuje na používání organických hnojiv a jiných přírodních vstupů a vyhýbání se syntetickým chemickým pesticidům a minerálním dusíkatým hnojivům. Dále také označuje ekologický přístup, který se řídí přírodními zákony živého organismu, ve kterém jsou všechny prvky propojeny. V souladu s tím ekologické zemědělství spoléhá na smysluplné synergie mezi půdou, rostlinami, hospodářskými zvířaty, hmyzem, environmentálními faktory, jako je voda nebo klima, a lidmi. Ekologický zemědělec se snaží využívat ekologické principy a procesy k dosažení optimálních výnosů a zároveň chránit životní prostředí. Ekologické zemědělství je způsobem hospodaření, kdy kromě produkce vysoce kvalitních potravin je důležitým cílem zachování přírodních zdrojů, jako je úrodná půda, čistá voda a bohatá biodiverzita (Konvalina et al. 2007; Bernet et al. 2021).

Hlavní cíle ekologického zemědělství dle Šarapatky et al. (2006), Moudrého et al. (2007) a Dvorského a Urbana (2014) jsou:

- udržování a zlepšování půdní úrodnosti,
- neznečišťování životního prostředí zemědělskou činností,

- nevyužívání chemicko-syntetických pesticidů a rychle rozpustných průmyslových hnojiv,
- vhodné podmínky, odpovídající fyziologickým a etologickým potřebám, pro hospodářská zvířata,
- produkce vysoce kvalitních potravin a surovin,
- efektivně využívat energie a minimalizovat využívání neobnovitelných zdrojů,
- zachování biodiverzity a krajinných prvků,
- vytváření pracovních příležitostí potřebných k udržení osídlení venkova.

Obecné zásady při pěstování rostlin v ekologickém zemědělství jsou dodržování pestrých osevních postupů, výběr kvalitního osiva a vhodných odrůd, zajištění dlouhodobého vegetačního krytu půdy, používání vhodných agrotechnických postupů a navracení co největšího množství organické hmoty zpět do půdy (Šarapatka et al. 2006). Dále je zakázáno používání minerálních dusíkatých hnojiv, nejsou povoleny herbicidy. Snižování množství plevelů je prováděno osevním postupem či mechanicky (Dvorský & Urban 2014; Bernet et al. 2021). Dle Moudrého a Prugara (2002) by měl osevní postup a technologie pěstování zabraňovat půdní erozi, pestrost druhů pěstovaných plodin musí poskytovat možnost pro přežití prospěšných organismů jako jsou například predátoři škůdců. Šarapatka et al. (2006) uvádí jako další zásady střídání plodin s malou konkurenční schopností proti plevelům s plodinami s vyšší konkurenční schopností, dále pak vybírání odrůd, které odpovídají klimatickým i půdním podmínkám stanoviště, což znamená, že jsou rezistentní, respektive tolerantní vůči převažujícím škodlivým činitelům. V neposlední řadě je důležitou zásadou vysoká pozornost v průběhu sklizně a při posklizňových ošetřeních, které zahrnují například čištění, vytrídění produkce a skladování (Šarapatka et al. 2006).

4.2.4 Pěstování pšenice v ekologickém zemědělství

Pšenici setou (*Triticum aestivum* L.) lze považovat za nejstarší obilninu, jež se z oblasti přední Asie rozšířila na jižní i severní polokouli (Konvalina et al. 2008), dále je nejvíce pěstovanou obilninou v ekologickém zemědělství. V roce 2020 byla pěstována téměř na 13 tisících ha a ekologická produkce činila více než 31 tisíc tun. Ačkoli patří mezi velmi náročné obilniny, má i v podmínkách EZ vyšší výnosy oproti ostatním druhům (například v roce 2020 pšenice setá 3,01 t/ha, pšenice špalda 3 t/ha, žito 2,28 t/ha, ječmen 2,76 t/ha, oves 2,74 t/ha). Vyšší výnos oproti pšenici mělo v roce 2020 tritikale, a to 3,15 t/ha (MZe 2022).

Pšenice je brána jako hlavní plodina sušších a teplejších oblastí. Vhodnými půdami pro pěstování jsou půdy úrodné, například černozemě, hlinité půdy, strukturní půdy s neutrální reakcí a se schopností zadržovat vodu. Pšenice velmi dobře snáší i mírně kyselé pH půd do 5,5 (Konvalina et al. 2007). Kvůli slabě rozvinutému kořenovému systému a velmi pomalému jarnímu vývoji špatně konkuruje plevelům, má náročnější požadavky na agrotechnická opatření a hlavně na výživu (Capouchová & Konvalina 2014). Dle Konvaliny a Moudrého (2008) pšenice ve srovnání s ostatními obilninami reaguje v případě příznivých podmínek velmi vysokým výnosem. V případě ekologického zemědělství se uplatňují jak ozimé, tak jarní formy (Konvalina & Moudrý 2008).

Wolfe et al. (2008) uvádí, že vhodné odrůdy pšenice musí splňovat určité požadavky. Jde především o schopnost efektivně přijímat živiny kořenovým systémem při nízkých hladinách živin v půdě, konkurovat plevelům, tolerovat či odolávat nejrůznějším škůdcům a chorobám. Dále je také důležitá odolnost vůči abiotickým stresorům stabilita výnosu při nízkých vstupech a vysoká kvalita produkce. Moudrý (2006) považuje za ideální odrůdu pro EZ takovou odrůdu, která se vyznačuje odolností proti chorobám houbovým, a to zejména klasovým, jako je například fuzarióza či septorióza. Odrůda by také měla mít pod klasem dlouhé internodium, které zajišťuje asimilaci živin v období tvorby zrna a i v případě poškození listů houbovými chorobami, například rzí. Zbylá internodia jsou kratší a zabraňují tak nadměrnému poléhání. Dle Moudrého (2006) mají přednost odrůdy s vysokou hmotností zrn či celkovou hmotností klasu, naopak není vhodné volit odrůdy s vysokou hustotou porostu, a to z důvodu horších růstových podmínek. Vhodná hustota porostu u pšenice při ekologickém hospodaření je 400 až 450 klasů/m² (Capouchová & Konvalina 2014). Petr et al. (2007) ve svých pokusech zjistili vhodnost ozimých odrůd pšenice s velmi vysokou až nadprůměrnou hmotností obilok pro pěstování v ekologickém zemědělství. Velice dobrým znakem vhodnosti odrůdy je kvalita vyjádřená skladbou a obsahem bílkovin a v neposlední řadě výnos zrna (Cowger & Murphy 2007; Krejčířová et al. 2010). Příkladem certifikovaných odrůd, zapsaných ve Státní odrůdové knize, pšenice seté ozimé jsou: Adina, Alana, Aspekt, Baletka, Baracuda, Bohemia, Citrus, Dagmar, Evina, Fabius, Genius, Izabela, Jindra, Julie, Mercedes, Nikol, Pirueta, Rytmus, Safari, Sultan, Viki (ÚKZÚZ 2021).

Pšenice ze všech obilnin nejvýrazněji reaguje na předplodinu, která ovlivňuje kvalitu produkce a i výši výnosu. Vhodnými předplodinami jsou ty, které potlačují růst plevelů a v půdě nechávají dostatečné množství využitelných živin, zejména dusíku (jeteloviny, luskoviny). Dále jsou pak vhodné například brambory, olejniny, řepa, protože jsou hnojeny hnojivy organickými, zanechávají půdu bohatou na živiny a v dobrém stavu (Šarapatka et al. 2006; Konvalina & Moudrý 2008). Pšenice by po sobě neměla být pěstována 2 až 5 let z důvodu nebezpečí výskytu houbových chorob a zvýšeného výskytu plevelů (Šarapatka et al. 2006; Konvalina et al. 2010).

Zásadou ekologického zemědělství je mělká orba a hlubší kypření. Základním opatřením po strniskových předplodinách je včasná podmítka, která se ošetřuje na základě stavu půdy a podmínek počasí válením či vláčením. U pšenice je potřeba provádět předseťovou orbu hlubokou 16 až 24 centimetrů zhruba 4 až 6 týdnů před setím, a to z důvodu požadavku pšenice na slehlé seťové lůžko (Konvalina et al. 2008). Podle Šarapatky et al. (2006) nemá být struktura půdy při předseťové úpravě příliš narušena, zároveň odstup 1 až 2 týdny mezi zásahy pomáhá redukovat plevely. Se zaorávkou zeleného hnojení při podzimní orbě je třeba provést hrubé ošetření povrchu půdy. Po včasné sklizených předplodinách se doporučuje provést podmítku. V začátku jara je nutné zasít porost včas a je potřeba brát ohled na optimální vlhkost půdy (Capouchová & Konvalina 2014).

Výživu pšenice zajišťují živiny, které se uvolňují rozkladem předplodiny nebo ze zeleného hnojení zapraveného k předplodině nebo před zasetím pšenice (Mäder et al. 2002). Vyvážená výživa dusíkem během celého období vegetace může značně ovlivňovat pekařskou jakost (Konvalina et al. 2008). Šarapatka et al. (2006) uvádí, že v případě lehčích půd není nutné podzimní hnojení pšenice z důvodu dostatečné mineralizace těchto půd. Nejproblematictější je období na jaře, kdy je potřeba aby došlo k obnovení vegetace, a kdy rychle rostoucí rostliny

vyžadují dostatek dusíku. K obnovujícímu hnojení lze použít kompostovaný chlévský hnůj nebo kejdu či močůvku pro zachování již založených odnoží, především pak pro tvorbu klasu a navýšení obsahu dusíkatých látek zrna (Capouchová & Konvalina 2014).

Ekologické zemědělství upřednostňuje pozdější výsevy na rozdíl od konvenčního zemědělství. Pšenice ozimá se vysévá podle nadmořské výšky (čím výše, tím dříve) koncem září až v říjnu. V případě setí na podzim pšenice méně odnoží, ale vzhledem k velmi obtížnému časnému (na jaře) přihnojení dusíkem, je udržení již založených odnoží obtížné (Konvalina & Moudrý 2008). V případě hlinitých a jílovitých půd je nutné určit termíny výsevů s ohledem na stav půdy. Pokud by byla půda v době setí příliš vlhká, mohla by zapříčinit snížení výnosů (Šarapatka et al. 2006). Dle Šarapatky et al. (2006) je doporučen výsevek ozimé pšenice 400-450 klíčivých zrn/m², což je 180-220 kg/ha. V případě opožděného setí nebo nepříznivých podmínek je vhodné navýšit výsevek o 15-20 %. Vhodná hloubka výsevu pro pšenici je 3 až 4 centimetry a vzdálenost řádků je 10 až 12,5 centimetrů. Hloubka setí se určuje na základě vlhkosti půd, kdy lehké a suché půdy umožňují setí do větší hloubky, těžké a vlhké půdy s omezeným množstvím kyslíku vyžadují setí do hloubky nižší (Prugar 2008). Konvalina a Urban (2008) uvádí, že u pšenice jarní se zasévá 450-500 klíčivých zrn/m², což je 180-220 kg/ha. U jarní odrůdy se výsevek navyšuje z důvodu nižší intenzity odnožování a pro optimální hustotu porostu (Konvalina & Urban 2008).

Pšenice má nízkou schopnost konkurence vůči plevelům. Základním preventivním opatřením proti plevelům je například pestrý osevní postup, výběr vhodných odrůd. Dále jsou v ekologickém zemědělství při regulaci plevelů využívány prutové (plecí) brány, pomocí kterých lze regulovat zaplevelení až do skončení odnožování. Vláčení se provádí na ulehých a plevelem zamořených půdách, není vhodné vláčit rostliny od zasetí do tvorby třetího listu (počátek odnožování) z důvodu nedostatečného zakořenění. U jařin má vláčení větší význam v regulaci plevelů než u ozimů. Vyvláčením plevelů dochází k provzdušnění povrchové vrstvy půdy, je podpořena mineralizace, uvolňování živin a dále je podpořen vývoj a růst rostlin (Urban & Šarapatka 2003).

Podle Šarapatky et al. (2006) spočívá ochrana proti škůdcům a chorobám v dodržování agrotechnických zásad a správně sestaveného osevního postupu. Důležitá je volba vhodných, odolných odrůd (Bittner 2009). U obilnin pěstovaných ekologicky bývá problémem výskyt chorob v ročnicích s větším úhrnem srážek, kdy větší vlhkost napomáhá šíření chorob. Nejrozšířenější houbovou chorobou pšenice je padlí travní. V souvislosti s tímto Moudrý et al. (2007) uvádějí, že řídké porosty bývají odolnější vůči houbovým chorobám, a to díky dobrému provzdušnění a nižší vlhkosti klimatu. Volba odolných odrůd a osiva dobré kvality jsou podle Konvaliny et al. (2008) jedna z mnoha opatření proti výskytu sněti či braničnatce plevové (Capouchová et al. 2013). Častými škůdci poškozující klasy a asimilační aparát jsou kohoutci a mšice, které zároveň mohou přenášet i virové choroby (Urban & Šarapatka 2003; Bittner 2009).

Pšenice se sklízí mechanizovanou přímou sklizní pomocí žací mlátičky na počátku plné zralosti, kdy vlhkost zrna činí 14 %. Pokud dojde k pozdější sklizni dojde ke snížení obsahu lepku, jeho kvality a čísla poklesu, proto je pšenice pro potravinářské účely sklizena přednostně (Šarapatka et al. 2006; Cacák-Pietrzak 2011; Capouchová & Konvalina 2014).

4.2.5 Pěstování ovsa v ekologickém zemědělství

Oves (*Avena sativa* L.) lze považovat za nejmladší kulturní obilninu, dostal se do Evropy jako rostlina plevelná spolu s tehdy již kulturním ječmenem a pšenicí. Oves je rostlina dlouhodobní a jsou pěstovány jak jarní, tak i ozimé formy. V našich klimatických podmínkách jsou upřednostňovány formy jarní, protože ozimé odrůdy mají sklony k vymrzání (Moudrý et al. 2014). V České republice se oves pěstuje hlavně pro produkci zrna a díky vysoké nutriční hodnotě je řazen mezi léčivé a dietetické potraviny (Konvalina et al. 2008). Společně s pšenicí patří mezi nejvíce pěstované plodiny v ekologickém zemědělství (Moudrý et al. 2014). V roce 2020 byl v České republice pěstován na téměř 8 tisíc ha, ekologická produkce činila více než 20 tisíc tun a výnos byl 2,74 t/ha (MZe 2022).

Oves je obilnina nenáročná na živiny, jež umí z půdy dobře poutat (Konvalina et al. 2008), dále toleruje horší půdní i klimatické podmínky, je nenáročný na teplo, ovšem vyžaduje dostatečné množství vláhy. Tyto vlastnosti z ovsa činí obilninu vhodnou do horských či podhorských oblastí (Šarapatka et al. 2006; Konvalina et al. 2007). Pro dobré výnosy a kvalitu je vhodné pěstování nahého ovsa v bramborářských či přílehlých řepářských oblastech. Nahý oves je oproti pluchatým odrůdám náročnější na agroekologické požadavky (Moudrý et al. 2012). Vhodné oblasti pro pěstování dle Moudrého et al. (2014) mají dostatek srážek, vláhy a relativně nízké teploty v období května a července a v době dozrávání začátkem srpna jen malé množství srážek. V případě chladného a vlhkého počasí během dozrávání dochází k produkci drobných zrn a také ke ztrátě jejich kvality. Vhodnými půdami pro pěstování jsou středně těžké až těžké půdy s vysokým obsahem humusu, se schopností zadržovat vodu a tím zajišťovat dostupnost vláhy v kritických obdobích (Moudrý et al. 2012; Moudrý et al. 2014). Oves dobře snáší i kyselé půdy, ale je citlivý na nevyváženost živin (Šarapatka et al. 2006).

Moudrý et al. (2012) uvádí, že kvalitní a čisté osivo je podmínkou pro čistý a stejnoměrný porost. Moudrý a Štěrba (2012) doporučují používat pouze certifikovaná a vyzkoušená osiva, a to například z důvodu velmi citlivého klíčku u nahého ovsa a jeho poměrně nízké klíčivosti (75-85 %). Konvalina et al. (2008) doporučuje pro pěstování ovsa ve vyšších polohách odrůdy pluchaté a v nižších pak odrůdy bezpluché. Příkladem certifikovaných odrůd, zapsaných ve Státní odrůdové knize, nahého ovsa jsou: Amant, Izak, Kamil, Oliver, Patrik a Tibor a pluchatého ovsa jarního: Atego, Bingo, Kertag, Korok, Neklan, Obelisk, Ozon, Poseidon, Raven, Rozmar, Tim, Vok (ÚKZÚZ 2021).

Oves bývá zařazován v osevním postupu jako doběrná plodina a působí v obilních sledech jako přerušovač. Látky vyměšované kořeny inhibují zárodky hub, jako jsou například *Fusarium* ssp., *Ophiobolus graminis* či *Rhizoctonia* ssp., což znamená, že oves bývá napadán těmito a dalšími houbami jen velmi zřídka (Moudrý et al. 2014). Konvalina et al. (2008) uvádí, že v obilnině pěstované po ovsu byl 6-8krát nižší výskyt onemocnění pat stébel než po obilnině jiného druhu. Oves jako ochranná plodina poměrně dobře potlačuje růst plevelů, aniž by omezovala vývoj a růst podsevu. Z důvodu možného rozšíření háďátka a bzunky ječné je vhodné po sobě pěstovat oves znovu až po 4 letech (Šarapatka et al. 2006). Vhodnými předplodinami jsou okopaniny, jeteloviny či zaorané trvalé travní porosty, dále luskoviny a v případě zařazení ovsa po obilninách je nejlepší předplodinou ozimá forma pšenice seta po okopanině (Moudrý et al. 2012; Moudrý et al. 2014).

Příprava půdy k setí není náročná, po sklizení předplodiny stačí provést orbu o hloubce do 20 centimetrů. Ošetření půdy a příprava pevného a mělkého lůžka do 5 centimetrů na jaře je potřeba provést co nejčasněji, hned jak to dovolí stav půdy (Moudrý & Štěrba 2012).

Oves disponuje poměrně mohutným kořenovým systémem se schopností přijímat živiny hlouběji uložené a méně přístupné (Moudrý et al. 2014), klade vysoké nároky na obsah draslíku a hořčíku v půdě a i na jejich vzájemný poměr. Hořčík je z půdy přijímán hůře oproti draslíku, proto je potřeba při vysokém obsahu draslíku zvýšit doporučené dávky hořčíku až na dvojnásobek. Velmi dobře snáší hnojiva organická, především zelené hnojení, a na chudších půdách lze využít hnojení kejdou nebo kompostem nebo menšími dávkami hnoje (Šarapatka et al. 2006; Moudrý & Štěrba 2012).

Vysoké výnosy ovsu jsou zajišťovány časným výsevem, při kterém dojde k využití kratšího dne, nižších teplot, vláhy pro tvorbu odnoží a klásků a sníží se nebezpečí napadení bzunkou ječnou (Moudrý et al. 2014). Podle Šarapatky et al. (2006) může každý den opožděného zasetí zapříčinit až o 70 kilogramů nižší výnos zrna na hektar. Vyšší výsevek se doporučuje u odrůd nahého ovsu a činí 500 až 550 klíčivých zrn/m² (Moudrý & Štěrba 2012), u pluchatých odrůd je výsevek nižší, a to 450 až 500 klíčivých zrn/m². V případě nepříznivých podmínek lze výsevek navýšit o 10 %. Pro zasetí jsou vhodnější užší řádky do 12,5 centimetrů a je důležité zasévat oves rovnoměrně hluboko (Šarapatka et al. 2006).

V rámci ošetření během vegetace je dle Šarapatky et al. (2006) po zasetí vhodné provést válení, a to zejména na suchých a lehčích půdách, v případě vytvoření půdního škraloupu lze vláčet před vzejitím síťovými branami. Oves velmi dobře konkuruje plevelům a v případě zaplevelení do 30 % lze vláčení úplně vynechat. Při větším zaplevelení jsou vhodné prutové či síťové brány, a to od fáze 3 až 4 lístků až do skončení odnožování. Vlácením dojde k podpoření vývinu kořenů, odnožování, příjmu živin, aeraci půdy, dále ke zlepšení půdní struktury a k udržení ozrnutí lat a plodnosti odnoží, celkově se vláčením omezí plevele až o 60 % (Konvalina et al. 2008).

Vzhledem k tomu, že je oves jen zřídka napadán chorobami, tak se během vegetace žádná ošetření neprovádí. Nebezpečné pro oves jsou mšice (*Aphidea*), které způsobují šíření virové zakrslosti ječmene (Moudrý et al. 2014).

Sklizeň ovsu je velice náročná, vzhledem k delší vegetační době. Sklizeň se provádí při dosažení plné zralosti a vlhkosti 14 až 16 %. Předčasná sklizeň má za následek nedostatečný výnos a nižší kvalitu, naopak při pozdní sklizni dochází k vypadávání zrn z vrcholků laty (Moudrý & Štěrba 2012).

4.2.6 Pěstování žita v ekologickém zemědělství

Žito (*Secale cereale* L.) patří mezi nenáročné obilniny, existují jarní i ozimé formy, přičemž v České republice se pěstují výhradně ozimé odrůdy. Žitné zrn má z dietetického hlediska mnoho předností, například obsahuje vlákninu a nutričně cenné látky, jako například beta-glukany, maltodextriny a flavonoidy (Petr 2008). V roce 2020 bylo pěstováno na 2812 ha, ekologická produkce činila více než 6600 tun a výnos byl 2,82 t/ha (MZe 2022).

Žito se řadí mezi nejméně náročné obilniny, je odolné vůči mrazům a nepříznivým klimatickým podmínkám, nenáročné na předplodinu, velmi dobře snáší lehké (písčité) a kyselé

půdy, ale naopak je velmi citlivé na vyšší vlhkost půdy. Díky těmto vlastnostem je vhodnou plodinou pro horské a podhorské oblasti (Petr 2008).

Při výběru odrůd je možné volit odrůdy populační i hybridní, kdy jsou hybridní odrůdy v konvenčním zemědělství o asi 10 % výnosnější než odrůdy populační. Vyšší výnos je dán vysokou produktivitou klasu, především vyšším počtem zrn v klasu. V ekologickém zemědělství bývají hybridní odrůdy také výnosnější, ale kladou si vyšší nároky na pěstební podmínky (Capouchová et al. 2014). Podle Petra (2008) bývá jejich výnos v ekologickém zemědělství, ve srovnání s populačními odrůdami, nižší než v konvenčním zemědělství. Osivo hybridních odrůd je dražší, proto Petr (2008) doporučuje pěstování spíše populačních odrůd v ekologickém zemědělství. Příkladem certifikovaných odrůd, zapsaných ve Státní odrůdové knize jsou: Aventino, Inspector, Lesan, Matador (ÚKZÚZ 2021).

Žito lze pro dobrou toleranci k předplodinám pěstovat i po obilní předplodině. Vzhledem k dobré konkurenci vůči plevelům je vhodnou plodinou pro přechodné období a může být využito jako krycí plodina (Konvalina et al. 2008). Dalšími vhodnými zlepšujícími předplodinami jsou jeteloviny, brambory, některé olejninu a luskoviny (Petr 2008; Capouchová et al. 2014).

Zpracování půdy před setím se provádí na základě předplodiny a směru pěstování. Pokud bude žito zaséváno jako mezplodina postačí zasetí do ošetřené podmítky, v případě pěstování na zrno musí být podmítka provedena ihned po sklizni zrnin. Podmítka by měla být provedena jeden měsíc od setí, aby došlo ke snížení zaplevelení, k omezení ztrát vody z půdy a výskytu chorob a škůdců. Také je možné podmítku vynechat a provést setíovou orbu hlubokou 18 až 20 centimetrů, s dobře zapracovanými zbytky po sklizni (Konvalina et al. 2008; Capouchová et al. 2014).

Pokud nebylo zaoráno zelené hnojení, je vhodná aplikace malého množství chlévského hnoje, dále je možné využít přihnojení močůvkou či kejdou, ale také například rozmetaným kompostem, pokud neproběhla jeho aplikace již před setím (Šarapatka et al. 2006).

Žito se zasévá na podzim, ideálně ve druhé polovině měsíce září, do řádků širokých 7 až 12,5 centimetrů a do hloubky 2 až 3 centimetrů, a to z důvodu zakládání odnožovacího uzlu v malé hloubce. Hlubší zasetí může zapříčinit až o 30 % nižší výnos (Konvalina et al. 2008). Konvalina et al. (2008) uvádí jako dostačující výsevek 350 až 400 klíčivých zrn/m², což je asi 150 kg/ha, dále pak zmiňuje, že řidší porosty lépe zakořeňují, odnožují a mají zvýšenou odolnost proti plísni sněžné.

Na jaře je vhodné provést na lehkých půdách válení mělce setých a málo zakořeněných porostů, vláčení je pak vhodné pro těžké půdy s dobře zakořeněným porostem. Díky vysoké konkurenceschopnosti vůči plevelům není potřeba provádět během vegetace další opatření (Konvalina et al. 2008; Capouchová et al. 2014).

Žito bývá napadáno plísni sněžnou (*Fusarium nivale*), když je porost dlouhodobě pokryt sněhem. Redukce této plísně je možná například řádným zapracováním zbytků po sklizni, mělkým vyséváním, ne příliš časným vyséváním a také tříděním osiva nad 2,5 mm. Dalším problémem, zejména ve vlhkých obdobích, je výskyt paličkovice nachové (*Claviceps purpurea*) v klasech. Vhodným preventivním opatřením proti této chorobě se ukazuje být důsledné čištění osiva (Capouchová et al. 2014).

Šarapatka et al. (2006) uvádí, že sklizeň žita je potřeba zahájit na počátku plné zralosti a provést ji co nejrychleji, aby došlo k omezení ztrát způsobených skrytým porůstáním.

V případě pozdější sklizně hrozí výdrol. Po skončení sklizně je potřeba zrno okamžitě vyčistit, dosušit a důkladně vytrždit. Deštivé a vlhké počasí v průběhu dozrávání má za následek porůstání žita už v klasu, tím dochází ke zhoršování pekařské kvality a i kvality osiva. Pěstování žita ekologickým způsobem dle Petra a Mikšíka (2006) neovlivňuje jeho jakost tak výrazně, jako je tomu u pšenice seté. Technologická kvalita žita z ekologického zemědělství je vhodná pro zpracování v mlynářském i pekárenském průmyslu a tudíž i pro produkci bioproduktů z žita (Petr & Mikšík 2006).

5 Metodika

5.1 Podmínky experimentu, rostlinný materiál, popis lokality

V experimentální části této diplomové práce byly zkoumány čtyři odrůdy ovsa setého (Korok, Kertag, Raven, Seldon) a jedna odrůda ovsa nahého (Patrik). Všechny odrůdy českého původu byly vysety v roce 2021 na experimentálních lokalitách ČZU Praha – Uhřetěves a JU České Budějovice. Pokusný pozemek v Praze – Uhřetěvesi se nachází v nadmořské výšce 295 metrů, průměrná roční teplota dosahuje 8,4 °C a průměrný úhrn srážek činí 575 mm. Nadmořská výška pozemku JU České Budějovice je 381 metrů, průměrná teplota 8,1 °C a průměrný úhrn srážek 623 mm. Experiment byl veden na pokusných parcelách o velikosti zhruba 12 m² jednak ekologických způsobem, a to na pokusné ploše certifikované pro vedení pokusů v ekologickém systému pěstování, jednak konvenčním způsobem hospodaření. Pokusy byly provedeny metodou znárodněných bloků se třemi opakováními

5.2 Agrotechnická opatření Praha – Uhřetěves

Na pozemcích Praha – Uhřetěves byl jako předplodina použit jetel nachový a výsevek činil 5,0 milionů klíčivých semen/ha.

V ekologickém režimu proběhlo setí 31. března 2021, první vláčení plecími bránami pro regulaci plevelů bylo provedeno 6. května 2021 a druhé vláčení 2. června 2021. Na pokusném poli certifikovaném pro ekologické zemědělství nebyla aplikována žádná hnojiva, herbicidy a pesticidy. Sklizeň se uskutečnila 3. září 2021. V konvenčním režimu byl oves zaset 1. dubna 2021, 28. května 2021 bylo aplikováno dusíkaté hnojivo v dávce 60 kg N/ha (LAV 27), dne 2. června 2021 pro zamezení výskytu plevelů proběhla aplikace herbicidů Dicopur a Lontrel. Sklizeň byla uskutečněna 3. září 2021.

Po sklizni pokusů následovalo odebrání vzorků zrn ovsa pro analýzy jakosti, kdy zrno ovsa setého bylo nejprve vyloupano na laboratorní loupáče.

5.3 Agrotechnická opatření JU České Budějovice

Na pozemcích JU České Budějovice byla jako předplodina použita luskovinoobilní směska a výsevek činil 5,0 milionů klíčivých semen/ha.

Setí v ekologickém i konvenčním režimu proběhlo 30. března 2021. V ekologickém režimu bylo provedeno plecími bránami vláčení proti plevelům 15. května a nebyla aplikována žádná hnojiva, herbicidy a pesticidy. Naproti tomu v konvenčním režimu bylo 17. května 2021 aplikováno dusíkaté hnojivo v dávce 60 kg N/ha (LAV 27) a 30. června 2021 proběhla aplikace herbicidu Mustang.

Sklizně v konvenčním i ekologickém režimu proběhly 1. září 2021, byly odebrány vzorky pro jakostní analýzy a zrno ovsa setého bylo nejprve vyloupano na laboratorní loupáče.

5.4 Průběh klimatických podmínek

Na obou pokusných lokalitách bylo vegetační období v roce 2021 teplotně podprůměrné, a to především v dubnu, květnu a srpnu. Naopak v červnu a červenci bylo vegetační období teplotně nadprůměrné. V dubnu byl úhrn srážek na obou pokusných lokalitách vysoce podprůměrný a v měsíci květnu nadprůměrný, zejména v Uhříněvsi byl v květnu úhrn srážek vysoko nad dlouhodobým průměrem. V červnu, červenci a srpnu se teploty v Uhříněvsi pohybovali nad dlouhodobým průměrem. V Českých Budějovicích byl na srážky podprůměrný červen i červenec, ale srpen byl opět vysoko nad dlouhodobým průměrem srážek. Chladné a deštivé počasí v měsíci srpnu v obou lokalitách způsobilo komplikace se sklizní, proto byla provedena na obou lokalitách opožděně, a to na začátku září. V tabulce č. 1 a 2 jsou uvedeny konkrétní měsíční údaje průměrných teplot a srážek za vegetační období (duben až srpen).

Tabulka č. 2: Průměrné měsíční teploty a srážky za vegetační období (duben–srpen) v Praze-Uhříněvsi

Měsíc	Teplota vzduchu (°C)			Srážky (mm)		
	Průměr	Dlouhodobý průměr	Rozdíl	Suma	Dlouhodobý průměr	Rozdíl
IV.	6,3	8,2	-1,9	19,3	46,1	-26,8
V.	11,3	13,4	-2,1	99,5	65,2	34,3
VI.	18,9	16,3	2,6	83,1	74,0	9,1
VII.	19,4	18,2	1,2	82,1	74,3	7,8
VIII.	17,0	17,5	-0,5	99,8	72,4	27,4

Tabulka č. 3: Průměrné měsíční teploty a srážky za vegetační období (duben–srpen) v Českých Budějovicích

Měsíc	Teplota vzduchu (°C)			Srážky (mm)		
	Průměr	Dlouhodobý průměr	Rozdíl	Suma	Dlouhodobý průměr	Rozdíl
IV.	7,1	8,1	-1,0	21,6	46,5	-24,9
V.	11,4	12,0	-0,6	89,4	70,1	19,3
VI.	19,7	16,2	3,5	79,6	93,0	-13,4
VII.	19,5	17,7	1,8	72,0	77,8	-5,8
VIII.	16,9	17,1	-0,2	93,8	78,8	15,0

5.5 Použité chemikálie

Standardy luteinu a zeaxanthinu byly zakoupeny od firmy Extrasynthese. Butylovaný hydroxytoulén (BHT, Ph.Eur.) a *tert*-butyl methyl ether (HPLC grade) byly zakoupeny od firmy Sigma-Aldrich. Methanol (HPLC grade), aceton (p.a.), ethanol (p.a.) a hexan (p.a.) byly zakoupeny od firmy Lachner. Ultra čistá HPLC voda byla připravena pomocí přístroje Simplicity UV od firmy Merck Millipore.

5.6 Příprava vzorků ovsa pro stanovení obsahu karotenoidů

Do plastových uzavíratelných kyvet bylo naváženo po 2,0 g homogenizovaného vzorku obilných zrn. K naváženému vzorku bylo přidáno 12 ml extrakční směsi ethanol:aceton:hexan v objemovém poměru 1:1:2. Kyvety se vzorky byly řádně uzavřeny a na 24 hodin umístěny do lednice při teplotě 4 °C. Po denní extrakci byly vzorky promíchány na vortexu (Basic 3, IKA, Německo) a poté byly na 10 min vloženy do ultrazvukové lázně (Powersonic PS 04, Notus, Slovensko) k podpoře rozpustnosti látek. Následovalo odstředění vzorků po dobu 10 min při 8228 rcf (5810R, Eppendorf, Německo). Devět ml supernatantu bylo převedeno do 50 ml odparných baněk. Ke zbylému sedimentu bylo přidáno dalších 12 ml extrakční směsi a celý postup extrakce byl proveden ještě jednou. Spojené extrakty (18 ml) byly odpařeny do sucha při teplotě 40 °C na vakuové rotační odparce (Rotavapor R-200, Büchi, Švýcarsko). Organické residuum obsahující karotenoidy bylo rekonstituováno do 2 ml směsi ethanol:aceton (3:2; v/v) s přísávkem 0,2 % BHT. Vzorky byly následně přefiltrovány přes 0,45 µm PVDF membránový filtr do tmavých vialek a ve třech opakováních byly analyzovány na HPLC. Po celou dobu zmiňovaných operací bylo důležité uchovávat vzorky v temnu, aby nedocházelo ke světelné degradaci karotenoidů.

5.7 Chromatografická separace

Analýza karotenoidů ve vzorcích byla provedena na kapalinovém chromatografu Ultimate 3000 (Thermo Scientific, USA). K separaci analytů byla použita C30 kolona (YMC C30 Carotenoid Column; 150 mm × 3,0 mm; S-3 µm). Vzorky byly měřeny za následujících podmínek chromatografické separace:

Mobilní fáze: methanol (MeOH), voda (H₂O), *tert*-butyl methyl ether (TBME)

Eluce: gradientová

0-1 min	90 % MeOH; 10 % H ₂ O, 0 % TBME (isokrat.)
1-6 min	90 % MeOH, 0 % H ₂ O, 10 % TBME (lin. gr.)
6-22 min	40 % MeOH; 0 % H ₂ O, 60 % TBME (lin. gr.)
22-24 min	20 % MeOH; 0 % H ₂ O, 80 % TBME (lin. gr.)
24-26 min	20 % MeOH; 0 % H ₂ O, 80 % TBME (isokrat.)
26-30 min	90 % MeOH; 10 % H ₂ O, 0 % TBME (lin. gr.)
30-33 min	90 % MeOH; 10 % H ₂ O, 0 % TBME (isokrat.)

Průtok: 0,6 ml/min

Teplota kolony: 25 °C
Teplota sampleru: 10 °C
Objem nástřiku: 10 µl
Doba analýzy: 33 min
Detekce: PDA, 445 nm, 480 nm

5.8 Identifikace a kvantifikace vzorků

Karotenoidy lutein, zeaxanthin byly ve vzorcích identifikovány porovnáním retenčních časů a absorpčních spekter se zakoupenými standardy. Kvantifikace karotenoidů ve vzorcích byla provedena metodou externí kalibrace. Ze zakoupených standardů byly vytvořeny zásobní roztoky o koncentraci 100 µg/ml (aceton s přísadkou 0,2 % BHT). Ze zásobních roztoků byly připraveny pracovní standardy o koncentracích 0,1-20 µg/ml. Před každou analýzou byla spektrofotometricky stanovena přesná koncentrace standardů, která byla vypočítána z níže uvedeného vztahu:

$$C_{std} = \frac{A_{sk}}{A_1},$$

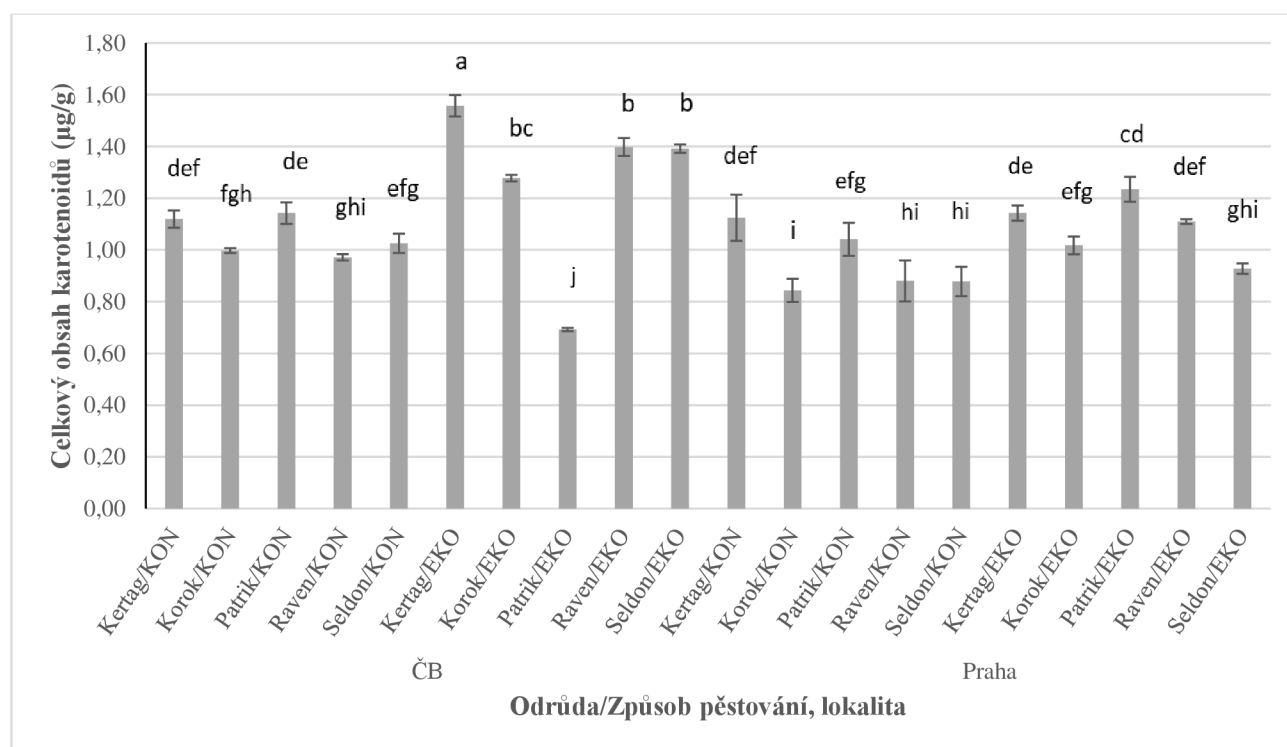
kde C_{std} je koncentrace příslušného standardu, A_{sk} je skutečná absorbance extraktu standardu při předpokládané koncentraci 1 µg/ml a A_1 je absorbance extraktu standardu o koncentraci 1 µg/ml.

Pro jednotlivé standardy byly použity následující extinkční koeficienty ($E1\%_{1cm}$): lutein 2550 (445 nm, ethanol), zeaxanthin 2340 (452 nm, aceton).

Všechny analýzy byly provedeny ve třech opakováních a obsah karotenoidů ve vzorcích obilovin byl vyjádřen jako průměrná hodnota v µg/g suchého zrna.

6 Výsledky

Celkový obsah karotenoidů (lutein, zeaxanthin, estery) u všech zkoumaných odrůd je znázorněn v Grafu č. 1. Nejvyšší celkové množství karotenoidů bylo naměřeno v odrůdě Kertag (1,557 $\mu\text{g/g}$) pěstované ekologickým způsobem v Českých Budějovicích, což je více než dvojnásobné množství karotenoidů, které bylo naměřeno v odrůdě Patrik (0,692 $\mu\text{g/g}$) z ekologické produkce v Českých Budějovicích. Vysoká množství (1,398 a 1,392 $\mu\text{g/g}$) byla naměřena také u ekologicky pěstovaných odrůd Raven a Seldon z lokality Českých Budějovic. V lokalitě Praha byl nejvyšší obsah karotenoidů (1,234 $\mu\text{g/g}$) naměřen u ekologicky pěstované odrůdy Patrik. V případě konvenčního způsobu pěstování byl nejvyšší obsah karotenoidů (1,142 $\mu\text{g/g}$) zjištěn u odrůdy Patrik vypěstované v Českých Budějovicích, naopak nejnižší obsah (0,844 $\mu\text{g/g}$) měla odrůda Korok vypěstovaná v Praze.



Graf č. 1: Celkový obsah karotenoidů v jednotlivých odrůdách pro obě lokality a oba způsoby pěstování (pozn.: odlišná písmena nad sloupci značí statisticky významné odlišnosti daných hodnot při hladině významnosti $\alpha = 0,05$; ČB – České Budějovice, KON – konvenční způsob pěstování, EKO – ekologický způsob pěstování)

Naměřené obsahy jednotlivých karotenoidů (lutein, zeaxanthin, estery) jsou zaznamenány v Tabulce č. 4. Nejvíce zastoupeným karotenoidem ve všech zkoumaných odrůdách ovsa byl lutein (51 %). Z Tabulky č. 4 vyplývá, že nejvyšší naměřené množství luteinu (0,978 µg/g) bylo naměřeno u odrůdy Kertag pěstované ekologickým způsobem v lokalitě České Budějovice, naproti tomu třikrát nižší množství a zároveň nejnižší množství luteinu ze všech odrůd (0,319 µg/g) bylo zaznamenáno u odrůdy Patrik z ekologické produkce v Českých Budějovicích. Druhý nejvyšší obsah luteinu (0,825 µg/g) byl naměřen u odrůdy Raven z ekologické produkce v Českých Budějovicích. Z konvenční produkce byl nejvyšší obsah luteinu (0,576 µg/g) naměřen u odrůdy Patrik, která byla vypěstována v lokalitě Praha. Naopak u konvenčně vypěstované odrůdy Seldon z Českých Budějovic byl obsah luteinu (0,411 µg/g) téměř 1,5 krát nižší než v konvenční odrůdě Patrik (0,576 µg/g) z Českých Budějovic. Celkově je z Tabulky č. 4 patrné, že vyšší obsahy luteinu byly zaznamenány převážně u odrůd z ekologického způsobu pěstování, a to zejména z lokality České Budějovice.

Zeaxanthin byl ze všech třech zkoumaných analytů nejméně zastoupen (19 %) téměř ve všech odrůdách (Tabulka č. 4). Nejvyšší obsah zeaxanthinu (0,305 µg/g) byl naměřen u konvenčně vypěstované odrůdy Seldon z Českých Budějovic, což bylo více jak dvojnásobné množství naměřené v odrůdě Raven vypěstované stejným způsobem, ale v lokalitě Praha. Naměřené množství zeaxanthinu v této odrůdě bylo 0,137 µg/g a zároveň tato hodnota představovala nejnižší obsah zeaxanthinu ze všech zkoumaných odrůd. Dalšími konvenčně vypěstovanými odrůdami s poměrně vysokým množstvím zeaxanthinu (0,259 a 0,257 µg/g) byly Patrik (lokalita České Budějovice) a Seldon (Praha). Vysoký obsah zeaxanthinu (0,260 µg/g) byl také zaznamenán u odrůdy Seldon z ekologické produkce Českých Budějovic. Celkově z Tabulky č. 4 vyplývá, že nejvyšší hodnoty zeaxanthinu byly naměřeny u odrůd vypěstovaných v Českých Budějovicích, kdy největší rozdíly mezi konvenčním a ekologickým způsobem pěstování v obsahu zeaxanthinu (0,305 a 0,260 µg/g; 0,259 a 0,168 µg/g) byly zaznamenány u odrůd Seldon a Patrik. U odrůdy Patrik byl obsah zeaxanthinu z konvenční produkce až 1,5 krát vyšší než z produkce ekologické. U odrůd pěstovaných v Praze byly rozdíly v obsahu zeaxanthinu mezi konvenčním a ekologickým způsobem pěstování statisticky nevýznamné.

Druhým nejvíce zastoupeným analytem ve všech zkoumaných odrůdách byly estery karotenoidů (30 %) (Tabulka č. 4). Nejvyšší množství esterů (0,430 µg/g) bylo naměřeno v odrůdě Kertag z ekologické produkce v Praze, což je více než dvojnásobné množství, než které bylo naměřené v odrůdě Seldon ze stejné lokality, ale z konvenční produkce. V této odrůdě (Seldon, konvenční způsob, Praha) bylo zaznamenáno zároveň i nejnižší množství esterů (0,185 µg/g) ze všech ostatních odrůd obou lokalit a obou pěstebních způsobů.

Tabulka č. 4: Obsah jednotlivých analytů (lutein, zeaxanthin, estery) v jednotlivých odrůdách pro obě lokality a oba způsoby pěstování (pozn.: odlišná písmena značí statisticky významné odlišnosti daných hodnot při hladině významnosti $\alpha = 0,05$; ČB – České Budějovice, KON – konvenční způsob pěstování, EKO – ekologický způsob pěstování)

Lokalita	Odrůda	Způsob pěstování	Lutein ($\mu\text{g/g suš.}$)	Zeaxanthin ($\mu\text{g/g suš.}$)	Estery ($\mu\text{g/g suš.}$)	
ČB	Kertag	KON	0,474 \pm 0,012hijk	0,237 \pm 0,008bc	0,409 \pm 0,014ab	
		EKO	0,978 \pm 0,038a	0,216 \pm 0,011cd	0,364 \pm 0,013abcd	
	Korok	KON	0,413 \pm 0,004l	0,210 \pm 0,002cde	0,374 \pm 0,010abc	
		EKO	0,691 \pm 0,005c	0,216 \pm 0,010cd	0,371 \pm 0,010abcd	
	Patrik	KON	0,546 \pm 0,014efg	0,259 \pm 0,013b	0,337 \pm 0,048bcde	
		EKO	0,319 \pm 0,002m	0,168 \pm 0,004fgh	0,205 \pm 0,002gh	
	Raven	KON	0,453 \pm 0,009jkl	0,155 \pm 0,007gh	0,363 \pm 0,002abcd	
		EKO	0,825 \pm 0,011b	0,179 \pm 0,009efg	0,394 \pm 0,016abc	
	Seldon	KON	0,411 \pm 0,007l	0,305 \pm 0,009a	0,309 \pm 0,035cdef	
		EKO	0,847 \pm 0,009b	0,260 \pm 0,009b	0,285 \pm 0,007defg	
	Praha	Kertag	KON	0,555 \pm 0,017efg	0,191 \pm 0,022def	0,378 \pm 0,071abc
			EKO	0,527 \pm 0,009fgh	0,184 \pm 0,003defg	0,430 \pm 0,040a
		Korok	KON	0,428 \pm 0,008kl	0,173 \pm 0,006fg	0,243 \pm 0,032fgh
			EKO	0,487 \pm 0,007hij	0,165 \pm 0,022fgh	0,365 \pm 0,013abcd
Patrik		KON	0,576 \pm 0,024ef	0,211 \pm 0,008cde	0,255 \pm 0,033efgh	
		EKO	0,642 \pm 0,029cd	0,218 \pm 0,013cd	0,374 \pm 0,006abc	
Raven		KON	0,513 \pm 0,044ghi	0,137 \pm 0,009h	0,230 \pm 0,035fgh	
		EKO	0,590 \pm 0,009de	0,153 \pm 0,011gh	0,366 \pm 0,011abcd	
Seldon		KON	0,435 \pm 0,024jkl	0,257 \pm 0,013b	0,185 \pm 0,034h	
		EKO	0,462 \pm 0,014ijkl	0,244 \pm 0,011bc	0,222 \pm 0,012gh	

V Tabulce č. 5 je zaznamenán vliv faktorů (odrůdy, lokality a způsobu pěstování) na celkový obsah karotenoidů a i na obsah jednotlivých analytů (lutein, zeaxanthin, estery). Při hodnocení vlivu lokality pomocí párového t-testu pro závislé vzorky byly zjištěny statisticky významné rozdíly v obsahu zeaxanthinu, esterů a celkového obsahu karotenoidů. Což znamená, že lokalita, na které byly odrůdy pěstovány měla vliv na obsah karotenoidů. Nejvyšší průměrná množství zeaxanthinu (0,220 $\mu\text{g/g}$), esterů (0,341 $\mu\text{g/g}$) a celkového obsahu karotenoidů (1,157 $\mu\text{g/g}$) byla nalezena v odrůdách pěstovaných v lokalitě České Budějovice.

Výjimkou byl lutein, u kterého ze statistického hodocení vyplynulo, že lokalita pěstování neměla na jeho obsah vliv.

Při porovnávání vlivu způsobu pěstování na obsah karotenoidů párovým t-testem pro závislé vzorky byly potvrzeny statisticky významné rozdíly v obsahu luteinu, zeaxanthinu a celkového obsahu karotenoidů. Vyšší průměrný celkový obsah karotenoidů (1,157 µg/g) byl zjištěn u ekologického způsobu pěstování odrůd ovsa oproti konvenčnímu (1,002 µg/g). Nejvyšší průměrná množství luteinu (0,637 µg/g) byla naměřena při ekologickém způsobu pěstování, zeaxanthin v průměrném množství 0,214 µg/g se nacházel v nejvyšším množství v odrůdách pěstovaných konvenčním způsobem. Způsob pěstování dle statistické analýzy neměl vliv na obsah esterů.

Při hodnocení vlivu odrůdy na obsah karotenoidů pomocí jednofaktorové ANOVY (Tuckeyho HSD test) bylo zjištěno, že odrůda neměla vliv na průměrný obsah luteinu a celkový obsah karotenoidů. Nejvyšší celkový obsah karotenoidů byl naměřen u odrůdy Kertag (1,236 µg/g). Průměrný celkový obsah karotenoidů v odrůdách byl v rozmezí od 1,027 do 1,236 µg/g a průměrný obsah luteinu se pohyboval v rozmezí od 0,505 do 0,633 µg/g. Statisticky významný rozdíl, tedy vliv odrůdy na obsah karotenoidů, byl potvrzen u obsahu zeaxanthinu a esterů. Nejvíce zeaxanthinu (0,266 µg/g) bylo naměřeno u odrůdy Seldon a dvakrát nižší množství (0,156 µg/g) bylo zjištěno u odrůdy Raven. Toto množství bylo zároveň i nejnižším průměrným obsahem zeaxanthinu ze všech dalších odrůd. Estery byly nejvíce zastoupeny (0,395 µg/g) u odrůdy Kertag, odrůdy Korok a Raven obsahovaly v průměru srovnatelné množství zeaxanthinu (0,338 µg/g) jako výše zmíněná odrůda Kertag. Důležité je zmínit, že při hodnocení vlivu odrůdy se vycházelo z hodnocení variabilního souboru, kde mimo genotypu působil i vliv dalších faktorů, a to lokalita (České Budějovice a Praha) a způsob pěstování (ekologický způsob a konvenční způsob).

Tabulka č. 5: Vliv odrůdy, lokality a způsobu pěstování na obsah karotenoidů (pozn.: odlišná písmena značí statisticky významné odlišnosti daných hodnot při hladině významnosti $\alpha = 0,05$; ČB – České Budějovice, KON – konvenční způsob pěstování, EKO – ekologický způsob pěstování)

Faktor		Lutein (µg/g suš.)	Zeaxanthin (µg/g suš.)	Estery (µg/g suš.)	Celkový obsah karotenoidů (µg/g suš.)
Lokalita	Praha	0,522 ± 0,070a	0,193 ± 0,039b	0,305 ± 0,088b	1,020 ± 0,136b
	ČB	0,596 ± 0,217a	0,220 ± 0,045a	0,341 ± 0,061a	1,157 ± 0,247a
Způsob pěstování	KON	0,480 ± 0,062b	0,214 ± 0,051a	0,308 ± 0,079a	1,002 ± 0,114b
	EKO	0,637 ± 0,195a	0,200 ± 0,036b	0,338 ± 0,073a	1,175 ± 0,246a
Odrůda	Kertag	0,633 ± 0,211a	0,207 ± 0,024b	0,395 ± 0,045a	1,236 ± 0,200a
	Korok	0,505 ± 0,116a	0,191 ± 0,026b	0,338 ± 0,060ab	1,034 ± 0,165a
	Patrik	0,521 ± 0,128a	0,214 ± 0,035b	0,293 ± 0,074bc	1,027 ± 0,218a
	Raven	0,595 ± 0,149a	0,156 ± 0,017c	0,338 ± 0,069ab	1,090 ± 0,208a
	Seldon	0,539 ± 0,187a	0,266 ± 0,026a	0,250 ± 0,056c	1,056 ± 0,212a

7 Diskuze

V 5 různých odrůdách ovsa, z nichž byly čtyři odrůdy ovsa setého (Korok, Kertag, Raven, Seldon) a jedna odrůda ovsa nahého (Patrik), byl stanoven celkový obsah karotenoidů. Průměrný celkový obsah karotenoidů (suma luteinu, zeaxanthinu, esterů) ve zkoumaných odrůdách byl stanoven v rozmezí 1,027-1,236 $\mu\text{g/g}$. Tyto hodnoty přibližně zapadají do rozmezí obsahu karotenoidů (0,98-4,34 $\mu\text{g/g}$), které naměřili Manzali et al. (2017) ve 26 liniích a kultivarech ovsa z Maroka. Možný vyšší obsah karotenoidů 4,34 $\mu\text{g/g}$ z výše zmíněného výzkumu mohl být zapříčiněn vícero zkoumanými odrůdami či vypěstováním odrůd v teplejší a sušší oblasti. Vliv vyšších teplot a sucha na zvýšený obsah karotenoidů (o 20 %) ve své studii prokázali Fratianni et al. (2013). Antoszkiwicz et al. (2021) stanovovali průměrné obsahy xanthofylů v zrnech, v ovsu naměřili kolem 1,21 $\mu\text{g/g}$, což odpovídá i obsahu karotenoidů (luteinu, zeaxanthinu, esterů) stanoveném v našem experimentu. Grabovská et al. (2004) v experimentu stanovili celkový obsah karotenoidů ve dvou odrůdách ovsa (oves setý, oves nahý) vypěstovaných v roce 2003 v Praze kolem 1,6 $\mu\text{g/g}$, což je jen o pár desetiny více oproti obsahu stanoveném v této práci. Z experimentu Grabovská et al. (2004) vyplynulo, že v odrůdách nahého ovsa byl stanoven obsah karotenoidů 1,8 $\mu\text{g/g}$, což se rozchází s výsledky experimentu naší práce, kde byl obsah karotenoidů v nahé odrůdě Patrik stanoven jako nejnižší (1,027 $\mu\text{g/g}$) ze všech analyzovaných vzorků. Tento rozdíl v obsahu karotenoidů mohl být způsoben odlišnými klimatickými podmínkami v letech pěstování, případně i odlišnými odrůdami. Velmi nízký celkový obsah karotenoidů (0,17 $\mu\text{g/g}$) ve svém experimentu s ovsem zjistili i Irakli et al. (2011), tento sedmkrát nižší obsah karotenoidů oproti obsahu zjištěnému v této diplomové práci mohl být zapříčiněn tím, že byla hodnocena pouze jedna odrůda ovsa, případně i odlišnými klimatickými podmínkami či způsobem pěstování. Trono (2019) ve svém experimentu zkoumala celkový obsah karotenoidů v tvrdé pšenici, ten se pohyboval v rozmezí 1,178-4,416 $\mu\text{g/g}$, což je více než byl stanoven celkový obsah karotenoidů v ovsu v našem experimentu. Důvodem vyššího obsahu karotenoidů byl fakt, že experiment byl prováděn na tvrdé pšenice, která ve srovnání s ostatními odrůdami disponuje výrazně vyšším množstvím karotenoidů, což ve své studii uvádí také Digesù et al. (2009). Trono (2019) zjišťovala obsah karotenoidů také v pšenici používané pro výrobu bílé chlebové mouky, zde se obsah karotenoidů pohyboval v rozmezí 0,603-1,940 $\mu\text{g/g}$, což je přibližně srovnatelné množství s celkovým obsahem karotenoidů v ovsu zkoumaném v této práci. Hussain et al. (2015) uvádí celkový obsah karotenoidů v ekologicky pěstované pšenici v rozmezí od 0,78 až do 4 $\mu\text{g/g}$, což se liší s množstvím karotenoidů naměřeným v ovsu v našem experimentu. Zároveň se tento obsah liší i od námi zjištěného průměrného obsahu karotenoidů (1,175 $\mu\text{g/g}$) v ovsu pěstovaném ekologickým způsobem. Tyto rozdíly mohly být způsobeny odlišnou odrůdou či vícero testovanými genotypy pšenice. Množství karotenoidů naměřené Hussainem et al. (2015) přibližně odpovídalo i tomu co bylo naměřeno v předchozích výzkumech pšenice jednozrnky, tvrdé pšenice a pšenice seté (1,27-13,6 $\mu\text{g/g}$) (Hentschel et al. 2002; Moore et al. 2005; Zhou et al. 2005; Hidalgo et al. 2006; Leenhardt et al. 2006). Studie Moore et al. (2005) a Leenhardt et al. (2006) se věnovali hlavně pšenici jednozrnce, která obecně obsahuje vyšší množství karotenoidů (4-14 $\mu\text{g/g}$) oproti běžné chlebové pšenici (1-3 $\mu\text{g/g}$), toto množství může být více než čtyřnásobné. Vyšší obsahy karotenoidů v pšenici jednozrnce popsali ve svém experimentu i Abdel-Aal et al. (2007), uvedli, že průměrný obsah karotenoidů v různých genotypch pšenice

činí kolem 7 $\mu\text{g/g}$. Při porovnání obsahu karotenoidů z našeho experimentu s odrůdami ovsa spolu s pšenicí jednozrnkou a pšenicí tvrdou se obsah karotenoidů výrazně liší, naopak pšenice používaná pro výrobu bílé mouky je svým obsahem velmi blízká obsahu naměřenému v odrůdách ovsa v této práci. Čech et al. (2021) ve svém experimentu zkoumali množství karotenoidů ve dvou nových odrůdách slovenského černého ovsa a celkový obsah karotenoidů stanovili kolem 7 $\mu\text{g/g}$, což je 5 krát vyšší obsah oproti obsahu karotenoidů stanovených v ovsu v této práci. Tento výrazný rozdíl v obsahu byl pravděpodobně způsoben různými kultivary (černé odrůdy ovsa), protože jak uvádí ve svém článku Chmelová et al. (2015), tak černé odrůdy ovsa jsou bohaté na přírodní barviva (anthokyany a karotenoidy). Výrazné rozdíly mezi obsahy karotenoidů v zrnech různých obilovin (pšenice, ječmen, žito) byly potvrzeny i ve studii Hussain et al. (2021), kde autoři zároveň uvádí, že na různé obsahy karotenoidů může mít vliv lokalita pěstování, dále se v obsahu karotenoidů mezi sebou liší jak kultivary stejného druhu, tak i různé druhy obilovin.

Nejvíce zastoupeným karotenoidem v této práci byl lutein, jehož množství se pohybovalo v rozmezí 0,505-0,633 $\mu\text{g/g}$. Kazimierczak et al. (2020) ve své studii, ve které hodnotili obsah luteinu a β -karotenu, uvádí, že lutein je nejvíce zastoupeným karotenoidem (téměř 100 %) jak v ovsu, tak i v ječmeni. Průměrný obsah luteinu v ekologicky pěstovaném ovsu byl ve studii Kazimierczak et al. (2020) více než 0,7 $\mu\text{g/g}$, v ekologicky pěstovaném ječmeni byl jeho průměrný obsah přibližně 0,8 $\mu\text{g/g}$. V našem experimentu byl zjištěn průměrný obsah luteinu 0,637 $\mu\text{g/g}$ v zrnech ovsa z ekologické produkce, což je srovnatelné množství, které ve své studii uvádí Kazimierczak et al. (2020). Panfili et al. (2004) ve své studii o extrakci a stanovení karotenoidů v obilovinách potvrdili dominantní přítomnost luteinu v ovsu (64 %) i ječmeni (71 %). Ječmen podle autorů obsahoval v průměru 0,860 $\mu\text{g/g}$ luteinu, zatímco oves měl pouze 0,230 $\mu\text{g/g}$ luteinu. Obsah luteinu v ovsu se v této studii (Panfili et al. 2004) výrazně lišil od našich výsledků, což mohlo být způsobeno například různými kultivary. Trono (2019) stanovila obsah luteinu u pšenice tvrdé v rozmezí 0,721-3,078 $\mu\text{g/g}$ (61-70 %) a u pšenice seté 0,391-1,890 $\mu\text{g/g}$ (65-97 %). V případě pšenice tvrdé byl obsah mnohonásobně vyšší oproti stanovenému obsahu luteinu v ovsu v našem experimentu, ale naopak v případě naměřeného obsahu luteinu v pšenici seté (0,391-1,890 $\mu\text{g/g}$) tento obsah přibližně odpovídal námi naměřenému obsahu luteinu v zrnech ovsa. Tento výrazný rozdíl mezi obsahem luteinu v ovsu a tvrdé pšenici mohl být způsoben různými druhy zkoumaných druhů obilovin, protože například pšenice tvrdá obecně obsahuje vyšší množství karotenoidů, což ve své studii uvádí i Digesú et al. (2009). Obsah luteinu v pšenici tvrdé stanovovali také v experimentu Burkhardt a Böhm (2007) a Mellado-Ortega a Horneo-Méndez (2017), stanovená množství 4,4 $\mu\text{g/g}$ a 1,11 $\mu\text{g/g}$ se výrazně lišila od hodnot luteinu stanovovaných v ovsu v této diplomové práci, ale bylo shodné s hodnotami naměřenými u pšenice tvrdé v experimentu Trono (2019).

Mellado-Ortega a Horneo-Méndez (2017) a Panfili et al. (2004) uvádějí, že v ovsu se vyskytují i další karotenoidy, a to zeaxanthin a β -karoten, jehož obsah však nebyl v této diplomové práci zaznamenán. Obsah zeaxanthinu (19 %) v této diplomové práci byl stanoven v rozmezí 0,156-0,266 $\mu\text{g/g}$, což přibližně odpovídá průměrnému obsahu zeaxanthinu (0,12 $\mu\text{g/g}$), který Panfili et al. (2004) stanovili u ovsa ve svém experimentu. Mellado-Ortega a Horneo-Méndez (2017) ve své studii zjistili obsah zeaxanthinu v tvrdé pšenici 0,08 $\mu\text{g/g}$, což je až trojnásobně nižší obsah než byl analyzován ve vzorcích ovsa v našem experimentu. Tento nižší obsah zeaxanthinu mohl být zapříčiněn různými zkoumanými kultivary (pšenice tvrdá).

Druhým nejvíce zastoupeným analytem byly estery luteinu, které se pohybovaly v rozmezí 0,250-0,396 $\mu\text{g/g}$, což je ve srovnání s obsahem esterů (0,04 $\mu\text{g/g}$), který uvádí ve své studii Mellado-Ortega a Horneo-Méndez (2017) u pšenice tvrdé až desetinásobně vyšší množství. Tento výrazný rozdíl v obsahu může být způsobený tím, že se lišily testované druhy obilovin. V tomtéž experimentu byl hodnocen i kříženec pšenice a žita (Tritordeum), který vykazoval vyšší zastoupení esterů kolem 40 % oproti tvrdé pšenici (3,2 %) a ovsu (30 %), jenž bylo zkoumáno v této diplomové práci.

Obsah karotenoidů se může také lišit v důsledku působení různých klimatických podmínek. Groth et al. (2020) ve své studii zkoumali 184 druhů pšenice tvrdé v souvislosti s vlivem místa pěstování (Německo), respektive klimatických podmínek, na celkový obsah karotenoidů. Autoři uvádějí, že obsah luteinu (2 $\mu\text{g/g}$), zeaxanthinu (0,4 $\mu\text{g/g}$) a celkový obsah karotenoidů (2,7 $\mu\text{g/g}$) u většiny zkoumaných odrůd byl nižší v podmínkách vyšších teplot a při nižším množství srážek. Nižší obsah karotenoidů (6,5 $\mu\text{g/g}$) vlivem vyšších teplot a nízkých srážek potvrdili ve své studii i Abdel-Aal et al. (2007), kteří hodnotili změny v obsahu karotenoidů v pšenici jednozrnce během let 1996 až 2001. Dále autoři studie uvádějí, že je velmi obtížné dosahovat pokaždé velmi vysokého množství karotenoidů, protože podmínky prostředí se budou každý rok měnit a budou se vždy měnit i během vývoje zrna.

Výsledky studií (Abdel-Aal et al. 2007; Groth et al. 2020) se rozcházejí se studií Fratiani et al. (2013), ve které byl prokázán při vyšších teplotách a větším suchu zvýšený obsah karotenoidů až o 20 % v pšenici tvrdé. Zvýšený obsah karotenoidů (o 25-30 %) při vyšších teplotách prokázali v pšenici tvrdé také Keles a Öncel (2002). Vliv povětrnostních podmínek na obsah karotenoidů v pšenici s barevným zrnem studovali Zrcková et al. (2018) a potvrdili zvýšený obsah karotenoidů až o 53 % (z 1,6 $\mu\text{g/g}$ na 3 $\mu\text{g/g}$) v důsledku vyšších teplot a nižších srážek. Tyto výše zmíněné výsledky (Keles & Öncel 2002; Fratiani et al. 2013; Zrcková et al. 2018) se shodují s výsledky studie Paznocht et al. (2018), kteří zkoumali volné a esterifikované karotenoidy v barevné pšenici, ječmeni a tritordeu. Výsledkem bylo zjištění, že vysoké teploty a sucho během vegetačního období podpořily biosyntézu karotenoidů, a to u deseti ze čtrnácti testovaných kultivarů.

Ze všech výše zmíněných studií (Keles & Öncel 2002; Abdel-Aal et al. 2007; Fratiani et al. 2013; Zrcková et al. 2018; Paznocht et al. 2018; Groth et al. 2020) je patrné, že se výsledky liší a nelze zcela jednoznačně určit jakým způsobem klimatické podmínky ovlivňují obsah karotenoidů v obilovinách. Barański et al. (2014) ve svém článku uvádí, že mnoho antioxidantů je produkováno rostlinami v reakci na abiotický stres, jako je vodní či tepelný stres. V experimentu této diplomové práce byl stanoven vyšší celkový obsah karotenoidů (1,157 $\mu\text{g/g}$) v odrůdách pěstovaných v lokalitě České Budějovice, a to pravděpodobně z důvodu vyšších průměrných teplot a nižšího množství srážek v průběhu vegetace. Tento výsledek se shoduje s výše zmíněnými studiemi (Keles & Öncel 2002; Fratiani et al. 2013; Zrcková et al. 2018; Paznocht et al. 2018).

Obsah karotenoidů může být ovlivňován i zvoleným pěstebním systémem, tedy ekologickým nebo konvenčním způsobem hospodaření. Zrcková et al. (2018) v experimentu s pšenici s barevným zrnem uvádí, že v ekologickém pěstebním systému byly zjištěny vyšší obsahy antioxidantů (fenolických sloučenin, karotenoidů, anthokyanů) oproti konvenční produkci. Zrcková et al. (2018) dále uvádí také to, že se ekologická a konvenční produkce významně lišila v koncentracích stanovovaných látek i mezi jednotlivými genotypy. V případě

celkového obsahu karotenoidů (1,62-5,34 $\mu\text{g/g}$) byly prokázány statisticky významné rozdíly v jejich obsahu mezi ekologickou a konvenční produkcí u čtyřech ze šesti zkoumaných odrůd pšenice (Zrcková et al 2018). Z experimentu Zrcková et al. (2018) vyplývá, že zrna z konvenční produkce obsahovala v průměru kolem 2,28 $\mu\text{g/g}$ karotenoidů a zrna z ekologické produkce 2,36 $\mu\text{g/g}$, což je jen nepatrný rozdíl, ale přesto dle výsledků studie rozdíl statisticky významný. Výsledky experimentu (Zrcková et al. 2018) potvrzují závěry Barański et al. (2014), který ve svém výzkumu uvedl, že plodiny (různé druhy zeleniny, ovoce, obilovin) vypěstované ekologickým způsobem jsou obvykle bohatší na antioxidantní sloučeniny (fenolické sloučeniny, karotenoidy). Konopka et al. (2012) ve svém výzkumu karotenoidů, fenolických sloučenin a tokochromanolů v zrnech pšenice uvádí, že ekologicky i konvenčně pěstované obilniny se v množství karotenoidů a dalších stanovovaných sloučenin nelišily. Roose et al. (2009) se zabýval vlivem systému hospodaření na obsah xanthofylů (lutein, zeaxanthin) v měkké a tvrdé pšenici a závěrem této práce bylo, že vliv systému hospodaření na obsah luteinu a zeaxanthinu je malý (kolem 13 %). Berenike et al. (2009) potvrdili, že mezi obsahy luteinu a zeaxanthinu z konvenční a ekologické produkce nejsou statisticky významné rozdíly. Studie Strackeho et al. (2009) hodnotila koncentraci karotenoidů v kultivarech pšenice pěstovaných ekologickým a konvenčním způsobem. Autoři této studie uvedli, že způsob produkce (ekologické/konvenční) má na obsah stanovovaných látek nižší vliv než třeba klimatické podmínky. Bloksma et al. (2007) a Massad et al. (2012) uvádí, že zvýšené koncentrace antioxidantních sloučenin v produktech ekologické produkce lze vysvětlit změnami v metabolismu rostlin způsobenými rozdíly v dostupnosti dusíku v půdě v konvenčních a ekologických způsobech hospodaření. Zuchowski et al. (2011) uvádí, že v ekologické produkci, kde nejsou povolena žádná syntetická hnojiva, se obvykle očekává nižší dostupnost dusíku, což vede ke zvýšené tvorbě sloučenin obsahujících uhlík, včetně sekundárních metabolitů bez dusíku. Naopak když je dusík lépe dostupný (konvenční způsob hospodaření), rostliny intenzivněji syntetizují proteiny spolu s dalšími sloučeninami, které obsahují dusík. Zuchowski et al. (2011) zároveň říkají, že je potřeba brát v úvahu, že nedostatek dusíku na polích obdělávaných ekologicky může vést k tvorbě menších pšeničných zrn, která mají vyšší procento perikarpu a aleuronu, což jsou části obsahující většinu antioxidantních sloučenin. Zrcková et al. (2018) dále uvádí, že vyšší koncentrace antioxidantů, nacházející se v ekologicky vypěstovaných plodinách, jsou produkovány v reakci na abiotický stres (například útoky škůdců a choroby). V experimentu (Zrcková et al. 2018) byly ekologicky vypěstované kultivary pšenice mnohem více napadány škůdci a plísňovými chorobami ve srovnání s konvenčně pěstovanými. Z toho lze usuzovat větší abiotický stres u ekologicky produkované pšenice oproti konvenčně vypěstované, kde k ochraně byly využity fungicidy a insekticidy. V experimentu této diplomové práce byl zjištěn statisticky významný rozdíl v obsahu karotenoidů vlivem ekologické a konvenční produkce, kdy odrůdy ovesa z ekologického způsobu pěstování obsahovaly vyšší množství karotenoidů (1,175 $\mu\text{g/g}$) oproti konvenčně pěstovaným (1,002 $\mu\text{g/g}$). Tento výsledek se shoduje se studiemi Barańského et al. 2014 a Zrckové et al. (2018). Vzhledem k ne zcela jednotným výsledkům výše zmíněných studií (Roose et al. 2009; Stracke et al. 2009; Zuchowski et al. 2011; Konopka et al. 2012; Zrcková et al. 2018) zabývajících se rozdílnými obsahy karotenoidů v zrnech obilovin vlivem ekologické a konvenční produkce, nelze zcela přesně říci, zda má způsob pěstování významný vliv na obsah karotenoidů v zrnech.

8 Závěr

Obilná zrna a výrobky z nich jsou důležitou a nedílnou součástí lidské stravy. Poskytují zejména energii a živiny potřebné pro zdraví a růst lidí. V potravinářském průmyslu je nejvíce rozšířena pšenice, dále pak kukuřice a rýže. Stále více se zvyšuje poptávka i po výrobcích z ovesa, žita a pseudoobilovin (pohanka, proso). Obiloviny jsou nejen zdroji hlavních živin, jako jsou sacharidy a bílkoviny, ale obsahují také množství minoritních sloučenin řazených mezi biologicky aktivní látky. Tyto sloučeniny přitahují stále větší pozornost odborníků pro své pozitivní účinky, zejména antioxidační, na zdraví lidí. V lidské stravě mají nezanedbatelný vliv a mohou zamezit výskytu civilizačních chorob souvisejících s moderním způsobem života dnešní společnosti, zejména v prostředí znečištěném průmyslovou výrobou, se špatnými stravovacími návyky a ne příliš zdravým životním stylem.

Ve vyspělých zemích světa stále převažuje konvenční způsob hospodaření, a to zejména proto, aby docházelo k vysokým hektarovým výnosům pro uspokojení potřeb stále se zvyšující populace. Pro ekosystémy však tento způsob hospodaření není trvale udržitelný, protože má například negativní dopady na půdní vlastnosti, biodiverzitu a znečišťuje i ovzduší. Vhodnou alternativou k tomuto intenzivnímu způsobu hospodaření je ekologické zemědělství, které se snaží zabraňovat erozi půdy, znečišťování ovzduší, produkovat kvalitní potraviny a celkově zachovávat a zlepšovat kvalitu životního prostředí.

Experiment v této diplomové práci byl zaměřen na obsah karotenoidů v zrnech ovesa z produkce konvenčního a ekologického zemědělství. Byl zde prokázán statisticky významný rozdíl v celkovém obsahu karotenoidních látek mezi těmito dvěma způsoby hospodaření, kdy v zrnech ovesa z ekologické produkce činil obsah karotenoidů 1,175 $\mu\text{g/g}$ a z konvenční produkce pouze 1,002 $\mu\text{g/g}$. Na základě tohoto výsledku byla stanovena hypotéza „zrno ovesa z ekologické a konvenční produkce se liší množstvím obsažených karotenoidních látek“ potvrzena. Vzhledem k velmi malému množství výzkumů týkajících se karotenoidních látek v zrnech ovesa z konvenční a ekologické produkce by mělo být provedeno vícero studií, protože způsob hospodaření může skutečně ovlivňovat obsah nejen karotenoidů, ale i jiných biologicky aktivních sloučenin, a to ať v zrnech ovesa či jiných obilných zrnech.

9 Literatura

- Abdel-Aal MSE, Young C, Rabalski I, Hucl P, Fregeau-Reid J. 2007. Identification and quantification of seed carotenoids in selected wheat species. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **55**:787-794.
- Adom KK, Liu RH. 2002. Antioxidant activity of grains. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **50**:6182-6187.
- Adom KK, Sorrells ME, Liu RH. 2005. Phytochemicals and antioxidant activity of milled fractions of different wheat varieties. *Journal of Agriculture and Food Chemistry* **53**:2297-2306.
- Aggarwal B, Sundaram C, Prasad S, Kannappan R. 2010. Tocotrienols, the vitamin E of the 21st century: Its potential against cancer and other chronic diseases **80**:1613-1631.
- Ahmad A, Kaleem M. 2018. Chapter 11. b-Glucan as a food ingredient. Pages 351-381 in Grumezescu AM, Holban AM, editors. *Handbook of food bioengineering, biopolymers for food design*. Academic Press, Cambridge.
- Ahmed A, Randhawa MA, Sajid MW. 2014. Chapter 6 - Bioavailability of Calcium, Iron, and Zinc in Whole Wheat Flour. Pages 67-80 in Watson RR, Preedy VR, Zibadi S, editors. *Wheat and Rice in Disease Prevention and Health*. Academic Press, Oxford.
- Ambrósio CLB, de Arruda Camara e Siqueira Campos F, de Faro ZP. 2006. Carotenóides como alternativa contra a hipovitaminose A. *Revista de Nutrição* **19**:233-243.
- Anderson J, Hanna T, Peng X, Kryscio J. 2000. Whole grain foods and heart disease risk. *Journal of the American College of Nutrition* **19**:291-299.
- Andersson SW, Skinner J, Ellegard L, Welch AA, Bingham S, Mulligan A, Andersson H, Shaw KT. 2004. Intake of dietary plant sterols is inversely related to serum cholesterol concentration in men and women in the EPIC Norfolk population: a cross-sectional study. *European Journal of Clinical Nutrition* **58**:1378-1385.
- Antoszkiewicz Z, Opyd PM, Mazur-Kuśnerek M. 2021. Effect of grain preservation on the carotenoid and tocopherol content of cereal grains. *Journal of Elementology* **26**:755-768.
- Atanasov J, Schloermann W, Trautvetter U, Gleis M. 2020. The effects of b-glucans on intestinal health. *Ernährungs Umschau* **67**:52-59.
- Awika JM, Rooney LW. 2004. Sorghum phytochemicals and their potential impact on human health. *Phytochemistry* **65**:1199-1221.
- Barański M, et al. 2014. Higher antioxidant and lower cadmium concentrations and lower incidence of pesticide residues in organically grown crops: A systematic literature review and meta-analyses. *British Journal of Nutrition* **112**:794-811.
- Berenike AS, Eitel J, Waltz B, Mäder P, Rüfer CE. 2009. Influence of the Production Method on Phytochemical Concentrations in Whole Wheat (*Triticum aestivum* L.): A Comparative Study. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **57**:10116-10121.

- Bernet T, Weidmann, Dierauer H, Niggli J, Thanner S, van den Berge P. 2021. Organic farming – Basic principles and good practices. FiBL. Available from <https://www.fibl.org/fileadmin/documents/shop/1141-organic-farming-principles.pdf> (accessed March 2022).
- Beta T, Duodu KG. 2016. Bioactives: Antioxidants. *Encyclopedia of Food Grains* **2**:277-282.
- Bittner V. 2009. Škodlivé organizmy pšenice. Abiotická poškození, choroby, škůdci. Kurent, České Budějovice.
- Bloksma J, Northolt M, Huber M, van der Burgt GJ, van der Vijver L. 2007. A new food quality concept based on life processes. Pages 53-73 in Cooper J, Niggli U, Leifert C, editors. *Handbook of Organic Food Safety and Quality*. Cambridge, Woodhead Publishing Ltd.
- Burkhardt S, Böhm V. 2007. Development of a New Method for the Complete Extraction of Carotenoids from Cereals with Special Reference to Durum Wheat (*Triticum durum* Desf.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **55**:8295-8301.
- Burri BJ. 2015. Beta-cryptoxanthin as a source of vitamin A. *Journal of the Science of Food and Agriculture* **95**:1786-1794.
- Cacak-Pietrzak G. 2011. Studia nad wpływem ekologicznego i konwencjonalnego systemu produkcji roślinnej na wartość technologiczną wybranych odmian pszenicy ozimej. Wydawn SGGW, Warszawa.
- Capouchová I, Honsová H, Konvalina P. 2014. Žito seté (*Secale cereale* L.), Žito trsnaté (*Secale cereale* L. var. multicaule) a Triticale (*×Triticosecale* Wittm.). Pages 31-50 in Konvalina P, editor. *Pěstování vybraných plodin v ekologickém zemědělství*. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, České Budějovice.
- Capouchová I, Konvalina P. 2014. Pšenice setá (*Triticum aestivum* L.). Pages 1-30 in Konvalina P, editor. *Pěstování vybraných plodin v ekologickém zemědělství*. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, České Budějovice.
- Capouchová I, Škeříková A, Mičák L. 2013. Produkční a kvalitativní parametry ozimé pšenice v ekologickém zemědělství. Česká zemědělská univerzita. Available from https://katedry.czu.cz/storage/259/7036_Pestovani_rostlin_v_EZ_2013.pdf (accessed March 2022).
- Carvalho PGB, Machado CMM, Moretti CL, Fonseca MEN. 2006. Hortaliças como alimentos funcionais. *Horticultura Brasileira* **24**:397-404.
- Cowger C, Murphy JP. 2007. Artificial inoculation of wheat for selecting resistance to *Stagonospora nodorum* blotch. *Plant Disease* **91**:539-545.
- Cramer DW, Kuper H, Harlow BL, Titus-Ernstoff L. 2001. Carotenoids, antioxidants and ovarian cancer risk in pre- and postmenopausal women. *International Journal of Cancer* **94**:128-134.
- Čech M, Ivanišová E, Hozlár P, Tokár M, Zagula G, Gumul D, Kačániová M, Sterczyńska M, Haščík P. 2021. Nutritional composition, biological activity and technological properties

- of new slovakianblack oat varieties. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences* (e4238) DOI: 10.15414/jmbfs.4238.
- Delcour JA, Hoseney RC. 2010. *Principles of cereal science and technology*. American Association of Cereal Chemists, Saint Paul.
- Devries J, Camire ME, Cho S, Craig SAS. 2001. The definition of dietary fiber. *Cereal Foods World* **46**:112-129.
- Digesù AM, Platani C, Cattivelli L, Mangini G, Blanco A. 2009. Genetic variability in yellow pigment components in cultivated and wild tetraploid wheats. *Journal of Cereal Science* **50**:210-218.
- Durazzo A, Nazhand A, Lucarini M, Delgado AM, Wit M, Nyam KL, Santini A, Ramadan MF. 2021. Occurrence of Tocols in Foods: An Updated Shot of Current Databases. *Journal of Food Quality* (e8857571) DOI: 10.1155/2021/8857571.
- Dvorský J, Urban J. 2014. *Základy ekologického zemědělství*. ÚKZÚZ Brno a Ministerstvo zemědělství ČR. Available from https://eagri.cz/public/web/file/410563/EKO_zemedelstvi_2014.pdf (accessed March 2022).
- Ellison SL. 2016. Carotenoids: Physiology. Pages 670-675 in Caballero B, Finglas PM, Toldrá F, editors. *Encyclopedia of Food and Health*. Academic Press, Oxford.
- Febles CI, Arias A, Hardisson A, Rodriguez-Alvarez C, Sierra A. 2002. Phytic acid level in wheat flours. *Journal of Cereal Science* **36**:19-23.
- Ferguson LR, Zhu ST, Harris PJ. 2005. Antioxidant and antigenotoxic effects of plant cell wall hydroxycinnamic acids in cultured HT-29 cells. *Molecular Nutrition & Food Research* **49**:585-593.
- Fратиани A, Giuzio L, Di Criscio T, Zina F, Panfili G. 2013. Response of carotenoids and tocopherols of durum wheat in relation to water stress and sulfur fertilization. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **61**:2583-2590.
- Fukui K. 2019. Neuroprotective and Anti-Obesity Effects of Tocotrienols. *Journal of Nutrition Science* **65**:185-187.
- Gangopadhyay N, Rai DK, Brunton NP, Gallagher E, Hossain MB. 2016. Antioxidant-guided isolation and mass spectrometric identification of the major polyphenols in barley (*Hordeum vulgare*) grain. *Food Chemistry* **210**:212-220.
- Garrait G, Jarrige JF, Blanquet S, Beyssac E, Cardot JM, Alric M. 2006. Gastrointestinal absorption and urinary excretion of trans-cinnamic and p-coumaric acids in rats. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **54**:2944-2950.
- Giada MDLR. 2013. Food phenolic compounds: Main classes, sources and their antioxidant power. Pages 87-112 in Morales-Gonzalez JA, editor. *Oxidative Stress and Chronic Degenerative Diseases - A Role for Antioxidant*. InTech, Rijeka.

- Grabovská D, Fiedlerová V, Holasová M, Mašková E, Ouhřabková J, Rysová J, Witnerová R, Michalová A. 2004. Nutritional Changes of Common Oat (*Avena sativa* L.) and Naked Oat (*Avena nuda* L.) during Germination. *Czech Journal of Food Science* **22**:317-320.
- Grabovská D, Jurkaninová L, Matějová H, Sluková M, Skřivan P, Šárka E. 2019. Chemické složení obilovin, výživový a zdravotní pohled na obiloviny, technologie a zpracování obilovin. Česká technologická platforma pro potraviny. Available from <http://www.ctpp.cz/data/files/obiloviny%20final%20web.pdf> (accessed March 2022).
- Gray J. 2013. The Application of Dietary Fibre in Food Industry: Structural Features, Effects on Health and Definition, Obtaining and Analysis of Dietary Fibre: A Review. *Journal of Food and Nutrition Research* **1**:13-23.
- Groth S, Wittmann R, Longin HFC, Bohm V. 2020. Influence of variety and growing location on carotenoid and vitamin E contents of 184 different durum wheat varieties (*Triticum turgidum* ssp. *durum*) in Germany. *European Food Research and Technology* **246**:2079-2092.
- Gul K, Tak A, Singh AK, Singh P, Yousuf B, Abas A. 2015. Chemistry, encapsulation, and health benefits of β -carotene – A review. *Cogent Food & Agriculture* (e1018696) DOI: 10.1080/23311932.2015.1018696.
- Harborne JB, Williams CA. 2000. Advances in flavonoid research since 1992. *Phytochemistry* **55**:481-504.
- Henrion M, Francey C, Le KA, Lamothe L. 2019. Cereal B-glucans: the impact of processing and how it affects physiological responses. *Nutrients* (e1729) DOI: 10.3390/nu11081729.
- Hentschel V, Kranl K, Hollmann J, Lindhauer MG, Böhm VM, Bitsch R. 2002. Spectrophotometric determination of yellow pigment content and evaluation of carotenoids by high-performance liquid chromatography in durum wheat. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **50**:6663-6668.
- Hidalgo A, Brandolini A, Pompei C, Piscozzi R. 2006. Carotenoids and tocopherols of einkorn wheat (*Triticum monococcum* ssp. *monococcum* L.). *Journal of Cereal Science* **44**:182-193.
- Hinneburg I, Dorman HJD, Hiltunen R. 2006. Antioxidant activities of extracts from selected culinary herbs and spices. *Food Chemistry* **97**:122-129.
- Hobden M, Guerin-Deremaux L, Rowland I, Gibson G, Kennedy O. 2015. Potential antiobesogenic properties of non-digestible carbohydrates: specific focus on resistant dextrin. *The Proceedings of the Nutrition Society* **74**:258-267.
- Holick CN, Michaud DS, Stolzenberg-Solomon R, Mayne ST, Pietinen P, Taylor PR, Virtamo J, Albanes D. 2002. Dietary carotenoids, serum beta-carotene, and retinol and risk of lung cancer in the alpha-tocopherol, beta-carotene cohort study. *American Journal of Epidemiology* **156**:536-547.

- Holtekjølen AK, Kinitz C, Knutsen SH. 2006. Flavanol and bound phenolic acid contents in different barley varieties. *Journal of Agriculture and Food Chemistry* **54**:2253-2260.
- Horvat D, Šimić G, Drezner G, Lalić A, Ledенčan T, Tucak M, Plavšić H, Andrić L, Zdunić Z. 2020. Phenolic Acid Profiles and Antioxidant Activity of Major Cereal Crops. *Antioxidants* (e527) DOI: 10.3390/antiox9060527.
- Hu ZC, Zheng YG, Wang Z, Shen YC. 2006. pH control strategy in astaxanthin fermentation bioprocess by *Xanthophyllomyces dendrorhous*. *Enzyme and Microbial Technology* **39**:586-590.
- Hussain A, Larsson H, Johansson E. 2021. Carotenoid Extraction from Locally and Organically Produced Cereals Using Saponification Method. *Processes* (e783) DOI: 10.3390/pr9050783.
- Hussain A, Larsson H, Kuktaite R, Olsson M. 2015 Carotenoid content in organically produced wheat: relevance for human nutritional health on consumption. *International Journal of Environmental Research and Public Health* **12**:14068-14083.
- Chmelová D, Ondrejovič M, Havrlentová, Hozlár P. 2014. Antioxidant activity in naked and hulled oat (*avena sativa* L.) Varieties. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences* **4**:63-65.
- Idriss M, Hodroj MH, Fakhoury R, Rizk S. 2020. Beta-Tocotrienol Exhibits More Cytotoxic Effects than Gamma-Tocotrienol on Breast Cancer Cells by Promoting Apoptosis via a P53-Independent PI3-Kinase Dependent Pathway. *Biomolecules* (e577) DOI: 10.3390/biom10040577.
- Irakli MN, Samanidou VF, Papadonyannis IN. 2011. Development and validation of an HPLC method for the simultaneous determination of tocopherols, tocotrienols and carotenoids in cereals after solid-phase extraction. *Journal of Separation Science* **34**:1375-1382.
- Jones JM. 2013. Dietary fiber future directions: integrating new definitions and findings to inform nutrition research and communication. *Advances in Nutrition* **4**:8-15.
- Katan MB, Grundy SM, Jones P, Law M, Miettinen T, Paoletti R. 2003. Efficacy and Safety of Plant Stanols and Sterols in the Management of Blood Cholesterol Levels. *Mayo Clinic Proceedings* **78**:965-978.
- Kazimierczak R, Średnicka-Tober D, Leszczyńska D, Nowacka A, Hallmann E, Barański M, Kopczyńska K, Gnusowski B. 2020. Evaluation of Phenolic Compounds and Carotenoids Content and Mycotoxins Occurrence in Grains of Seventeen Barley and Eight Oat Cultivars Grown under Organic Management. *Applied Sciences* (e6369) DOI: 10.3390/app10186369.
- Keleş Y, Öncel I. 2002. Response of antioxidative defence system to temperature and water stress combinations in wheat seedlings. *Plant Science* **163**:783-790.
- Kellow NJ, Walker KZ. 2018. 13 - Authorised EU health claim for arabinoxylan. Pages 201-218 in Sadler MJ, editor. *Foods, Nutrients and Food Ingredients with Authorised EU Health Claims*. Woodhead Publishing, Cambridge.

- Kim KH, Tsao R, Yang R, Cui SW. 2006. Phenolic acid profiles and antioxidant activities of wheat bran extracts and the effect of hydrolysis conditions. *Food Chemistry* **95**:466-473.
- Kim MK, Ahn SH, Lee-Kim YC. 2001. Relationship of serum α -tocopherol, carotenoids and retinol with the risk of breast cancer. *Nutrition Research* **21**:797-809.
- Klingberg S, Ellegard L, Johansson I, Hallmans G, Weinehall, Andersson H, Winkvist A. 2008. Inverse relation between dietary intake of naturally occurring plant sterols and serum cholesterol in northern Sweden. *The American Journal of Clinical Nutrition* **87**:993-1001.
- Knödler M, Most M, Schieber A, Carle R. 2010. A novel approach to authenticity control of whole grain durum wheat (*Triticum durum* Desf.) flour and pasta, based on analysis of alkylresorcinol composition. *Food Chemistry* **118**:177-181.
- Konopka I, Tańska M, Faron A, Stepień A, Wojtkowiak K. 2012. Comparison of the phenolic compounds, carotenoids and tocopherols content in wheat grain under organic and mineral fertilization regimes. *Molecules* **17**:12341-12356.
- Konvalina P, Capouchová I, Stehno Z, Moudrý J. 2010. Morphological and biological characteristics of the landraces of the spring soft wheat grown in the organic farming system. *Journal of Central European Agriculture* **11**:235-244.
- Konvalina P, Moudrý J, Kalinová J, Capouchová I, Stehno Z. 2008. Pěstování obilnin a pseudoobilnin v ekologickém zemědělství. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích. Available from https://orgprints.org/id/eprint/20810/1/9.f.g_metodika.pdf (accessed March 2022).
- Konvalina P, Moudrý J. 2008. Pěstování pšenice seté v ekologickém zemědělství. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích. Available from https://orgprints.org/id/eprint/20813/1/Uplatnena_metodika_-_psenice_seta.pdf (accessed March 2022).
- Konvalina P, Moudrý J, Moudrý J, Kalinová J. 2007. Pěstování rostlin v ekologickém zemědělství. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, České Budějovice.
- Krejčířová L, Sluková M, Capouchová I. 2010. Rozdíly ve skladbě zásobních bílkovin u pšenice ozimé vypěstované ekologicky a konvenčně. *Obilnářské listy* **2**:35-39.
- Kumar A, Singh B, Raigond P, Sahu C, Mishra UN, Sharma S, Lal MK. 2021. Phytic acid: Blessing in disguise, a prime compound required for both plant and human nutrition. *Food Research International* (e110193) DOI: 10.1016/j.foodres.2021.110193.
- Lacko-Bartošová M, Cagaň L, Čuboň J, Kováč K, Kováčik P, Macák M, Moudrý J, Sabo P. 2005. Udržitelné a ekologické poľnohospodárstvo. Slovenská poľnohospodárska univerzita, Nitra.
- Lafiandra D, Masci S, Sissons M, Dornez E, Delcour JA, Courtin CM, Caboni MF. 2012. CHAPTER 6 - Kernel Components of Technological Value. Pages 85-124 in Sisson M, Abecassis J, Marchylo B, Carcea M, editors. *Durum Wheat*. AACC International, Minnesota.

- Lafiandra D, Riccardi G, Shewry PR. 2014. Improving cereal grain carbohydrates for diet and health. *Journal of Cereal Science* **59**:312-326.
- Leenhardt F, Lyan B, Rock E, Boussard A, Potus J, Chanliaud E, Remesy C. 2006. Genetic variability of carotenoid concentration, and lipoxygenase and peroxidase activities among cultivated wheat species and bread wheat varieties. *European Journal of Agronomy* **25**:170-176.
- Lerfall J. 2016. Carotenoids: Occurrence, Properties and Determination. Pges 663-669 in Caballero B, Finglas PM, Toldrá F, editors. *Encyclopedia of Food and Health*. Academic Press, Oxford.
- Lin X, Racette SB, Lefevre M, Spearie CA, Most M, Ma L, Ostlund RE. 2010. The effects of phytosterols present in natural food matrices on cholesterol metabolism and LDL-cholesterol: a controlled feeding trial. *European Journal of Clinical Nutrition* **64**:1481-1487.
- Liu RH. 2004. Potential synergy of phytochemicals in cancer prevention: mechanism of action. *The Journal of Nutrition* **134**:3479-3485.
- Lopez HW, Leenhardt F, Coudray C. 2002. Minerals and phytic acid interactions: is it a real problem for human nutrition? *International Journal of Food Science & Technology* **37**:727-739.
- López M, Arce L, Garrido J, Ríos A, Valcárcel M. 2004. Selective extraction of astaxanthin from crustaceans by use of supercritical carbon dioxide. *Talanta* **64**:726-731.
- Lu D, Yang Y, Li Y, Sun C. 2015. Analysis of Tocopherols and Tocotrienols in Pharmaceuticals and Foods: A Critical Review. *Current Pharmaceutical Journal* **11**:66-78.
- Mäder P, Fliessbach A, Dubois D, Gunst L. 2002. Soil Fertility and Biodiversity in Organic Farming Science. *Science* **296**:1694-1697.
- Manzali R, El Antari A, Douaik A, Taghouti M, Benchekroun M, Bouksaim M, Saidi N. 2017. Profiling of Nutritional and Health-Related Compounds in Developed Hexaploid Oat Lines Derivative of Interspecific Crosses. *International Journal of Celiac Disease* **5**:72-76.
- Marasca E, Boulos S, Nystrom L. 2020. Bile acid-retention by native and modified oat and barley b-glucan. *Carbohydrate Polymers* (e116034) DOI: 10.1016/j.carbpol.2020.116034.
- Marelli MM, Marzagalli M, Fontana F, Raimondi M, Moretti RM, Limonta P. 2018. Anticancer properties of tocotrienols: A review of cellular mechanisms and molecular targets. *Journal of Cellular Physiology* **234**:1147-1164.
- Massad TJ, Dyer LA, Vega GC. 2012. Costs of defense and a test of the carbon-nutrient balance and growth-differentiation balance hypotheses for two co-occurring classes of plant defense. *PLoS ONE* (e47554) DOI: 10.1371/journal.pone.0047554.
- Mattila P, Pihlava JM, Hellström J. 2005. Contents of phenolic acids, alkyl- and alkenylresorcinols, and avenanthramides in commercial grain products. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **53**:8290-8295.

- Mejia SMV, de Francisco A, Bohrer BM. 2020. A comprehensive review on cereal beta-glucan: extraction, characterization, causes of degradation, and food application. *Critical Reviews in Food Science and nutrition* **60**:3693-3704.
- Mellado-Ortega E, Hornero-Méndez D. 2017. Effect of long-term storage on the free and esterified carotenoids in durum wheat (*Triticum turgidum* conv. *durum*) and tritordeum (*Tritordeum* Ascheron et Graebner) grains. *Food Research International* **99**:877-890.
- Mezzomo N, Ferreira SRS. 2016. Carotenoids Functionality, Sources, and Processing by Supercritical Technology: A Review. *Journal of Chemistry* (e3164312) DOI: 10.1155/2016/3164312.
- Mezzomo N, Tenfen L, Farias MS, Friedrich MT, Pedrosa RC, Ferreira SRS. 2015. Evidence of anti-obesity and mixed hypolipidemic effects of extracts from pink shrimp (*Penaeus brasiliensis* and *Penaeus paulensis*) processing residue. *Journal of Supercritical Fluids* **96**:252-261.
- Ministerstvo zemědělství. 2021. Akční plán ČR pro rozvoj ekologického zemědělství v letech 2021–2027. Ministerstvo zemědělství. Available from https://eagri.cz/public/web/file/681755/Akni_plan_CR_2021_2027.pdf (accessed March 2022).
- Ministerstvo zemědělství. 2021. Ročenka ekologického zemědělství 2019. Ministerstvo zemědělství. Available from https://eagri.cz/public/web/file/674004/Rocenka_ekologickeho_zemedelstvi_2019_web.pdf (accessed March 2022).
- Ministerstvo zemědělství. 2022. Ročenka ekologického zemědělství 2020. Ministerstvo zemědělství. Available from https://eagri.cz/public/web/file/697723/Rocenka_ekologickeho_zemedelstvi_2020_NAH_LED_IV.pdf (accessed March 2022).
- Moore J, Hao Z, Zhou K, Luther M, Costa J, Yu L. 2005. Carotenoid, tocopherol, phenolic acid and antioxidant properties of Maryland-grown soft wheat. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **53**:6649-6657.
- Moudrý J, Moudrý J, Konvalina P, Kalinová J. Základní principy ekologického zemědělství. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, České Budějovice.
- Moudrý J, Polišínská I, Dvořáková O, Štěrbá Z, Konvalina P, Moudrý J. 2012. Nahý oves: certifikovaná metodika pro praxi. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, České Budějovice.
- Moudrý J, Prugar J. 2002. Biopotraviny – hodnocení kvality, zpracování a marketing. Ministerstvo zemědělství ČR, Praha.
- Moudrý J, Štěrbá Z, Stoličková M. 2014. Oves setý (*Avena sativa* L.), Oves nahý (*Avena sativa* var. *nuda* L.). Pages 93-106 in Konvalina J, editor. Pěstování vybraných plodin v ekologickém zemědělství. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, České Budějovice.

- Moudrý J, Štěrbá Z. 2012. Oves nahý. Pages 85-100 in Konvalina P, editor. Pěstování a využití minoritních obilnin a pseudoobilni v ekologickém zemědělství. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, České Budějovice.
- Moudrý J. 1997. Bioprodukty. Institut výchovy a vzdělávání Ministerstva zemědělství České republiky, Praha.
- Moudrý J. 2006. Multifunkční zemědělství. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích. Available from http://www2.zf.jcu.cz/~moudry/multif_zemedelstvi/ (accessed March 2022).
- Muralikrishna G, Rao MVSSTS. 2007. Cereal Non-Cellulosic Polysaccharides: Structure and Function Relationship - An Overview. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* **47**:599-610.
- Murphy KJ, Marques-Lopes I, Sánchez-Tainta A. 2018. Chapter 7 - Cereals and Legumes. Pages 111-132 in Sánchez-Villegas A, Sánchez-Tainta A, editors. *The Prevention of Cardiovascular Disease Through the Mediterranean Diet*. Academic Press, Oxford.
- Nařízení evropského parlamentu a rady (EU) 2018/848 ze dne 30. května 2018 o ekologické produkci a označování ekologických produktů a o zrušení nařízení Rady (ES) č. 834/2007. Available from <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?uri=CELEX:32018R0848> (accessed March 2022).
- Nielson MM, Hansen A. 2008. Rapid high-performance liquid chromatography determination of tocopherols and tocotrienols in cereals. *Cereal Chemistry* **85**:248-251.
- Nugent AP. 2005. Health properties of resistant starch. *Nutrition Bulletin* **30**:27-54.
- Olson JA. 1999. Carotenoids and human health. *Archivos Latinoamericanos de Nutricion* **49**:7-11.
- Orechov AN, Ivanova EA. 2016. Chapter 5 - Antiatherosclerotic Efficacy of Nutraceuticals. Pages 61-73 in Gupta RC, editor. *Nutraceuticals*. Academic Press, Oxford.
- Osganian SK, Stampfer MJ, Rimm E, Spiegelman D, Manson JE, Willett WC. 2003. Dietary carotenoids and risk of coronary artery disease in women. *American Journal of Clinical Nutrition* **77**:1390-1399.
- Panfili G, Fratianni A, Irano M. 2004. Improved normal-phase high-performance liquid chromatography procedure for the determination of carotenoids in cereals. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **52**:6373-6377.
- Paznocht L, Kotíková Z, Šulc M, Lachman J, Orsák M, Eliášová M, Martinek P. 2018. Free and esterified carotenoids in pigmented wheat, tritordeum and barley grains. *Food Chemistry* **240**:670-678.
- Pereira E, Barros L, Martins A, Ferreira ICFR. 2012. Towards chemical and nutritional inventory of Portuguese wild edible mushrooms in different habitats. *Food Chemistry* **130**:394-403.

- Peterson DM, Hahn MJ, Emmons CL. 2002. Oat avenanthramides exhibit antioxidant activities in vitro. *Food Chemistry* **79**:473-478.
- Petr J, Mikšík V. 2006. Rye quality of hybrid and population varieties from intensive and ecological conditions. *Scientia Agriculturae Bohemica* **37**:1-8.
- Petr J, Škeřík J, Mičák L. 2007. Odrůdy obilnin pro ekologické zemědělství. Česká zemědělská univerzita v Praze. Available from http://organicfarming.agrobiology.eu/sbornik_proceedings.pdf (accessed March 2022).
- Petr J. 2008. Žito a tritikale: biologie, pěstování, kvalita a využití. Profi Press, Praha.
- Prugar J. 2008. Kvalita rostlinných produktů na prahu 3. tisíciletí. Výzkumný ústav pivovarský a sladařský ve spolupráci s Komisí jakosti rostlinných produktů ČZV, Praha.
- Racette SB, Lin X, Lefevre M, Spearie CA, Most MM, Ma L, Ostlund RE. 2010. Dose effects of dietary phytosterols on cholesterol metabolism: a controlled feeding study. *The American Journal of Clinical Nutrition* **91**:32-38.
- Rajasekaran A. 2017. 1.05 – Nutraceuticals. Pages 107-134 in Chackalamannil S, Rotella D, Ward SE, editors. *Comprehensive Medicinal Chemistry III*. Elsevier, Amsterdam.
- Ramanathan N, Tan E, Loh LJ, Soh BS, Yap WN. 2018. Tocotrienol is a cardioprotective agent against ageing-associated cardiovascular disease and its associated morbidities. *Nutrition & Metabolism* (e6) DOI: 10.1186/s12986-018-0244-4.
- Rao AV, Agarwal S. 2000. Role of antioxidant lycopene in cancer and heart disease. *Journal of the American College of Nutrition* **19**:563-569.
- Rao AV. 2002. Lycopene, tomatoes, and the prevention of coronary heart disease. *Experimental Biology and Medicine* **227**:908-913.
- Rao SWN, Schwarz LJ, Santhakumar AB, Chinkwo KA, Blanchard CL. 2018. Cereal phenolic contents as affected by variety and environment. *Cereal Chemistry* **95**:589-602.
- Regulation (EU) 2018/848 of the European Parliament and of the Council of 30 May 2018 on organic production and labelling of organic products and repealing Council Regulation (EC) No 834/2007. Available from <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32018R0848> (accessed March 2022).
- Reicks M, Jonnalagadda S, Albertson AM, Joshi N. 2014. Total dietary fiber intakes in the US population are related to whole grain consumption: results from the National Health and Nutrition Examination Survey 2009 to 2010. *Nutrition Research* **34**:226-234.
- Roose M, Kahl J, Ploeger A. 2009. Influence of the Farming System on the Xanthophyll Content of Soft and Hard Wheat. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **57**:182-188.
- Ross AB, Shepard MJ, Schüpphaus M, Sinclair V, Alfaro B, Kamal-Eldin A, Aman P. 2003. Alkylresorcinol in cereals and cereal products. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **51**:4111-4118.
- Saeed F, Pasha I, Anjum FM, Sultan MT. 2011. Arabinoxylans and Arabinogalactans: A Comprehensive Treatise. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* **51**:467-476.

- Saikia D, Deka S. 2011. Cereals: from staple food to nutraceuticals. *International Food Research Journal* **18**:21-30.
- Saini RK, Keum Y. 2016. Tocopherols and tocotrienols in plants and their products: A review on methods of extraction, chromatographic separation, and detection. *Food Research International* **82**:59-70.
- Sanclemente T, Marques-Lopes I, Fajó-Pascual M, Cofán M, Jarauta E, Puzo J, García-Otín AL. 2012. Naturally-occurring phytosterols in the usual diet influence cholesterol metabolism in healthy subjects. *Nutrition, Metabolism and Cardiovascular Diseases* **22**:849-855.
- Sapirstein HD. 2016. Bioactive Compounds in Wheat Bran. Pages 268-276 in Wrigley C, Corke H, Seetharaman K, Faubion J, editors. *Encyclopedia of Food Grains*. Academic Press, Oxford.
- Scott M, Stuart L. 2020. 211 - Preconception and Pregnancy Health. Pages 1714-1738 in Pizzorno JE, Murray MT, editors. *Textbook of Natural Medicine*. Churchill Livingstone, Londýn.
- Sen CK, Khanna S, Roy S. 2007. Tocotrienols in health and disease: the other half of the natural vitamin E family. *Molecular Aspects of Medicine* **28**:692-728.
- Shami NJIE, Moreira EAM. 2004. Licopeno como agente antioxidante. *Revista de Nutrição* **17**: 227-236.
- Shen C, Kaur G, Wanders D, Sharma S, Tomison MD, Ramalingam L, Chung E, Moustaid-Moussa N, Mo H, Dufour JM. 2018. Anatto-extracted tocotrienols improve glucose homeostasis and bone properties in high-fat diet-induced type 2 diabetic mice by decreasing the inflammatory response. *Scientific Reports* (e11377) DOI: 10.1038/s41598-018-29063-9.
- Shoukat M, Sorrentino A. 2021. Cereal beta-glucan: a promising prebiotic polysaccharide and its impact on the gut health. *International Journal of Food Science and Technology* **56**:2088-2097.
- Siurek B, Rosicka-Kaczmarek J, Nebesny Ewa. 2012. Bioactive compounds in cereal grains – occurrence, structure, technological significance and nutritional benefits – a review. *Food Science and Technology International* **18**:559-568.
- Sofi SA, Nazir A, Ashraf U. 2019. Cereal Bioactive Compounds: A review. *International Journal of Agriculture, Environment and Biotechnology* **12**:107-113.
- Stracke BA, Eitel J, Watzl B, Mäder P, Rüfer CE. 2009. Influence of the production method on phytochemical concentrations in whole wheat (*Triticum aestivum* L.): A comparative study. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **57**:10116-10121.
- Stuper-Szablewska K, Perkowski J. 2019. Phenolic acids in cereal grain: Occurrence, biosynthesis, metabolism and role in living organisms. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* **59**:664-675.

- Šarapatka B, et al. 2006. Ekologické zemědělství v praxi. PRO-BIO Svaz ekologických zemědělců, Šumperk.
- Tacer-Caba Z, Nilufer-Erdil D, Ai Y. 2013. Chemical Composition of Cereals and Their Products. Pages 1-23 in Cheung PCK, Mehta BM, editors. Handbook of Food Chemistry. Springer, Berlin.
- Tichá KM. 2008. Ekologické zemědělství v kostce. Ministerstvo zemědělství, Praha.
- Trono D. 2019. Carotenoids in Cereal Food Crops: Composition and Retention throughout Grain Storage and Food Processing. *Plants* **8**:551.
- ÚKZÚZ. 2021. Odrůdy – databáze odrůd. Available from <https://eagri.cz/public/app/sok/odrudyNouQF.do> (accessed March 2022).
- Urban J, et al. 2003. Ekologické zemědělství – učebnice pro školy i praxi I. díl. Ministerstvo životního prostředí a PRO-BIO Svaz ekologických zemědělců, Praha.
- Urban J, Šarapatka B. 2003. Ekologické zemědělství. Ministerstvo životního prostředí a PRO-BIO Svaz ekologických zemědělců, Praha.
- Václavík T. 2003. Průmyslové zemědělství a naše zdraví. PRO-BIO Svaz ekologických zemědělců, Praha.
- Virgili F, Pagana G, Bourne L, Rimbach G, Natella F, Rice-Evans C, Packer L. 2000. Ferulic acid excretion as a marker of consumption of a French maritime pine (*Pinus maritima*) bark extract. *Free Radical Biology & Medicine* **28**:1249-1256.
- Wilhelmson A, Oksman-Caldentey KM, Litila A, Suortti T, Kaukovirta-Norja A, Poutanen K. 2001. Development of a germination process for producing high beta-glucan, whole grain food ingredients from oat. *Cereal Chemistry* **78**:715-720.
- Wolfe MS, Baresel JP, Deslaux D, Goldringer I, Hoad S, Kovacs G, Löschenberger F, Miedaner T, Ostergard H, Lammerts van Bueren ET. 2008. Developments in breeding cereals for organic agriculture. *Euphytica* **163**:323-346.
- Wong SK et al. 2020. Potential Role of Tocotrienols on Non-Communicable Diseases: A Review of Current Evidence. *Nutrients* (e259) DOI: 10.3390/nu12010259.
- Yao LH, Jiang YM, Shi J, Tomas-Barberán FA, Datta N, Singanusong R, Chen SS. 2004. Flavonoids in food and their health benefits. *Plant Foods for Human Nutrition* **59**:113-122.
- Zálešák F, Bon DJYD, Pospíšil J. 2019. Lignans and Neolignans: Plant secondary metabolites as a reservoir of biologically active substances. *Pharmacological Research* **146**:104284.
- Zarkasi KA, Zainalabidin S, Jen-Kit T, Hakimi NH, Ramli NZ, Jubri Z. 2020. Tocotrienol-rich fraction modulates cardiac metabolic profile changes in isoprenaline-induced myocardial infarction rats. *Sains Malaysiana* **49**:357-373.
- Zhou K, Yin JJ, Yu L. 2005. Phenolic acid, tocopherol and carotenoid compositions, and antioxidant functions of hard red winter wheat bran. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **53**:3916-3922.

- Zhu F, Du B, Xu B. 2016. A critical review on production and industrial applications of beta-glucans. *Food Hydrocolloids* **52**:275-288.
- Zielinski H, Kozłowska H, Lewczuk B. 2001. Bioactive compounds in the cereal grains before and after hydrothermal processing. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* **2**:159-169.
- Zrcková M, Capouchová I, Eliášová M, Paznocht L, Pazderů K, Dvořák P, Konvalina P, Orsák M, Štěřba Z. 2018. The effect of genotype, weather conditions and cropping system on antioxidant activity and content of selected antioxidant compounds in wheat with coloured grain. *Plant, Soil and Environment* **64**:530-538.
- Zuchowski J, Jonczyk K, Pecio L, Oleszek W. 2011. Phenolic acid concentrations in organically and conventionally cultivated spring and winter wheat. *Journal of the Science of Food and Agriculture* **91**:1089-1095.