

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů**

**Katedra chemie**



**Fakulta agrobiologie,  
potravinových a přírodních zdrojů**

**Obsah biologicky aktivních látek v zrna ovsa z produkce  
konvenčního a ekologického zemědělství**

**Diplomová práce**

**Autor práce: Bc. Lucie Pažoutová**

**Obor studia: Výživa a potraviny**

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

**© 2022 ČZU v Praze**



### **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že svou diplomovou práci „Obsah biologicky aktivních látek v zrně ovsa 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 neporušila autorská práva třetích osob.

V Praze dne 14. 04. 2022

---

## **Poděkování**

Ráda bych touto cestou poděkovala panu Ing. Luboši Paznochtovi, Ph.D. za odborné vedení diplomové práce, cenné rady, nevídané postřehy, a především za čas, který mi věnoval, jak při konzultacích týkajících se literární rešerše, tak při práci v laboratoři a při zpracování získaných dat. Dále bych ráda poděkovala paní prof. Ing. Ivaně Capouchové, CSc., která mi dodala vzorky ovsa pro zpracování, a v neposlední řadě bych ráda poděkovala spolužáku Bc. Jindřichu Chocholatému, který mi byl nápomocen v laboratoři při přípravě vzorků pro následnou analýzu.

# Obsah biologicky aktivních látek v zrně ovsa z produkce konvenčního a ekologického zemědělství

## Souhrn

Obilniny jsou nejstarší kulturní plodinou a významným zemědělským produktem dnešní doby. Obiloviny jsou pro lidstvo významným zdrojem energie v podobě sacharidů, dále bílkovin, vlákniny, vitaminů, minerálních a biologicky aktivních látek. Zařazení ovesných produktů do jídelníčku je vhodné jako prevence civilizačních chorob, a to díky antioxidační aktivitě, antidiabetickým, antiaterosklerotickým a imunomodulačním účinkům látek v nich obsažených. Tato práce je zaměřena na fenolické kyseliny v ovsu, který byl pěstovaný na dvou lokalitách (Praha-Uhřetěves, České Budějovice) a ve dvou pěstebních systémech (ekologický, konvenční). Intenzita produkce fenolických kyselin rostlinami je ovlivňována vnějšími faktory, například pěstebním systémem, klimatickými podmínkami, dostupností živin, vody a ohrožení škůdci. Ke stanovení obsahu fenolických kyselin v pěti odrůdách ovsa (Kertag, Korok, Patrik, Raven, Seldon) byla použita kapalinová chromatografie (HPLC-DAD). Ve vzorcích ovsa byla detekována ferulová (71,3 %), sinapová (8 %), *p*-kumarová (6,7 %), vanilová (6,7 %), *cis*-ferulová (3,9 %) a 4-hydroxybenzoová (3,6 %) kyselina. Nejvyšší průměrný obsah fenolických kyselin byl naměřen v odrůdě Patrik pěstované v Praze-Uhřetěvsi v konvenčním systému (487 v  $\mu\text{g/g}$  sušiny). Nejnižší obsah fenolických kyselin byl naměřen u odrůdy Seldon pěstované v Praze-Uhřetěvsi v ekologickém systému (308  $\mu\text{g/g}$  sušiny). Rozdíl v obsahu fenolických kyselin v ovsu vyprodukovaném v ekologickém a konvenčním systému nebyl statisticky významný ( $p > 0,05$ ). Naopak vliv lokality na obsah fenolických kyselin jako statisticky významný ( $p < 0,05$ ) prokázán byl, oves vyprodukovaný v Praze-Uhřetěvsi obsahoval přibližně o 11 % vyšší množství fenolických kyselin, než oves vyprodukovaný v Českých Budějovicích.

**Klíčová slova:** antioxidanty; fenolické kyseliny; HPLC-DAD; nutriční hodnota; obiloviny

# Content of biologically active compounds in oat grain from the production of conventional and organic agriculture

## Summary

Cereals are the oldest cultivated crop and an important agricultural product today. Cereals are an important source of energy for mankind in the form of carbohydrates, as well as protein, fibre, vitamins, minerals and biologically active substances. The inclusion of oat products in the diet is advisable as a prevention of civilisation diseases due to the antioxidant activity, antidiabetic, antiatherosclerotic and immunomodulatory effects of the substances contained in them. This work focuses on phenolic acids in oats grown in two locations (Prague-Uhříněves, České Budějovice) and in two cultivation systems (organic, conventional). The intensity of phenolic acid production by plants is influenced by external factors such as the cropping system, climatic conditions, nutrient and water availability and pest threat. Liquid chromatography (HPLC-DAD) was used to determine the phenolic acid content of five oat varieties (Kertag, Korok, Patrik, Raven, Seldon). Ferulic (71.3%), sinapic (8%), *p*-coumaric (6.7%), and vanillic (6.7%), *cis*-ferulic (3.9%) and 4-hydroxybenzoic (3.6%) acids were detected in the oat samples. The highest average phenolic acid content was measured in the variety Patrik grown in Prague-Uhříněves in the conventional system (487 µg/g dry matter). The lowest phenolic acid content was measured in the variety Seldon grown in Prague-Uhříněves in the organic system (308 µg/g dry matter). The difference in phenolic acid content between oats produced in the organic and conventional system was not statistically significant ( $p > 0.05$ ). On the other hand, the effect of location on phenolic acid content was found to be statistically significant ( $p < 0.05$ ), with oats produced in Prague-Uhříněves containing approximately 11 % more phenolic acids than oats produced in České budějovice.

**Keywords:** antioxidants; cereals; HPLC-DAD; nutritional compositions; phenolic acids

# Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod.....</b>	<b>9</b>
<b>2</b>	<b>Vědecká hypotéza a cíle práce .....</b>	<b>10</b>
<b>3</b>	<b>Literární rešerše .....</b>	<b>11</b>
<b>3.1</b>	<b>Oves (<i>Avena spp.</i>).....</b>	<b>11</b>
3.1.1	Historie pěstování ovsa.....	11
3.1.2	Produkce ovsa .....	11
3.1.2.1	Konvenční zemědělství.....	14
3.1.2.2	Ekologické zemědělství .....	14
3.1.3	Morfologická stavba zrna .....	15
3.1.4	Makronutrienty obsažené v zrn.....	16
3.1.4.1	Sacharidy .....	17
3.1.4.2	Vláknina.....	17
3.1.4.3	Bílkoviny .....	18
3.1.4.4	Lipidy .....	20
3.1.5	Mikronutrienty obsažené v zrn.....	21
3.1.5.1	Minerální látky .....	21
3.1.5.2	Vitaminy .....	21
<b>3.2</b>	<b>Oves v prevenci neinfekčních chorob .....</b>	<b>22</b>
3.2.1	Oxidační stres.....	22
3.2.2	Antimikrobiální účinky .....	23
3.2.3	<i>Diabetes mellitus</i> .....	24
3.2.4	Celiakie .....	24
3.2.5	Hypercholesterolémie .....	25
3.2.6	Ateroskleróza .....	26
3.2.7	Kardiovaskulární onemocnění .....	27
3.2.8	Ischemická mozková příhoda.....	27
3.2.9	Imunomodulační účinky.....	27
<b>3.3</b>	<b>Fenolické látky .....</b>	<b>28</b>
3.3.1	Biosyntéza fenolických látek.....	30
3.3.1.1	Šikimátová metabolická dráha .....	31
3.3.1.2	Polyketidová metabolická dráha .....	31
3.3.2	Fenolické kyseliny .....	31
3.3.2.1	Deriváty hydroxybenzoové kyseliny.....	32
3.3.2.2	Deriváty hydroxyskořicové kyseliny .....	33

<b>4</b>	<b>Metodika</b> .....	<b>36</b>
<b>4.1</b>	<b>Kultivary ovsu</b> .....	<b>36</b>
<b>4.2</b>	<b>Podmínky pěstování</b> .....	<b>36</b>
4.2.1	Agrotechnika.....	37
4.2.1.1	Praha-Uhřetěves .....	37
4.2.1.2	České Budějovice .....	37
4.2.2	Abiotické podmínky .....	38
<b>4.3</b>	<b>Příprava vzorků</b> .....	<b>39</b>
<b>4.4</b>	<b>Analýza – celkový obsah fenolických kyselin (TPA)</b> .....	<b>39</b>
4.4.1	Izolace a analýza TPA .....	39
4.4.2	HPLC-DAD analýza .....	40
4.4.3	Identifikace a kvantifikace .....	40
<b>4.5</b>	<b>Statistické vyhodnocení naměřených dat</b> .....	<b>41</b>
<b>5</b>	<b>Výsledky</b> .....	<b>42</b>
<b>5.1</b>	<b>Vliv lokality na obsah fenolických kyselin</b> .....	<b>46</b>
<b>5.2</b>	<b>Vliv pěstebního systému na obsah fenolických kyselin</b> .....	<b>47</b>
<b>5.3</b>	<b>Vliv genotypu na obsah fenolických kyselin</b> .....	<b>47</b>
<b>6</b>	<b>Diskuse</b> .....	<b>49</b>
<b>6.1</b>	<b>Vliv pěstebního systému</b> .....	<b>49</b>
<b>6.2</b>	<b>Vliv abiotických podmínek</b> .....	<b>50</b>
<b>6.3</b>	<b>Vliv odrůdy</b> .....	<b>51</b>
<b>7</b>	<b>Závěr</b> .....	<b>52</b>
<b>8</b>	<b>Literatura</b> .....	<b>53</b>
<b>9</b>	<b>Samostatné přílohy</b> .....	<b>I</b>



# 1 Úvod

Obiloviny jsou řazeny mezi nejstarší zemědělské plodiny, avšak konkrétně oves je považován za nejmladší druh, který byl do Evropy importován až v 5. století našeho letopočtu. Oves je významnou plodinou, která je využívána nejen jako krmivo pro koně, ale i pro výrobu potravin a pro výrobu farmaceutických produktů a biomateriálů (Fan et al. 2004). Využití ovsa jako výchozí látky pro výrobu potravin je dáno především díky nutričnímu složení zrn. Hlavními nutrienty v ovesném zrně jsou polysacharidy (60-66 %), jejichž hlavní složkou je škrob, dále bílkoviny (9-15 %), lipidy (3-11 %) a vláknina (12-14 %) (Prugar 2008; Punia et al. 2021). Ovesné bílkoviny, konkrétně prolaminy (aveniny) neobsahují žádné epitopy celiakie z prolaminů pšenice a dalších obilovin, a proto je oves považován za surovinu vhodnou pro celiaky (Smulders et al. 2018). Lipidy obsažené v ovesném zrně jsou tvořeny acylglyceroly (70-90 %), fosfolipidy (5-26 %) a volnými mastnými kyselinami (3-5 %) (Halima et al. 2015). Ovesné  $\beta$ -glukany, jež jsou součástí ovesné vlákniny, byly v několika studiích zkoumány vzhledem k jejich pozitivním účinkům, jako jsou například imunomodulační, antidiabetické a antiaterosklerotické účinky. Mezi minoritní složky ovesného zrna jsou řazeny, jak minerální látky, vitaminy, tak i produkty sekundárního metabolismu rostlin – antioxidantní látky, jako jsou například fenoly, flavonoidy a fenolické kyseliny (Balasundram et al. 2006). Obsah těchto antioxidantních látek v ovesném zrně je velice variabilní. Je známo, že mnoho antioxidantů je rostlinami intenzivněji produkováno v reakci na abiotický stres, jako je například vodní nebo tepelný stres, a biotický stres, například ohrožení herbivory anebo plevele (Baranski et al. 2014). Z těchto poznatků lze usuzovat, že oves produkovaný v ekologickém pěstebním systému, kde je zakázáno využívat, jak ochranných látek (pesticidy), tak syntetických hnojiv, bude mít obsah biologicky aktivních látek vyšší než oves produkovaný v systému konvenčním, kde jsou pesticidy a syntetická hnojiva povolena (Evropský parlament a Rada EU 2018). Obsah biologicky aktivních látek v ovsu je také ovlivněn zeměpisnou polohou a odrůdou. Fenolické kyseliny a další biologicky aktivní látky pozitivně ovlivňují lidské zdraví, zmírňují oxidační stres, který může být příčinou následných komplikací, jako je například nádorové onemocnění. Fenolické kyseliny dále působí antimikrobiálně a snižují riziko vzniku ischemické mozkové příhody (Tokmak et al. 2015; Beta & Duodu 2016; Tang et al. 2022). V současné době vlivem vysokého výskytu rizikových faktorů, mezi které je možné zařadit nesprávné stravovací návyky, nedostatek pohybové aktivity a kvalitního spánku, zvýšení míry stresu, dochází k nárůstu osob trpících civilizačními chorobami, zejména nadváhou až obezitou, kardiovaskulárním onemocněním a *diabetem mellitem*. Konzumací ovesných produktů a dodržování zásad zdravého životního stylu (dostatek pohybové aktivity, dostatek kvalitního spánku apod.) lze těmito zdravotními komplikacím předejít.

## **2 Vědecká hypotéza a cíle práce**

Hypotéza 1: Zrno ovsa z ekologické a konvenční produkce se liší v obsahu fenolických kyselin.

Hypotéza 2: Zrno ovsa z ekologické a konvenční produkce se liší ve spektru obsažených fenolický kyselin.

Cíl práce 1: Zpracovat literární rešerši s tématem obsahu biologicky aktivních látek v obilovinách z ekologické a konvenční zemědělské produkce.

Cíl práce 2: Stanovit obsah a spektrum fenolických kyselin v zrnu ovsa metodou HPLC-DAD.

Cíl práce 3: Vyhodnotit vliv systému pěstování (ekologický vs. konvenční) na obsah fenolických kyselin v zrnu ovsa.

## 3 Literární rešerše

### 3.1 Oves (*Avena* spp.)

Oves setý, latinsky *Avena sativa*, patří do skupiny obilnin stejně jako pšenice, žito a ječmen. Obilniny jsou považovány za nejstarší kulturní plodiny, které byly vyšlechtěny v období zemědělské revoluce. Fylogenetický původ ovsa není přesně znám. Martin (2006) uvádí, že oves setý vznikl křížením ovsa jalového (*Avena sterilis*) a ovsa hluchého (*Avena fatua*) nebo vyšlechtěním z ovsa byzantského (*Avena byzantina*). V současné době 90 % celkové zemědělské plochy pro pěstování ovsa připadá na oves setý. Na zbylých 10 % plochy je pěstován oves nahý, oves hluchý se vyskytuje převážně jako plevelná rostlina (Benada 2001). Oves je jednoletá jednoděložná zelená bylina, která dorůstá do výšky mezi 40 až 150 cm. Rostlina je charakteristická vzpřímeným růstem, hladkým a poměrně mohutným stéblem (Gajdošová & Šturdík 2004). Povrch listu je drsný z obou stran, avšak čepel je plochá. Listy bývají přibližně 300 mm dlouhé a 16 mm široké a vyrůstají z lysých pochev s krátkými jazýčky. Oves kvete v letním období, a to od června do srpna, jeho květenstvím je lata, která je rozkladitá a volná. Oves se od ostatních obilnin liší tím, že je jediným druhem, který netvoří obilky v lichoklasech (Grau 1998). Oboupohlavní ovesné klasy se vyznačují svou velikostí a převisem. Ovesné zrno je kryto plevami, které jsou při zpracování oddělovány (Gajdošová & Šturdík 2004).

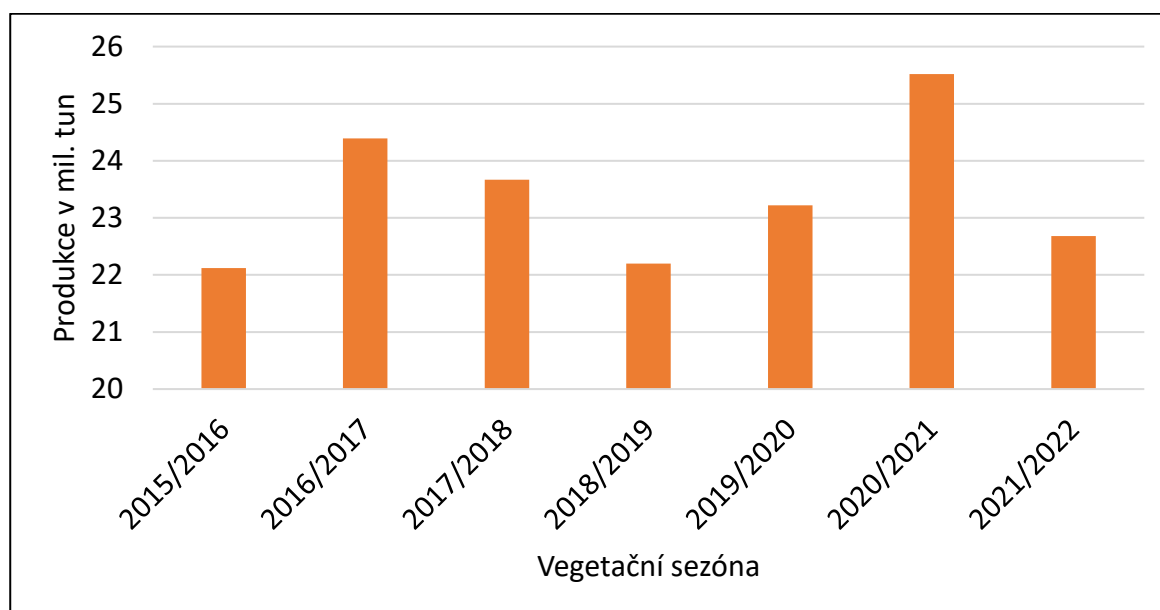
#### 3.1.1 Historie pěstování ovsa

První zmínky o pěstování ovsa jsou datovány z doby kamenné z historické oblasti řek Eufkrat a Tigris, tj. z oblasti tehdejší Mezopotámie. Oblast historické Mezopotámie je nazývána tzv. úrodným půlměsícem, který v současné době odpovídá území Iráku, severovýchodní Sýrie, jihovýchodního Turecka, jihozápadního Íránu a části Egypta. Jedná se o oblast, která před pěti tisíci lety poskytovala ideální podmínky pro zemědělskou činnost a vznik civilizace (Bulková 2011). Do střední a severní Evropy byl oves dovezen v 5. století pravděpodobně z poloostrova Malé Asie rozléhajícím se mezi Středozemním, Egejským, Marmarským a Černým mořem. Původně se nejednalo o kulturní plodinu, ale o plevelnou rostlinu rostoucí mezi ječmenem a pšenicí. Oves bezpluchý (*Avena nuda*) neboli oves nahý, pochází z horských oblastí Číny a Mongolska. V současné době jsou obilniny pěstovány globálně po celém světě (Benada 2001; Gajdošová & Šturdík 2004).

#### 3.1.2 Produkce ovsa

Popis vlivu genotypu a prostředí na kvalitativní vlastnosti ovsa je důležitý pro určení nejvhodnějších podmínek pro akumulaci prospěšných látek v zrnu. Ve studii Sgrulletta et al. (2002) bylo u šesti odrůd ovsa (pět loupaných a jedna nahý) pěstovaných v různých agronomických podmínkách zjištěn silný vliv prostředí na chemické složení zrna.

Ve světě jsou produkovány dva kultivary ovsa, a to oves setý a oves nahý. Oves setý je pěstován převážně v chladném a vlhkém prostředí severní Evropy a Severní Ameriky. Oves nahý je nejvíce rozšířen ve Velké Británii, Polsku, Kanadě, Spojených státech amerických, Mexiku a Číně. V České republice je oves nahý pěstován a šlechtěn od druhé poloviny 20. století. Dlouhodobě největšími producenty ovsa na evropském kontinentu jsou Polsko a Finsko. Dle obrázku 1 je zřejmé, že světová produkce ovsa v průřezu let poměrně kolísá (Multari et al. 2018).



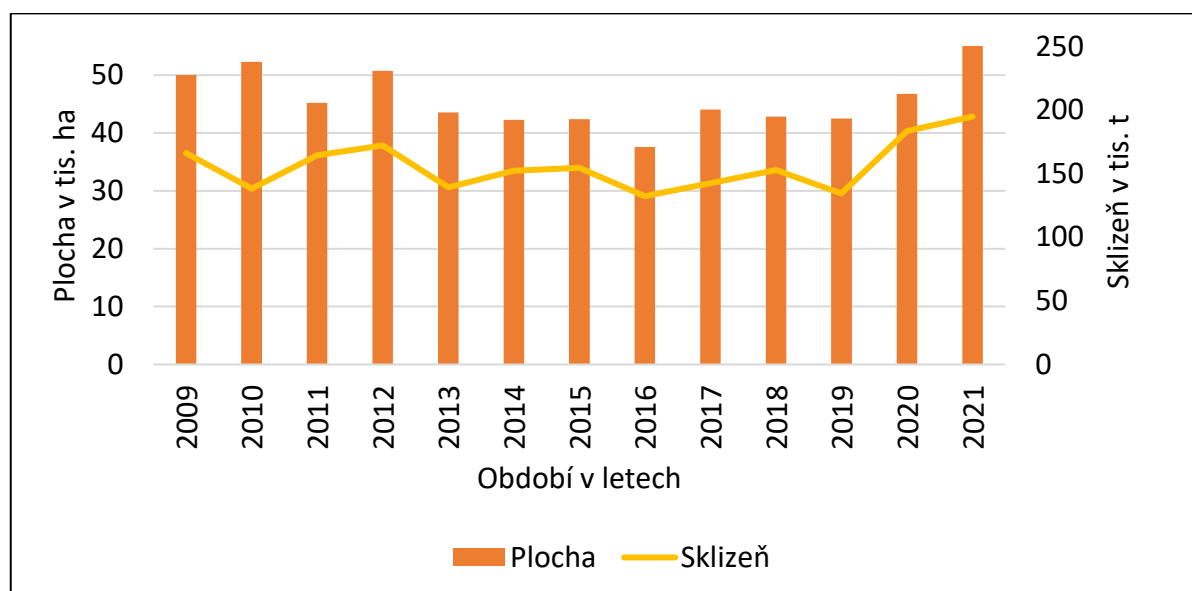
Obrázek 1: Světová produkce ovsa mezi roky 2015-2022 (Shahbandeh 2022).

Největším světovým producentem ovsa je Rusko, kde na 2,7 mil. ha v roce 2021 bylo vyprodukováno přes 4,7 mil. tun. Druhým největším pěstitelem ovsa je Kanada, jejíž ovesné plochy jsou rozloženy na 1 mil. ha a v roce 2021 bylo vyprodukováno přes 3,4 mil. tun. Třetím významným producentem je Španělsko, ve kterém bylo vypěstováno téměř 1,5 mil. tun ovsa na zemědělské ploše o 0,5 mil. ha. Další významní producenti ovsa jsou uvedeni v tabulce 1 (Atlas Big 2018).

Tabulka 1: Světoví producenti ovsa (Atlas Big 2018).

Pořadí	Stát	Produkce v mil. t	Produkce v kg/osobu	Plocha v mil. ha
1.	Rusko	4,72	32,1	2,73
2.	Kanada	3,44	92,3	1,00
3.	Španělsko	1,49	31,8	0,56
4.	Austrálie	1,23	49,1	0,87
5.	Polsko	1,17	30,3	0,49
6.	Čína	1,00	0,72	0,28
7.	Brazílie	0,89	4,28	0,44
8.	Velká Británie	0,85	12,8	0,17
9.	Finsko	0,82	148	0,29
10.	Spojené státy americké	0,81	2,48	0,35
25.	Česká republika	0,15	14,3	0,04

Česká republika se nachází na 25. místě, co se týká produkce ovsa. Dle žňového zpravodajství ze dne 13. září 2021 bylo v České republice celkem sklizeno přes 220 tisíc tun ovsa ze zemědělské plochy téměř 60 tisíc ha. Hektarový výnos tedy odpovídá 3,95 t/ha (Ministerstvo zemědělství 2021). Na obrázku 2 je znázorněn vývoj osevních ploch a produkce ovsa v České republice v období mezi roky 2009 až 2021 (Český statistický úřad 2022).



Obrázek 2: Vývoj osevních ploch a výnosu produkce ovsa (Český statistický úřad 2022).

Hektarový výnos v roce 2020 je za posledních 11 let nejvyšší, jak je znázorněno v tabulce 2.

Tabulka 2: Hektarový výnos ova produkovaného v České republice (Český statistický úřad 2020).

Rok	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Hektarový výnos v t/ha	3,32	2,64	3,63	3,39	3,19	3,60	3,65	3,52	3,23	3,56	3,16	3,92

### 3.1.2.1 Konvenční zemědělství

Konvenční zemědělství je obecně rozšířený pojem pro systém hospodaření, který převládá v průmyslově vyspělých zemích. Tento zemědělský systém je charakterizován vyšší intenzitou hospodaření i použitím vyšších energetických a materiálových vstupů, které jsou využívány za účelem maximalizace produkce, tj. monetárního ekonomického efektu. Mezi významné intenzifikační faktory patří zvyšování hustoty produkčních organismů v čase a prostoru, vysoký stupeň mechanizace, případná automatizace technologických procesů, intenzivní využívání dodatkových chemických prostředků, jako jsou syntetická hnojiva, pesticidy, regulátory růstu (antibiotika, hormony), energie a voda. Intenzivní využívání těchto vnějších vstupů vede k vyčerpání přírodních zdrojů, které jsou provázány klimatickými změnami, a zdůrazňují potřebu přechodu od konvenčního zemědělství k takové formě zemědělství, která klade důraz na tři klíčové ukazatele výkonnosti, a to vliv na klima, ekonomickou stabilitu a sociální stabilitu. Vnějšími znaky intenzivního zemědělského systému je vysoký stupeň urbanizace krajiny, tj. zamezení růstu přirozené vegetace, ohraničení pozemků, nízká biodiverzita v důsledku pěstování monokultur, neschopnost autoregulace, častěji nízká adaptace k vnějšímu prostředí, trvalé narušování prostředí půdy a nutnost regulace dalšími energetickými a materiálovými vstupy (Cristache et al. 2018).

### 3.1.2.2 Ekologické zemědělství

Ekologické zemědělství je moderní formou zemědělské produkce s historií sahající do začátku 20. století. Smyslem ekologického zemědělství je produkce zdravých a kvalitních potravin trvale udržitelným způsobem. V ekologickém zemědělství je využíváno zeleného hnojení, kompostování, střídání plodin a biologické ochrany proti škůdcům. Jako přírodní hnojivo lze použít kostní moučka a jako přírodní insekticid lze využít pyrethrin, který vzniká jako sekundární metabolit v kopretině starčkolisté (*Chrysanthemum cinerariifolium*) (Chandran & Thomas 2018). Další rostlinou, která svým metabolismem produkuje přírodní insekticid, je rosnolist lusitánský (*Drosophyllum lusitanicum*), jejíž původní lokalitou je oblast Aljavre v Portugalsku. Hlavní insekticidní složkou působící například proti vrtalce (*Liriomyza trifolii*), jejíž larvy škodí žírem rostlinných pletiv, je plumbagin, jehož účinky mohou být zvyšovány díky dalším složkám extraktu (Bezpečnost potravin 2008).

Ekologické zemědělství využívá informace z nejnovějších studií a poznatků ve spojení s osvědčenými tradičními postupy. Mezi tyto pilíře jsou zařazovány především postupy

zamezující poškozování půdy a vysoká podpora biodiverzity v krajině. Definice a zásady pro ekologickou produkci jsou zaneseny v legislativě Evropské unie, konkrétně v Nařízení (EU) 1018/848 – pravidla pro ekologickou produkci a označování ekologických produktů. Cílem tohoto nařízení je revidovat a posílit pravidla Evropské Unie týkající se ekologické produkce a označování ekologických produktů, a to z hlediska kontrolních systémů, obchodních režimů a pravidel produkce. Hlavními zásadami ekologické produkce by měly být respektování přírodních systémů a cyklů, udržování a zlepšování stavu půdy, vody, vzduchu, zdraví rostlin a zvířat, zachování přírodních krajinných prvků, odpovědné využívání energie a přírodních zdrojů. Dalšími zásadami jsou produkce vysoce kvalitních produktů odpovídajících spotřebitelské poptávce, zajišťování integrity ekologické produkce ve všech fázích produkce, zpracování a distribuce potravin a krmiv, vyloučení geneticky modifikovaných organismů a jiných než veterinárních léčiv, omezení vnějších vstupů a zajištění vysoké úrovně dobrých životních podmínek zvířat. Dle legislativy EU jsou stanoveny požadavky na ekologické zemědělství, a to zachování a zlepšování živé složky a přirozené úrodnosti půdy, stability, schopnosti půdy zadržovat vodu a její biologickou rozmanitost. Dalšími požadavky jsou využívání osiva a živočichů vykazujících vysoký stupeň genetické rozmanitosti, odolnosti vůči chorobám a nákazám a schopnost dožít se dlouhověkosti, volba rostlinné odrůdy s ohledem na charakteristické rysy systémů ekologické produkce a zaměření na agronomickou výkonnost a odolnost vůči chorobám. Volba živočišných plemen s ohledem na jejich genetickou hodnotu, dlouhověkost, vitalitu a odolnost vůči nákazám nebo zdravotním problémům a provozování živočišné výroby přizpůsobené danému místu, jsou dalšími požadavky (Evropský parlament a Rada EU 2018).

Pro produkci ekologických produktů je nutné využívat ekologicky vypěstovaných semen. Semena využívána pro produkci ovsa v ekologickém zemědělství mohou být zatížena činností mikroskopických hub. Capouchová et al. (2012) uvádí, že semena ovsa setého byla nejzávažněji napadena koloniemi rodu *Penicillium* spp., dále *Fusarium* spp., *Alternaria* spp., vyskytujících se na povrchu semen před přímým výsevem. Postižení klasů ovsa setého bylo zjištěno dvojnásobné oproti klasům ovsa nahého (Capouchová et al. 2012). Možné vysvětlení je, že mikroskopické houby se častěji vyskytují na povrchu slupek (Adler et al. 2003).

### **3.1.3 Morfologická stavba zrna**

Obilné zrno se skládá z několika vrstev. Nejsvrchnější části pokožky, které se nazývají oplodí (perikarp), mají protektivní funkci vzhledem k možnému mechanickému poškození nebo ke krátkodobým účinkům vody a škodlivých látek. Proto jsou tyto vnější vrstvy tvořeny nerozpustnými a obtížně bobtnajícími látkami, především polysacharidem celulózou. Další podpovrchová úroveň, jež je nazývána osemení, je složena z buněk, které obsahují barviva, a tím je určován vnější barevný vzhled zrna. Další vrstvy jsou také tvořeny látkami polysacharidové povahy, které jsou schopny do určité míry bobtnat a vázat vodu. Díky svým vlastnostem vázat vodu dochází k udržování rovnováhy vlhkosti zrna. Všechny tyto vrstvy jsou tvořeny houževnatou strukturou, která v mlýnské praxi při zpracování zrna na mouku přechází do otrub (Příhoda et al. 2004).

Další hlavní částí obilného zrna je endosperm. Endosperm je pletivo, kterým je obkloповáno a vyživováno embryo během svého vývoje. Vnější vrstvy endospermu jsou tvořeny rozsáhlými vychlípeninami, které jsou rostlinou využívány pro transport sacharidů, aminokyselin a minerálních látek z embrya do endospermu. Hlavními složkami endospermu je škrob, který je tvořen škrobovými zrny, jež se liší v rámci druhů obilnin, dále zásobní lipidy a zásobní bílkoviny. Na rozhraní mezi obalovými vrstvami a endospermem se nachází méně houževnatá jednoduchá struktura, tj. aleuronová vrstva. Buňky aleuronové vrstvy vznikají tak, že prekursorů zásobních bílkovin jsou transportovány z cytoplazmy do vakuol a zde se transformují v základní části zrna. Aleuronové buňky nabývají kubického tvaru, přičemž se v nich nachází poměrně vysoký obsah bílkovin, a to přibližně 30 %, z čehož vyplývá, že v aleuronové vrstvě se nachází téměř trojnásobné množství bílkovin než v endospermu, avšak jejich biologická hodnota je poměrně nízká (Příhoda et al. 2004; Bulková 2011).

Poslední hlavní částí obilného zrna je klíček neboli embryo. Jedná se o vlastní zárodek nové rostliny, jež je nositelem genetické informace. V klíčku je soustředěn vitamin E, který je rozpustný v tucích, dále vitaminy rozpustné ve vodě, a to vitamin C, vitaminy skupiny B – thiamin, riboflavin, niacin, pantotenová kyselina, pyridoxin (Příhoda et al. 2004; Kopáčová 2007).

V případě použití zrna pro vymletí mouky je klíček standardně odstraňován z důvodu snížení rizika oxidace tuků a udržení kvality mouky. V případě výroby celozrnné mouky není klíček extrahován, jelikož celozrnná mouka musí být vyrobena ze všech částí zrna v nepozměněném poměru (Příhoda et al. 2004, Bezpečnost potravin 2022).

Zrna různých druhů obilnin se liší tvarem, velikostí, hmotností a podílem jednotlivých vrstev. Rozdíly ve velikosti a hmotnosti zrn jsou znázorněny v tabulce 3.

Tabulka 3: Velikost a hmotnost tisíce zrn (HTZ) obilovin (Příhoda et al. 2004).

Druh obiloviny	Délka zrna v mm	Šířka zrna v mm	HTZ v g
Oves	6-13	1-4,5	32
Žito	4,5-10	1,5-3,5	15-40
Ječmen	8-14	1-4,5	32-36
Pšenice	5-8	2,5-4,5	27-48
Rýže	5-10	1,5-5	27
Kukuřice	8-17	5-15	150-600
Čirok	3-5	2-5	8-50

### 3.1.4 Makronutrienty obsažené v zru

Rozdíly ve složení makronutrientů jsou zapříčiněny genetickými a enviromentálními faktory. Genotypové rozdíly jsou zřejmé napříč kultivary, které jsou vhodné pro určitý druh použití. Mezi enviromentální faktory ovlivňující složení ovesných zrn patří klimatické, agronomické podmínky a edafické faktory, například půdní druh, půdní typ, půdní reakce a obsah humusu,



dále se na složení ovesných zrn podílí například i délka vegetačního cyklu. Příkladem kombinace těchto faktorů je ozimý kultivar ovesa, který je setý na podzim a je vyznačován vyšším obsahem tuku a nižším obsahem bílkovin než oves, který je setý na jaře. Zastoupení jednotlivých nutrientů je znázorněno v tabulce 4 (Skládanka et al. 2009; Webster 2011).

Tabulka 4: Chemické složení ovesného zrna (Prugar 2008; Punia et al. 2021).

Skupiny nutrientů	Zastoupení v %
Sacharidy	60-66
Bílkoviny	9-15
Tuky	3-11
β-glukany	2-8

#### 3.1.4.1 Sacharidy

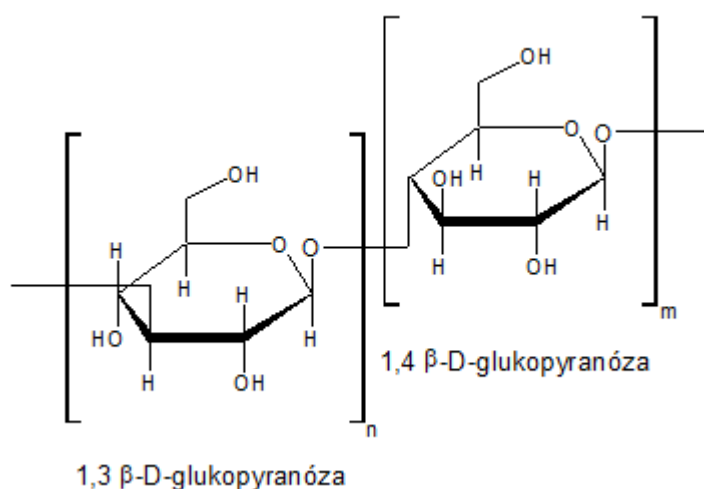
Ovesné zrno je tvořeno přibližně z 60 % sacharidy. Hlavním sacharidem ovesného zrna je škrob. Molekula škrobu je složena ze dvou skupin molekul, a to z amylózy a amylopektinu. Obvyklý poměr těchto dvou skupin sacharidů je 1:3. Tyto dva sacharidy se liší strukturou svého řetězce. V případě amylózy se jedná o lineární polymer D-glukopyranózových jednotek navázaných na sebe ve směru 1→4, tj. glykosidická vazba vzniká mezi prvním uhlíkem jedné molekuly D-glukopyranózy a čtvrtým uhlíkem následující molekuly D-glukopyranózy. Počet jednotek D-glukopyranózy v amylóze se pohybuje v rozmezí od 1 000 do 4 500 molekul, přičemž molekulová hmotnost může dosahovat až 1 000 kDa. Amylóza je rozpustná ve vodě a vzniklý roztok se stává velmi viskózním. V případě amylopektinu se jedná o čteně rozvětvený polymer, jehož glukózové jednotky jsou spojovány stejnou vazbou jako v amylóze, avšak vazby mezi jednotlivými řetězci navzájem vychází z prvního uhlíku jedné molekuly a z uhlíku šestého druhé molekuly D-glukopyranózy. Výjimečně může dojít ke vzniku vazby mezi prvním a třetím uhlíkem molekul. Počet glukózových jednotek amylopektinu se nachází mezi 50 000 a 1 000 000 a jeho molekulová hmotnost může dosahovat od 8 000 do 160 000 kDa. Amylopektin je na rozdíl od amylózy ve vodě zcela nerozpustný (Chu 2014).

#### 3.1.4.2 Vlákna

Jako vlákna jsou označovány především rostlinné polysacharidy, které není možné štěpit pomocí enzymů gastrointestinálního traktu a tím ho strávit jako ostatní komponenty potravy. Vlákna se dělí na nerozpustnou a rozpustnou. Mezi nerozpustnou vlákninu je řazena celulóza, hemicelulóza a lignin a mezi rozpustnou vlákninu jsou řazeny gumy, pektiny, inulin, rozpustné slizy a některé druhy hemicelulózy. Rozpustná vlákna díky své schopnosti vázat vodu a zvětšit tak objem tráveniny způsobuje rychlejší prostup tráveniny intestinálním traktem, konkrétně tenkým střevem, a dochází tak ke snížené absorpci a využitelnosti živin z potravy. Rozpustná vlákna prostupuje do tlustého střeva, kde je fermentována střevními mikroorganismy, které vlákninu přeměňují na mastné kyseliny s krátkým uhlíkatým řetězcem za současného uvolnění methanu, vodíku a oxidu uhličitého. V největším zastoupení vzniká

octová, propionová a máselná kyselina. Jedná se o nasycené mastné kyseliny tvořené dvěma až čtyřmi uhlíky. Díky působení bakterií gastrointestinálního traktu dochází k 75% využití přijaté vlákniny v potravě, která je po zpracování mikroorganismy využita jako zdroj energie a dokáže pokrýt až 20 % denní potřeby člověka. Majoritní množství energie je získáváno z máselné kyseliny, která je zároveň významnou látkou pro udržení správné funkce střevních buněk a pro ochranu střevní sliznice (Lattimer & Haub 2010).

$\beta$ -glukany jsou polysacharidy lišící se v závislosti na zdroji, svou strukturou, tj. typem vazeb, délkou a větvením postranních řetězců. Struktura ovesných  $\beta$ -glukanů je lineární a nevětvená. Ovesné  $\beta$ -glukany jsou převážně složeny z 1,4 a 1,3  $\beta$ -D-glukopyranózových jednotek, jak je znázorněno na obrázku 3. Konkrétní procentuální zastoupení formy 1,4  $\beta$ -D-glukopyranózy je 70 % a 1,3  $\beta$ -D-glukopyranózy je 30 % (Yu et al. 2012).



Obrázek 3: Chemická struktura vazby  $\beta$ -glukanů 1 $\rightarrow$ 3 a 1 $\rightarrow$ 4 (Gangopadhyay et al. 2015).

### 3.1.4.3 Bílkoviny

Bílkoviny patří mezi nejvariabilnější makronutrienty obilných zrn. Variabilita obsahu bílkovin v obilovinách není ovlivněna pouze kultivarem, ale i zeměpisnou polohou a druhem aplikovaného pěstebního systému. Například obsah bílkovin v ovsu pěstovaném v konvenčním zemědělství, kde bývá půda obvykle obohacována o dusíkaté látky, je vyšší, a to z důvodu vyšší dostupnosti dusíkatých látek pro tvorbu bílkovin a sloučenin obsahující dusík (Zuchowski et al. 2011). Obecně se ale obsah bílkovin v obilovinách pohybuje v rozmezí 6-15 %, přičemž nejbohatším zdrojem je právě oves. Obilné bílkoviny lze rozdělit do několika frakcí, konkrétně se jedná o albuminy, globuliny, prolaminy a gluteliny. Albuminy a globuliny patří mezi protoplazmatické bílkoviny, přičemž mají odlišné vlastnosti týkající se rozpustnosti. Albuminy jsou rozpustné ve vodě a globuliny v roztocích solí (Bulková 2011). Protoplazmatické bílkoviny mají příznivou skladbu aminokyselin, nicméně jejich obsah v obilovinách je nízký, avšak v zrně ovsa tvoří globuliny až 80 % bílkovin. Prolaminy tvoří přibližně 15 % celkového obsahu bílkovin. Konkrétní zastoupení bílkovinných frakcí je znázorněno v tabulce 5. Globuliny mají velmi příznivé složení esenciálních aminokyselin. Prolaminy a gluteliny patří mezi zásobní

bílkoviny a jsou nazývány lepkovou frakcí. Prolaminy které úzce souvisí s celiakií, jsou rozpustné v roztoku 70% ethanolu a jsou bohaté na aminokyseliny prolin a glutamovou kyselinu (Jalima et al. 2015).

Tabulka 5: Bílkovinné frakce ovesného zrna (Špaldon et al.1986; Punia et al. 2021).

Bílkovinné frakce	Zastoupení v %
Globuliny	75-80
Albuminy	1-12
Prolaminy	10-15
Gluteniny	4-6

Spektrum aminokyselin nacházejících se v ovsu je velmi široké. Některé aminokyseliny jsou zastoupeny ve velmi nízkém množství, kdy se konkrétně jedná o esenciální aminokyseliny. Konkrétní hodnoty obsahu esenciálních a neesenciálních aminokyselin napříč jednotlivými druhy obilovin jsou znázorněny v tabulce 6 (Velíšek & Hajšlová 2009).

Tabulka 6: Porovnání složení aminokyselin v zrně ovsa, žita, tritikale, pšenice a ječmene (Webster 2011).

Aminokyseliny (% bílkovin)	Oves	Žito	Tritikale	Pšenice	Ječmen
<b>Esenciální</b>					
Fenylalanin	5,4	5,0	4,9	4,6	5,2
Histidin	2,4	2,4	2,4	2,0	2,1
Izoleucin	4,2	3,7	3,5	3,0	3,6
Leucin	7,5	6,4	7,2	6,3	6,6
Lyzin	4,2	3,5	3,4	2,3	3,5
Methionin	2,3	1,6	1,3	1,2	2,2
Threonin	3,3	3,1	3,6	2,4	3,2
Tryptofan	1,4	0,8	1,2	1,5	1,5
Valin	5,8	4,9	4,5	3,6	5,0
<b>Neesenciální</b>					
Aspartamová kyselina	9,2	6,7	6,0	4,7	6,0
Glutamová kyselina	21,6	24,7	30,7	30,3	25,5
Alanin	5,1	2,4	3,7	3,1	2,1
Arginin	6,4	5,9	5,1	4,0	4,6
Cystein	1,7	2,0	2,1	2,8	1,8
Glycin	5,1	4,0	4,3	3,8	3,9
Prolin	5,7	9,1	9,1	10,1	11,6
Serin	4,0	4,1	4,5	4,2	3,8
Tyrosin	2,6	2,6	2,9	3,7	2,8

Nutriční kvalita ovesných zrn je na rozdíl od nutričního složení posuzována na základě schopnosti potravinu uspokojit nutriční požadavky člověka. Nutriční kvalita ova může být ovlivněna různými faktory, jako je například stravitelnost nebo dostupnost daných nutrientů. Nutriční složení může být v podstatě změněno daným způsobem zpracování obilovin. V případě, že je obilné zrno zpracováváno včetně obalových vrstev, vznikne produkt s vysokým obsahem vlákniny, minerálních látek a vitaminů. Významné rozdíly v zastoupení nutrientů obilných produktů mohou vznikat v důsledku rozdílů v mletí zrn a dalšího zpracování (Webster 2011).

#### 3.1.4.4 Lipidy

Oves obsahuje širokou škálu účinných látek, například avenantramidy,  $\beta$ -glukany, vitaminy, saponiny a další antioxidanty, ale také lipidy obsahující nenasycené mastné kyseliny. Oves je v porovnání s ostatními obilnými zrny obilovinou, která obsahuje nejvyšší množství lipidů. Obsah lipidů na rozdíl od obsahu bílkovin není natolik ovlivněn vnějšími vlivy ani zastoupením ostatních nutrientů, ale je ve velké míře závislý na dědičnosti (Prugar et al. 2008). Obsah lipidů v zrnu ova je v rozmezí 5-11 %, z toho je přibližně 70-90 % acylglycerolů, 5-26 % fosfolipidů, 3-5 % volných mastných kyselin. Ovesná zrna mají nejvyšší schopnost akumulovat množství oleje v endospermu na rozdíl od ostatních obilovin, které lipidy akumulují především v klíčku (Halima et al. 2015).

Mastné kyseliny v ovsu jsou hojně zastoupeny, avšak nejčastějšími třemi druhy, které tvoří až 95 % všech mastných kyselin, jsou palmitová, olejová a linolová kyselina. Dalšími mastnými kyselinami jsou stearová, linolenová, myristová a eikosaenová kyselina (Halima et al. 2015). Dle Prugar et al. (2008) je zastoupení mastných kyselin v lipidech v zrnu ova nahého a pluchatého odlišný. Konkrétní koncentrace jednotlivých mastných kyselin jsou znázorněny v tabulce 7.

Tabulka 7: Obsah mastných kyselin v lipidech v zrnech ova nahého a ova pluchatého (Prugar et al. 2008).

% zastoupení mastných kyselin	Oves nahý	Oves pluchatý
Palmitová kyselina	16,4	16,7
Stearová kyselina	1,10	0,07
Olejová kyselina	39,8	38,6
Linolová kyselina	40,0	41,4
Linolenová kyselina	1,40	1,50
Eikosaenová kyselina	0,70	0,80

Vyšší obsah tuku v ovsu zvyšuje výživovou hodnotu ovesných produktů, nicméně jejich nízká stabilita způsobuje změny senzorických vlastností, konkrétně hořknutí. Tyto nežádoucí změny

jsou zapříčiněny enzymatickými a neenzymatickými reakcemi, jejichž působení je závislé na vlhkosti, teplotě prostředí a přítomnosti kyslíku, popřípadě těžkých kovů (Prugar et al. 2008).

### 3.1.5 Mikronutrienty obsažené v zru

Mikronutrienty jsou látky, které lidský organismus potřebuje získávat v mnohem menší míře než makronutrienty, jako sacharidy, bílkoviny a tuky. Mezi mikronutrienty se řadí minerální látky, vitaminy a biologicky aktivní látky, jež se v obilovinách vyskytují v řádu miligramů a mikrogramů na 100 g (Webster 2011).

#### 3.1.5.1 Minerální látky

Minerální látky označujeme souhrnně jako popeloviny, které vznikají jako anorganický zbytek po spálení rostlinné biomasy. Koncentrace popelovin se v celých zrnech obilnin pohybuje v rozmezí přibližně 1,25-2,5 %, přičemž nejvyšší obsah minerálních látek se vyskytuje v obalových vrstvách a naopak nejnižší v endospermu. Obsah popela v obilných produktech se zvyšuje na základě stupně vymletí, tj. se zvětšujícím se podílem obalových vrstev zrna v mouce. Oves patří mezi obiloviny s vyšším obsahem minerálních látek. Zastoupení jednotlivých minerálních látek je znázorněno v tabulce 8 (Webster 2011).

Tabulka 8: Zastoupení minerálních látek v ovesném zru (Webster 2011).

Minerální látka	Obsah v mg/100 g
Draslík	389
Fosfor	459
Hořčík	145
Vápník	54
Sodík	9
Železo	4,3
Zinek	3,4
Mangan	4,1
Měď	0,44

#### 3.1.5.2 Vitaminy

Vitaminy jsou velice variabilní látky, co se týká chemické struktury i fyziologických účinků. Vitaminy jsou důležité sloučeniny, které jsou nezbytné pro správný chod metabolických procesů v organismu. Jedná se převážně o látky, které ve většině případů nedokáže lidský organismus syntetizovat, a pokud dokáže, tak pouze v omezené míře. Vitaminy jsou tedy esenciální složkou lidské výživy. Nedostatečný příjem vitaminů může vést k širokému spektru zdravotních potíží, například nedostatečný příjem kyseliny listové a vitamínu E může zvyšovat riziko chronických obtíží, jako jsou srdeční onemocnění nebo nádorová onemocnění (Fairfield & Fletcher 2002).

Vitaminy jsou děleny na dvě skupiny na základě rozpustnosti ve vodě nebo v tuku. Do skupiny v tuku rozpustných vitaminů jsou řazeny vitaminy A, D, E, K. V obilovinách se nachází nízká koncentrace vitaminu K. Vitamin E, tj. tokoxy, mezi které jsou řazeny tokoferoly a tokotrienoly, se v obilovinách vyskytují. Hlavní funkce vitaminu E spočívá v jeho antioxidační aktivitě, kdy zmírňuje oxidační poškození lipidů. Mezi ve vodě rozpustné vitaminy je řazen vitamin C a vitaminy skupiny B. Mezi vitaminy skupiny B vyskytující se v zrně ovesa patří thiamin (B1), riboflavin (B2), niacin (B3), pyridoxin (B6), pantotenová kyselina (B5), listová kyselina (B9). Vitaminy skupiny B jsou kofaktory enzymů, které se podílí na výrobě energie, aminokyselin a na metabolismu methylových skupin. Vitamin B3 je také z hlediska stravy esenciální, nicméně může být syntetizován v játrech z výchozích látek tryptofanu, při čemž pro syntézu 1 mg niacinu je zapotřebí 60 mg této aminokyseliny. Obsah jednotlivých vitaminů v ovesném zrně je znázorněn v tabulce 9 (Webster 2011).

Tabulka 9: Zastoupení vitaminů v ovesném zrně (Webster 2011).

Vitamin	Obsah v mg/100 g
Vitamin E	1,20
Thiamin	0,73
Riboflavin	0,13
Niacin	0,88
Pyridoxin	0,22
Pantotenová kyselina	1,23
Listová kyselina	0,05
Biotin	0,02
Cholin	40,0

## 3.2 Oves v prevenci neinfekčních chorob

Láky obsažené v ovsu vykazují preventivní účinky proti neinfekčním chorobám, kterými je v současné době lidstvo zatěžováno. V posledních desetiletích jsou přírodní nebo průmyslově vyráběné produkty z ovesa ve velké míře považovány za zdroj vysoce hodnotných bioaktivních složek spojených s prospěšnými účinky na lidské zdraví (Redaelli et al. 2009; Meziani et al. 2021). Mezi preventivně působící látky je řazena vláknina, především ovesné  $\beta$ -glukany, antioxidanty, například ve formě fenolických látek a další (Wehrli et al. 2021).

### 3.2.1 Oxidační stres

Oxidačním stresem je označován stav, kdy se v organismu vyskytuje vysoká koncentrace volných radikálů a dochází tak k nerovnováze mezi tvorbou reaktivních forem kyslíku nebo dusíku a aktivitou přirozených antioxidačních obranných systémů organismu. Vznik volných radikálů probíhá tak, že u dané molekuly dochází k odštěpení elektronu z valenční vrstvy a poté k jeho následnému uvolnění. Mezi příklady takových radikálů, které mají význam pro živé organismy, je řazen hydroxylový, superoxidový, peroxylový radikál a také radikál oxidu

dusnatého. Tyto volné reaktivní formy prvků nebo sloučenin vznikají jak přirozeně, tak nepřirozeně (Beta & Duodu 2016). Přirozená cesta vzniku volných radikálových forem spočívá v neenzymatických reakcích, tj. reakce kyslíku s organickými sloučeninami například během procesů v dýchacím řetězci, který probíhá v mitochondriích. Za endogenní produkci volných radikálů je považován například zánětlivý stav nebo nadměrná fyzická zátěž. Druhým způsobem, jak může dojít ke zvýšení koncentrace volných radikálů v těle, je expozice znečištěným prostředím nebo expozice UV zářením. Zdrojem těchto radikálů mohou být průmyslové polutanty, ale i látky užívané záměrně. Nejčastěji se jedná o látky vyskytující se v cigaretovém kouři, jako je například chlór, dusitany, těžké kovy (Cd, Hg, Pb, Fe, As), některé léky, konkrétně imunosupresiva (cyklosporin, takrolimus) a další. Při vstupu těchto látek znečišťující prostředí do těla dochází k jejich odbourávání a metabolickému zpracování a vzniku vedlejších produktů, volných radikálů (Pizzino et al. 2017). Silný oxidační stres může způsobit poškození a smrt buněk, a tím zvýšit riziko vzniku různých lidských onemocnění, jako je například nádorové onemocnění, kardiovaskulární choroby, *diabetes mellitus 2* a šedý zákal (Beta & Duodu 2016).

Oves obsahuje široké spektrum látek s potenciálními antioxidačními účinky. Antioxidační účinek vykazují především avenanthramidy,  $\alpha$ -tokotrienoly,  $\alpha$ -tokoferoly. Dalšími antioxidačně působícími látkami jsou flavonoidy, saponiny, lignany, steroly a fenoly. Antioxidační účinky těchto látek spočívají zejména v pohlcování reaktivních kyslíkových a dusíkových radikálů (Andersson & Hellstrand 2012).

Cílem studie Ltaif et al. (2020) bylo vyhodnotit antioxidační kapacitu ovsu setého a potvrdit jeho protektivní účinky při nedostatku estrogenů u myší, u které byla provedena ovariektomie. V první řadě byly myším odstraněny oba vaječníky, aby byla zajištěna eliminace základního zdroje steroidních hormonů. Nedostatek těchto pohlavních hormonů, zejména estrogenu, vede k několika fyziologickým a morfologickým poruchám, které se vyskytují u žen po menopauze, konkrétně se jedná o zvýšení přírůstku hmotnosti a zvýšení oxidačního stresu v ledvinách. Bylo zjištěno, že u myší, kterým nebyla podávána ovesná suplementace, došlo k přírůstku hmotnosti, zvýšení hladiny močoviny v krevní plazmě, zvýšení relativní hmotnosti ledvin, hladiny plazmatického kreatininu, aktivity glutathionperoxidázy. U druhé skupiny myší díky suplementaci došlo ke snížení přírůstku hmotnosti. Závěr studie dokazuje i protektivní roli ovsu setého proti oxidačnímu poškození ledvin, jež bylo vyvoláno nedostatkem hormonů z důvodu odstranění obou vaječníků (Ltaif et al. 2020).

### **3.2.2 Antimikrobiální účinky**

Ovesné produkty vykazují mimo jiné antimikrobiální účinky díky obsahu  $\beta$ -glukanů a fenolických látek. Dle studie Havrlentová et al. (2020) extrakty ovesných  $\beta$ -glukanů vykazují významný antibakteriální účinek na *Escherichia coli* a *Bacillus subtilis* v koncentraci 0,36 mg/ml, avšak ne na kvasinky a bakterie rodu *Aspergillus niger*. Inhibiční zóna byla zvyšována se zvyšující se koncentrací ovesných  $\beta$ -glukanů, z čeho vyplývá, že jeho antibakteriální aktivita je závislá na dávce. Antimikrobiální mechanismus ovesného  $\beta$ -glukanu

Ize přičítat vstupu nízkomolekulárního  $\beta$ -D-glukanu skrze stěnu do buněk mikroorganismů, kde dochází k narušení buněčného metabolismu, což vede k lýze a následné smrti buněk. Podobně jako ovesný  $\beta$ -glukanový extrakt vykazoval i polyfenolový extrakt antibakteriální účinky na kvasinky a bakterii *Aspergillus niger*. Stejně tak jako u  $\beta$ -glukanů docházelo ke zvětšování inhibiční zóny se zvyšující se koncentrací extraktu. Obdobné účinky mají i flavonové extrakty, které působí bakteriostaticky na *Escherichia coli* při koncentraci 0,12 mg/ml a antibakteriálně na *Bacillus subtilis* při koncentraci 0,36 mg/ml (Tang et al. 2022).

### 3.2.3 *Diabetes mellitus*

Zrna obilnin obsahují mimo jiné i antidiabetické sloučeniny, jako je rezistentní škrob, vláknina, bílkoviny a další fytochemické složky, mimo jiné i fenolické sloučeniny. Látky obsažené v obilovinách mohou mít přímý dopad na metabolismus glukózy a inzulínu. Nepřímý, avšak prospěšný vliv mohou mít na kontrolu tělesné hmotnosti, podporu činnosti střevních mikroorganismů a metabolismus lipidů. Fenolické sloučeniny nacházející se v obilovinách mohou výrazně snižovat glykemický index obilných produktů. Klíčové vlivy zpracování obilovin na glykemickou odezvu souvisejí s procesem želatinizace, retrogradace a se strukturou škrobu, jejich vzájemnými interakcemi nebo interakcemi s jinými sloučeninami. Želatinizace škrobu a narušení botanické struktury obilovin zpracováním vedou k produkci stravitelnějších potravin, k uvolnění fenolických látek s omezenou biologickou dostupností a ke změně složení vlákniny. Fenolické sloučeniny jsou schopné inhibovat trávení sacharidů. Kromě inhibice trávicího enzymu mohou fenolické sloučeniny interagovat se škrobem. Wu et al. (2020) uvádí, že se fenolické sloučeniny vážou jak na amyulózu, tak na lineární fragmenty amylopektinu, a dochází tak ke snížení stravitelnosti škrobu. Kromě toho fenolické sloučeniny, jako je katechin, naringenin, apigenin, luteolin, ferulová kyselina a třísloviny, vykazují inhibiční absorbce glukózy ze střeva. Fenolické kyseliny a antokyany mohou navíc zvýšit citlivost buněk na inzulín (Wu et al. 2020).

Wehrli et al. (2021) uvádí meta-analýzu zabývající se souvislostmi mezi konzumací ovesných produktů a incidencí *diabetes mellitus 2* (DM2). Bylo zjištěno, že vyšší spotřeba ovesa, konkrétně konzumace více než 5,7 g/den je spojena s nižším rizikem vzniku onemocnění DM2 ve srovnání s nižším příjmem, a to méně než 1,3 g/den (Wehrli et al. 2021).

### 3.2.4 *Celiakie*

Celiakie je chronické onemocnění, které se rozvíjí u jedinců s genetickými predispozicemi a spočívá v autoimunitní reakci, která se projevuje zánětlivými změnami na slizniční stěně tenkého střeva. Onemocnění je spojeno s přítomností vysoce specifických protilátek, které iniciují zánětlivou reakci ve střevech. Mimo tyto zánětlivé změny dochází i k systémovým příznakům, jako jsou například akutní bolesti břišní dutiny, zažívací potíže, plynatost, nechutenství, zvracení a další. Hlavním spouštěčem těchto reakcí jsou prolaminy, které se vyskytují především v pšenici (gliadin), žitu (hordein) a ječmeni (sekalin) (Latta 2012).



Ovesné prolaminy (aveniny) neobsahují žádné známé epitopy celiakie z prolaminů pšenice, ječmene ani žita. Epitopy jsou antigenní determinanty neboli konkrétní oblast antigenu, na kterou se vážou protilátky. Dlouhodobé potravinářské studie potvrzují bezpečnost ovsu pro pacienty s celiakií a pozitivní účinky ovesných výrobků v bezlepkové dietě. Tyto účinky jsou obecné a nezávislé na odrůdách ovsu. V některých státech mohou být ovesné výrobky prodávány jako bezlepkové za předpokladu, že případná kontaminace lepem je nižší než 20 mg/kg. Oves jako bezlepkový produkt může být prodáván v Evropské unii od roku 2009, ve Spojených státech amerických od roku 2013 a v Kanadě o dva roky později. Problém při zajištění zpracování ovsu na produkty může spočívat v zajištění čistoty v potravinářském provozu. Je nezbytné zamezit možné kontaminaci ovesných produktů jinými obilovinami, například pšenicí, ječmenem nebo žitem. Zavedení samostatného bezlepkového výrobního procesu ovsu vyžaduje pravidelnou kontrolu všech kroků v řetězci a plnění přísných podmínek (Smulders et al. 2018).

### 3.2.5 Hypercholesterolémie

Cholesterol je voskovitá steroidní látka, jež je nezbytnou součástí lidského organismu. Je nenahraditelnou látkou při tvorbě buněčných membrán, při syntéze žlučových kyselin, steroidních hormonů a vitamínu D. Zatímco koncentrace intracelulárního cholesterolu je přísně regulována, hladina cholesterolu v krevní plazmě souvisí se stravovacími návyky, genetickými predispozicemi nebo vlivy vnějšího okolí (Andersson & Hellstrand 2012).

Vysoká hladina cholesterolu v krvi je jedním z rizikových faktorů ischemické choroby srdeční, která je v současné době nejčastější příčinou úmrtí na celém světě. Normální hladina celkového cholesterolu v krvi nepřesahuje 5 mmol/l, za vyšší hladinu cholesterolu je považována koncentrace od 5,0 do 6,2 mmol/l a vyšší koncentrace než 6,2 mmol/l je považována za rizikovou. Kromě farmakologické léčby je také kladen důraz na změnu dietního režimu, který souvisí především s navýšením příjmu vlákniny. Butt et al. (2008) uvádí, že konzumace ovsu snižuje hladinu celkového a LDL cholesterolu v krevní plazmě, a to především díky obsahu  $\beta$ -glukanů, které jsou součástí rozpustné vlákniny (Butt et al. 2008).

Cholesterol je nepolární molekula a není možné ho odstranit pomocí ledvin, proto je zpracováván v játrech, kde dochází k ukládání, transportu a přeměně na žlučové kyseliny. Bylo navrženo několik mechanismů, jakým způsobem působí  $\beta$ -glukany na snižování plazmatického cholesterolu.  $\beta$ -glukany zvyšují exkreci žlučových kyselin a snižují tak hladinu cholesterolu v krevní plazmě. Zvýšená exkrece žlučových kyselin je dána zvýšeným navazováním přítomnými  $\beta$ -glukany. Hlavním mechanismem ovlivňující metabolickou dráhu žlučových kyselin je zvýšení viskozity obsahu tenkého střeva, kde dochází ke zpětnému vstřebávání cholesterolu přijatého potravou. Snížení zpětného vstřebávání žlučových kyselin způsobuje zvýšení jejich syntézy v játrech, zvýšení vychytávání LDL z krevního řečiště a následné snížení hladiny cholesterolu v krevní plazmě. Dalším mechanismem, který pozitivně působí na snižování hladiny cholesterolu je schopnost  $\beta$ -glukanů snižovat rychlost absorpce glukózy. Tento účinek má za následek nižší produkci inzulínu a sníženou syntézu cholesterolu v játrech.

Poslední mechanismus snižování plazmatického cholesterolu spočívá rovněž v inhibici syntézy jaterního cholesterolu. Tento proces je zprostředkován mastnými kyselinami s krátkým uhlíkatým řetězcem, konkrétně propionovou kyselinou, která vzniká bakteriální fermentací nestravitelné vlákniny (Andersson & Hellstrand 2012).

Studie McGeoch et al. (2013) prokázala, že lze vytvořit chutný dietní režim obohacený ovsem s využitím snadno dostupných produktů. Soudě podle údajů z váženého potravinového deníku byla *compliance* s ovesnou dietou vynikající. Navíc spotřeba ovsa překročila minimální cílovou hodnotu požadovanou pro tuto studii (60 g/den). Hlavní předností studie bylo, že dobrovolníci dodržovali testovací diety doma, a výsledky tak představovaly to, čeho lze dosáhnout v reálném životě (McGeoch et al. 2013). Výsledky studie Reyna-Villasmil et al. (2007) podpořily předchozí zprávy o tom, že strava obohacená o oves snižuje koncentraci celkového cholesterolu v plazmě. Například suplementace 6 g ovesných  $\beta$ -glukanů denně snížila celkový cholesterol (z 5,9 na 4,9 mmol/l, tj. o 17 %). Ovesná kaše obsahuje přibližně 3,6 g  $\beta$ -glukanů na 100 g, proto by příjem 6 g  $\beta$ -glukanů denně vyžadoval denní příjem 170 g ovesné kaše. Pro srovnání, ve studii Reyna-Villasmil et al. (2007) bylo dosaženo přibližně 109 g/den (rozmezí 42,2-233,2 g/den), což odpovídá dennímu příjmu přibližně 3,9 g  $\beta$ -glukanů (rozmezí 1,5-8,4 g/den). Toto menší množství denního příjmu  $\beta$ -glukanů vedlo k mírnějšímu poklesu celkového cholesterolu v plazmě, i když z nižší výchozí hodnoty (počáteční celkový cholesterol 5,0 mmol/l). Větší snížení, které bylo dříve zaznamenáno (Reyna-Villasmil et al. 2007), lze přičíst úbytku hmotnosti, zatímco současní účastníci si hmotnost udrželi. Tento fakt je velmi důležitý, protože bylo prokázáno, že úbytek hmotnosti je účinnou strategií snižování lipémie (Andersen et al. 1995).

### 3.2.6 Ateroskleróza

Ateroskleróza je zánětlivý proces způsobený především nadměrným množstvím oxidovaných LDL částic hromadících se v subendotelové vrstvě krevní cévy. Tyto částice zapříčiňují řadu procesů, například adhezi monocytů na endotelové vrstvě, jejich dozrávání v makrofágy a následnou syntézu pěnových buněk, v jejichž důsledku dochází ke snižování propustnosti stěny cévy a postupné tvorbě aterosklerotického plátu. Při neustále se zvyšující koncentraci poškozených LDL částic a následné infiltraci žírnými buňkami či makrofágy může docházet k prasknutí aterosklerotického plátu a k následné koagulaci krve za vzniku trombu, který může zapříčinit uzavření tepny (Andersson et al. 2010).

Andersson et al (2010) prokázal, že příjem ovesných produktů snižuje riziko vzniku aterosklerózy. Konkrétně u myší krmených ovesnými otrubami spolu s dietou s vysokým obsahem tuků, bylo zjištěno, že tento druh diety způsobil snížení rizika aterosklerotické léze o 70 % v sestupné aortě a o 40 % v oblouku aorty. Efekt snížení rizika aterosklerózy byl doprovázen snížením celkového a LDL cholesterolu v krevní plazmě, snížením zánětlivých markerů v krevní plazmě i ve stěně cév (Andersson et al. 2010).

### 3.2.7 Kardiovaskulární onemocnění

Kardiovaskulární onemocnění je dle World Health Organisation (WHO) nejčastější příčinou úmrtí v tzv. západní civilizaci. Ročně na kardiovaskulární choroby zemře přes 17,9 milionů lidí na celém světě. Mezi kardiovaskulární onemocnění je řazena ischemická choroba srdeční (*Angina pectoris*, infarkt myokardu), kardiomyopatie, hypertenze, cévní mozkové příhody, ischemická choroba cév dolních končetin, záněty žil a chronická žilní nedostatečnost (World Health Organisation).

Meta-analýza provedená Wehrim et al. (2021) neprokázala významnou souvislost mezi konzumací ovesných produktů jako kontinuální dietní expozicí a rizikem ischemické choroby srdeční, infarktu myokardu a cévní mozkové příhody.

### 3.2.8 Ischemická mozková příhoda

Některé fenolické kyseliny vykazují mimo jiné neuroprotektivní účinky. Konkrétně syringová kyselina vykazuje protektivní účinky vůči ischemické mozkové chorobě. Mozková ischemie je vyvolána nedostatkem krve v mozku a způsobuje smrt neuronů. Syringová kyselina může působit jako ochranný prostředek tím, že snižuje poškození neuronů způsobené mozkovou ischemií na modelu aortální okluze u potkanů. Biochemické studie ischemického poškození mozku potkanů, kterým byla intraperitoneálně podávána syringová kyselina v dávce 10 mg/kg, ukázaly, že došlo ke snížení oxidačního stresu a degeneraci neuronů (Tokmak et al. 2015).

### 3.2.9 Imunomodulační účinky

Imunomodulace je obecně definována jako změna stavu imunitního systému, která je vyvolána látkami, které imunitu potlačují nebo aktivují. Obvykle jsou využívány imunomodulátory se stimulačním účinkem působícím na narušené dílčí imunitní mechanismy tak, aby došlo k opětovnému obnovení rovnováhy vnitřního prostředí organismu. Princip imunomodulace  $\beta$ -glukany je stejný jako v případě jiných imunomodulačních látek. Stavební složky potenciálně patogenních organismů, například bakterií, kvasinek i hub, jsou lipopolysacharidy (endotoxiny), které se označují jako molekulární struktury vlastní patogenům, v anglickém jazyce Pathogen Associated Molecular Patterns (PAMPs). Mnohobuněčné organismy se za miliony let evoluce naučily tyto látky rozpoznávat jako cizí a potenciálně jako tělo ohrožující. V případě, že dojde k narušení integrity a průniku nízkomolekulárního  $\beta$ -glukanu do vnitřního prostředí organismu, okamžitě nastane proces likvidace pomocí obranných mechanismů. Schopnost rozpoznat  $\beta$ -glukany jako cizorodé látky je zakódována u všech mnohobuněčných organismů, tj. od bezobratlých po člověka (Iwanaga & Lee 2005; Soltanian et al. 2009; Kawabata & Muta 2010). V organismu obratlovců jsou PAMPs rozpoznávány díky receptorům nacházejících se na povrchu efektorových buněk přirozené imunity, mezi které jsou řazeny makrofágy, monocyty, leukocyty a dendritické buňky, které se nazývají jako receptory rozpoznávající struktury, v anglickém jazyce Pattern Recognition Receptors (RRR). Příkladem receptoru rozpoznávajícího  $\beta$ -glukany je receptor pro třetí složku komplementu (CR3) (Muto et al. 1993). Právě tento receptor považován za

nejdůležitější v rozpoznávání  $\beta$ -glukanů a následném zahájení obranné reakce proti nim. V případě, že dojde k vytvoření vazby  $\beta$ -glukanu na CR3 receptor, dojde k následné stimulaci složek nespecifické imunity a k aktivaci činnosti makrofágů. Dochází ke stimulaci fagocytózy a k produkci regulačních cytokinů a interferonů. Aktivace fagocytózy je významná nejen pro eliminaci virů, bakterií a protozoálních parazitů, ale také pro odstranění neorganických potenciálně toxických xenobiotik. V důsledku zvýšené produkce cytokinů regulujících diferenciaci imunokompetentních buněk, dochází k zesílení cytotoxické a protilátkové složky imunity. Tento proces může být příčinou zvýšení celkové pohotovosti a účinnosti protinádorové a antiinfekční imunity (Huang et al. 2012; Bencko et al. 2016). Imunomodulační účinnost  $\beta$ -glukanů se zvyšuje se vzrůstající molekulovou hmotností, která dosahuje až 10 000 kDa, a také mírou rozvětvení díky postranním řetězcům. Mezi  $\beta$ -glukany s nejsilnějšími imunomodulačními účinky jsou řazeny  $\beta$ -1,3-glukany s větvením, které vychází z prvního a šestého uhlíku (Novak & Vetvicka 2008).

### 3.3 Fenolické látky

Fenolické látky jsou spolu s alkaloidy a isoprenoidy řazeny k sekundárním metabolitům rostlin. Primární metabolismus rostlin slouží k biosyntéze a přeměně základních látek nezbytných pro život rostliny, tj. slouží k biosyntéze a přeměně sacharidů, tuků, bílkovin a nukleových kyselin. Metabolické dráhy primárního metabolismu jsou napříč druhy rostlin obdobné. Při přeměně primárních metabolitů vznikají metabolity sekundární. Proces vzniku sekundárních metabolitů je typický pro určitý druh rostliny, tj. sekundární metabolismus je taxonomickým znakem. Sekundární metabolity se přímo nepodílí na růstu a rozmnožování rostliny, avšak mohou být pro rostlinu přínosné jako látky pesticidní, jako je tomu tak v případě kopretiny starčkolisté, která produkuje pyrethrin – insekticid. Sekundární metabolity mohou být z rostlin vylučovány jako odpadní látky vzniklé z primárních metabolitů nebo přijatých látek (Luštinec & Társký 2005). Fenolické sloučeniny tvoří nejširší spektrum antioxidantů, které člověk přijímá v potravě. Celkem bylo objeveno více než sto tisíc sloučenin, které byly zařazeny do této skupiny (Bärlocher et al. 2007). Fenolické látky jsou absorbovány lidským organismem a jejich antioxidační aktivita může snižovat riziko vzniku ischemické choroby srdeční, nádorových onemocnění anebo zpomalovat proces stárnutí. Fenolické látky jsou složené z aromatického kruhu, na který je navázána jedna nebo více hydroxylových skupin. Mezi fenolické látky jsou řazeny látky od jednoduchých fenolických molekul až po molekuly složitější, vysoce polymerované. Většina přirozeně se vyskytujících fenolických látek se nachází ve formě konjugátů s monosacharidy a polysacharidy spojených s jednou nebo více fenolickými skupinami a zároveň se mohou vyskytovat ve formě funkčních derivátů, esterů a methylesterů. Skrze širokou strukturní různorodost fenolických sloučenin vyskytujících se v přírodě je lze rozdělit na skupiny flavonoidů, fenolických kyselin, taninů, stilbenů a lignanů. Flavonoidy lze dále rozdělit na antokyany, flavony, isoflavony, flavavony, flavonoly a flavanoly. Taniny jsou látky s poměrně vysokou molekulovou hmotností (500-3000 g/mol) a mohou být dále rozdělovány na hydrolyzovatelné a kondenzované taniny. Nejrozšířenějším stilbenem je

resveratrol, který se převážně nachází ve formě glykosylovaného *trans* izomeru (Munné-Bosch 2012).

Přírodní fenolické látky jsou akumulovány v odlišných rostlinných pletivech a buňkách během ontogeneze. Fenylypropanoidy a flavonoidy jsou obvykle akumulovány v centrální vakuole, epidermálních a subepidermálních buňkách listů a kořenů. Fenylypropanoidy jsou skupina organických látek, které jsou produkty sekundárního metabolismu rostlin a jsou syntetizovány z aminokyselin fenylalaninu a tyrosinu. Do této skupiny sekundárních metabolitů jsou řazeny mimo jiné fenolické kyseliny (Munné-Bosch 2012). Fenolické látky zastávají podstatnou roli v růstu, rozmnožování rostlin a při jejich ochraně před herbivory a patogeny. U ovoce a zeleniny ovlivňují zbarvení a sensorické vlastnosti (Balasundram et al. 2006). U některých fenolických látek byla prokázána kovalentní vazba na složky buněčné stěny, jiné se vyskytují ve formě vosků na vnějším povrchu rostlinných orgánů. Rostlinná buněčná stěna je mimo celulózy složena ze dvou skupin fenolických látek. První skupinou je lignin, polymer vzniklý z monolignolových jednotek. Druhou skupinou jsou látky s nižší molekulární hmotností, a to hydroxyskořicové kyseliny, jež jsou vázány na rozličné části buněčné stěny, kde tvoří síť. Rozdělení fenolických látek do jednotlivých tříd je znázorněno v tabulce 10 (Munné-Bosch 2012).

Tabulka 10: Rozdělení fenolických látek do tříd (Balasundram et al. 2006).

Třída	Struktura
Jednoduché fenoly, benzochinony	C <sub>6</sub>
Hydroxybenzoové kyseliny	C <sub>6</sub> -C <sub>1</sub>
Acetofenony, fenylactové kyseliny	C <sub>6</sub> -C <sub>2</sub>
Hydroxyskořicové kyseliny, fenylpropanoidy (kumariny, izokumariny, chromony, chromeny)	C <sub>6</sub> -C <sub>3</sub>
Naftochinony	C <sub>6</sub> -C <sub>4</sub>
Xantony	C <sub>6</sub> -C <sub>1</sub> -C <sub>6</sub>
Stilbeny, antrachinony	C <sub>6</sub> -C <sub>2</sub> -C <sub>6</sub>
Flavonoidy, izoflavonoidy	C <sub>6</sub> -C <sub>3</sub> -C <sub>6</sub>
Lignany, neolignany	(C <sub>6</sub> -C <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>
Bioflavonoidy	(C <sub>6</sub> -C <sub>3</sub> -C <sub>6</sub> ) <sub>2</sub>
Ligniny	(C <sub>6</sub> -C <sub>3</sub> ) <sub>n</sub>
Kondenzované taniny (proantokyanidiny, flavolany)	(C <sub>6</sub> -C <sub>3</sub> -C <sub>6</sub> ) <sub>n</sub>

Fenolické látky jsou díky své struktuře schopné tvořit relativně stabilní radikály, především díky interakcím mezi hydroxylovými skupinami a  $\pi$ -elektrony aromatického kruhu. Díky těmto vlastnostem působí fenolické látky jako antioxidanty a jsou začleňovány do oxidačních procesů, ke kterým dochází v důsledku působení reaktivních radikálů (Buchanan et al. 2000).

### 3.3.1 Biosyntéza fenolických látek

Syntéza fenolických látek probíhá několika různými způsoby. Při využití šikimátové metabolické dráhy vycházející z produktů vznikajících při syntéze sacharidů, dochází k produkci sloučenin substituovaných hydroxylovými skupinami v polohách *ortho*- a *para*- na benzenovém jádře. Další variantou biosyntézy fenolických látek je polyketidová dráha, tj. acetogeninová dráha, kdy dochází ke kondenzaci kyseliny octové, popřípadě kyseliny propionové, a následně syntéze poly- $\beta$ -ketonického řetězce. Polyketidová metabolická dráha je rostlinou uplatňována při syntéze látek, které jsou substituované v poloze *meta*- na

benzenovém kruhu. Při biosyntéze fenolických látek o vyšší molekulové hmotnosti dochází ke kombinaci těchto dvou metabolických drah (Macholán 1998).

#### 3.3.1.1 Šikimátová metabolická dráha

Šikimátová metabolická dráha je biosyntetický mechanismus, který byl zjištěn, jak u mikroorganismů, tak u vyšších rostlin. Název této biosyntézy je odvozen od vznikajícího meziproductu – šikimové kyseliny (Hess 1983; Ryan et al. 2001). V první fázi biosyntézy kondenzují molekuly fosfoenolpyruvátu a D-erytroza-4-fosfátu a dochází ke vzniku sloučeniny se sedmi atomy uhlíku. Tato sedmiuhlíkatá molekula podléhá cyklizaci a vzniká tak 5-dehydrochinová kyselina. Dalším vznikajícím meziproductem je 5-dehydrošikimová kyselina, a posléze šikimová a 5-fosfošikimová kyselina. Během dalších fází procesu dochází k produkci chorismové kyseliny, přičemž také dochází k rozdělení šikimátové dráhy do dvou větví. Konečnými produkty obou metabolických větví jsou aminokyseliny s aromatickým jádrem. V první větvi vzniká tryptofan a v druhé tyrosin s fenylalaninem. Fenylalanin podléhá deaminaci za vzniku skořicové kyseliny a z tyrosinu vzniká *p*-kumarová kyselina (Hess 1983; Aversch & Krömer 2018).

#### 3.3.1.2 Polyketidová metabolická dráha

Polyketidová dráha vychází z acetyl-CoA, jehož molekuly jsou kondenzovány prostřednictvím malonyl-CoA, a to podobným způsobem, který je popsán u syntézy mastných kyselin. Podstatou této metabolické dráhy je řetězení dvouuhlíkatých molekul (octové kyseliny) v přítomnosti multienzymového komplexu za produkce poly- $\beta$ -ketonického řetězce, který je vázán na pantothenové raménko. U polyketidové metabolické dráhy nedochází k redukci ketoskupiny, jako tomu je u syntézy mastných kyselin. Polyketoacylový meziproduct je dále modifikován prostřednictvím alkylace a cyklizace. Poslední fází dráhy je sekundární modifikace do podoby primárních sloučenin. Vzniklý řetězec obsahuje dvojně vazby, postranní řetězce, například karbonylové a hydroxylové skupiny (Macholán 1998; Croteau et al. 2000).

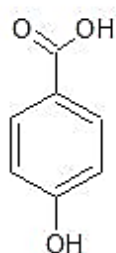
### 3.3.2 Fenolické kyseliny

Fenolické kyseliny se skládají ze dvou podskupin, hydroxybenzoových a hydroxyskořicových kyselin. Mezi hydroxybenzoové kyseliny jsou řazeny *p*-hydroxybenzoová, gallová, protokatechová, vanilová a syringová kyselina, které vychází z totožné struktury vedlejšího uhlíkatého řetězce C6-C1 (obrázek 4) (Dykes & Rooney 2007). Fenolické kyseliny se vyskytují buď ve volné, konjugované nebo vázané formě. Mohou se vyskytovat v esterifikované formě, která je rozpustná, nebo ve formě nerozpustné, kdy jsou kyseliny vázané na složky buněčné stěny, například na polysacharidy, bílkoviny, lignin, kutin a suberin. Právě nerozpustným fenolickým látkám je připisován antioxidační účinek obilovin (Arranz & Calixto 2010).

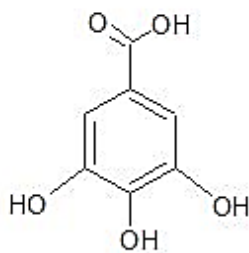
Fenolické kyseliny jsou nejobsáhlejší skupinou fenylpropanoidů vyskytujících se v obilovinách. Koncentrace kyselin v zrně je velice variabilní a je ovlivněna několika faktory, například druhem obiloviny, odrůdou, technologií pěstování, lokalitou apod. V obilovinách se nejvyšší

obsah fenolických kyselin nachází v endospermu. Naopak nejvyšší obsah biologicky aktivních látek je situován ve vnějších vrstvách zrna, jako je perikarp, aleuronová vrstva a zárodek. Nejčastěji se vyskytující derivát skořicové kyseliny je ferulová kyselina. Ferulová a *p*-kumarová kyselina jsou nejvíce koncentrovány v aleuronové vrstvě a oplodí. Obě tyto kyseliny tvoří síť ve spojení s polysacharidovými řetězci (Munné-Bosch 2012).

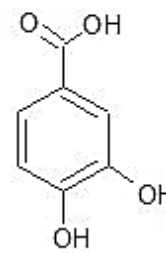
### 3.3.2.1 Deriváty hydroxybenzoové kyseliny



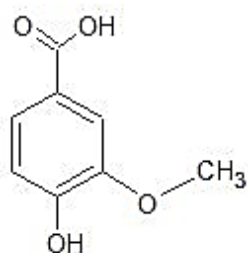
*p*-hydroxybenzoová kyselina



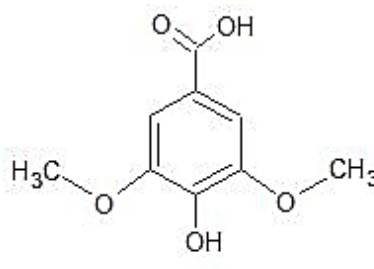
Gallová kyselina



Protokatechová kyselina



Vanilová kyselina



Syringová kyselina

Obrázek 4: Deriváty hydroxybenzoové kyseliny.

*p*-hydroxybenzoová kyselina se mimo obilné produkty nachází v lupině bílé, pivoňce keřovité, tolici vojtěšce, čočce jedlé a dalších. Studií Xu et al. (2021) bylo odhaleno, že *p*-hydroxybenzoová kyselina je metabolitem *p*-hydroxybenzaldehydu, který působí proti kolitidě, tj. chronickému onemocnění střevní sliznice, inhibicí zánětu (Xu et al. 2021).

Gallová kyselina je považována za jednu z hlavních fenolických kyselin, která má velký význam pro tvorbu tzv. galotaninů neboli hydrolyzovatelných tříslovin, které jsou tvořeny molekulou sacharidu a různým počtem molekul fenolové kyseliny. Tyto sloučeniny se vyskytují napříč různými čeleděmi rostlinné říše, ale i v různých rodech hub. Gallová kyselina v rostlinách byla poprvé identifikována v roce 1786 Carlem Wilhelmem Scheelem. Další farmakologické aktivity popsané v literatuře jsou mimo jiné antikancerogenní, antiulcerogenní, protizánětlivé, antimikrobiální a antimykotické (Fernandes & Salgado 2016). V poslední době byly publikovány studie Liu et al. (2013) a Jayamani & Shanmugam (2014), které se věnovaly protektivnímu účinku gallové kyseliny před vznikem amyloidních plaků, které jsou považovány za počáteční



krok při Alzheimerově chorobě. Kromě toho, že je gallová kyselina využívána pro své léčebné vlastnosti, je využívána i v dalších oblastech. Poprvé byla použita jako chelatační činidlo v kožedělném průmyslu (Costa et al. 2013). Gallová kyselina je dále používána pro syntézu antimikrobiálního činidla a také jako konzervační látka přidávána do potravin a nápojů, a to především kvůli schopnosti vázat volné radikály (Bajpai & Patil 2008).

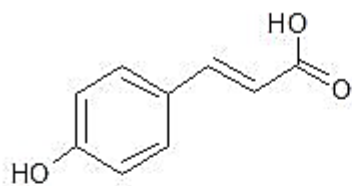
Protokatechová kyselina je široce rozšířená přírodní fenolová sloučenina, která vykazuje farmakologické účinky. Tato fenolická kyselina má pozitivní účinky na lidský organismus, a to především díky svým antioxidačním, protizánětlivým, neuroprotektivním, antikancerogenním, antibakteriálním, antidiabetickým a antiapoptotickým vlastnostem (Semaming et al. 2015; Krzysztoforska et al. 2019). Protokatechová kyselina může být také cenná v prevenci a léčbě nádorových onemocnění, *diabetu mellitu*, Alzheimerovy choroby, aterosklerózy a dalších onemocnění (Masella et al. 2012). Pozoruhodné je, že tato fenolová kyselina může hrát dvojí roli v regulaci mnoha farmakologických aktivitách. Může například působit jako antioxidant i oxidant a může stimulovat jak buněčnou apoptózu, tak proliferaci. Rozdíl v těchto aktivitách spočívá v dávce látky. Použitá dávka hraje rozhodující roli ve farmakologickém působení a bezpečnosti protokatechové kyseliny (Song et al. 2020).

Vanilová kyselina je přirozeně se vyskytující aromatická kyselina, která je obvykle používána jako přídatná látka v potravinářském průmyslu především díky vlastnostem zamezení oxidace lipidů. Vanilová kyselina se vyznačuje antioxidačními, antimikrobiálními, protizánětlivými, hepatoprotektivními účinky (Bezerra et al. 2016). Dle Bezerra et al. (2016) může strava bohatá na vanilovou kyselinu snížit výskyt volných radikálů a riziko rakovinného bujení.

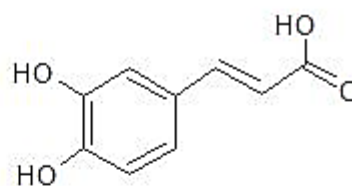
Syringová kyselina je přirozeně se vyskytující fenolická sloučenina pocházející z jedlých rostlin a plodů. Syringová kyselina je obsažena v prosu setém, révě vinné, olivovníku evropském, plodech ořešáku královského, ředkvi seté, tykvi obecné, v medu a kořeni (Liu et al. 2003). Experimentální studie Frankova et al. (2014) naznačuje, že pomocí syringové kyseliny je možné kontrolovat růst bakterií *Cronobacter sakazakii*, oportunního patogenu, který se může vyskytovat v potravinářských výrobcích. Účinnost rostlinných extraktů byla vyhodnocena i z hlediska jejich ochranné role při ischemickém poškození mozku, a to na experimentálních zvířecích modelech, kdy byla potkanům intraperitoneálně podávána dávka syringové kyseliny o koncentraci 10 mg/kg jejich tělesné hmotnosti. Ukázalo se, že došlo ke snížení oxidačního stresu a degenerace neuronů (Srinivasulu et al. 2018).

#### 3.3.2.2 Deriváty hydroxyškořicové kyseliny

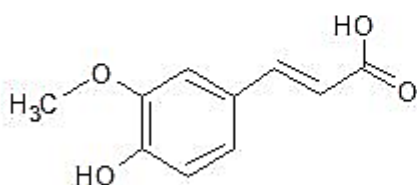
Hydroxyškořicová kyselina je aromatického charakteru, na níž je navázán tříuhlíkatý řetězec C6-C3. Mezi hydroxyškořicové kyseliny se řadí kávová, felurová, *p*-kumarová a sinapová kyselina (obrázek 5) (Dykes & Rooney 2007).



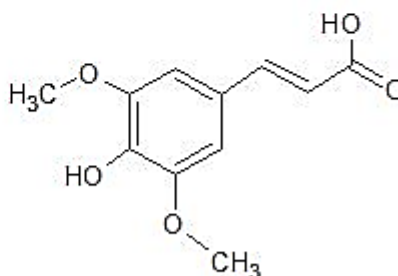
4-hydroxyskořicová kyselina  
= *p*-kumarová kyselina



Kávová kyselina



Ferulová kyselina



Sinapová kyselina

Obrázek 5: Deriváty hydroxyskořicové kyseliny.

Jedním z hlavních derivátů hydroxyskořicové kyseliny je *p*-kumarová kyselina (Boo 2019). Volná *p*-kumarová kyselina se v rostlinách vyskytuje v relativně nízkém množství a obsah této kyseliny u různých rostlinných zdrojů rozdílný. Významný obsah této látky se mimo jiné nachází v některých houbách, jako je lesklokorka leská nebo liška obecná. Konjugáty *p*-kumarové kyseliny vykazují vyšší výskyt a silnější biologickou aktivitu než kyseliny, které jsou volné (Pei et al. 2016). Chemická struktura *p*-kumarové kyseliny je velmi podobná struktuře L-tyrosinu, přirozeného substrátu tyrosinázy, která se podílí na buněčné melanogenezi v melanocytech. Tyrosináza je enzym patřící do skupiny oxidáz, který katalyzuje přeměnu tyrosinu na dopachinon, jenž je výchozí sloučeninou pro tvorbu melaninu v těle (Boo 2019). Ve studii An et al. (2010) bylo zjištěno, že *p*-kumarová kyselina je silný selektivní inhibitor lidské tyrosinázy. Její antimelanogenní účinky byly prokázány v různých experimentálních podmínkách včetně studiích na lidech (Seo et al. 2011). Výsledky klinických studií rovněž prokázaly účinnost *p*-kumarové kyseliny při tlumení zánětu vyvolaného UV zářením a následné pigmentace. Z těchto výsledků je usuzováno, že antimelanogenní účinky této kyseliny v kůži vystavené UV záření zahrnují více mechanismů, a to absorpci UV záření, inhibici nové syntézy tyrosinázy a inhibici katalytické aktivity již existující tyrosinázy (Boo 2019).

Kávová kyselina je dalším derivátem hydroxyskořicové kyseliny, který se nachází v lidské stravě, přičemž nejvyšší obsah se vyskytuje v ovoci, a to v borůvkách, kiwi, švestkách, třešních a jablkách, dále v obilovinách a zelenině, například v mrkvi, salátu, lilku, artyčoku, anebo v kávových zrnech. Kromě potravin je kávová kyselina přítomna i v propolisu,

pryskyřičné směsi, kterou včely vystvávají z různých rostlinných zdrojů a která je přírodním produktem používaným v lidovém léčitelství již po mnoho století. Mimo těchto účinků byly u kávové kyseliny a jejích derivátů prokázány vysoké potenciální účinky pro léčbu a prevenci kardiovaskulárních onemocnění. Kyselina a její deriváty působí na endotelové buňky a buňky hladkého svalstva cév a způsobuje vasodilataci (Silva & Lopes 2020). Kávová kyselina je rovněž silným antihypertenzivem s potvrzenými netoxickými projevy. *In vitro* studie Agunloye & Oboh (2018) odhalila, že kávová kyselina je schopna inhibovat klíčové enzymy, které jsou spojovány s hypertenzí (Agunloye & Oboh 2018).

Ferulová kyselina vykazuje mimo jiné i určitý ochranný účinek na ledviny a kardiovaskulární onemocnění. Ferulová kyselina navíc dokáže inhibovat agregaci krevních destiček a uvolňování látek podobných tromboxanu, a bránit tak trombóze (Li et al. 2021). Studie Hong et al. (2016) prokázala, že ferulová kyselina (při koncentraci v krevní plazmě 50-200  $\mu\text{M}$ ) snižuje produkci tromboxanu B2 aktivovaného různými agonisty, včetně trombinu, kolagenu, s výjimkou adenosindifosfátu, v závislosti na koncentraci. Gu et al (2017) uvádí, že ferulová kyselina v podání dávky o koncentraci 300  $\mu\text{g/ml}$  může snížit rychlost agregace destiček a kontraktilní aktivitu krevní sraženiny. Ferulová kyselina inhibuje syntézu cholesterolu v játrech a dochází tak ke snížení jeho hladiny v krvi. Ferulová kyselina je používána pro prevenci koronárních srdečních onemocnění a aterosklerózy (Li et al. 2021).

Sinapová kyselina podobně jako jiné deriváty fenolických kyselin mají nesčetné účinky při léčbě různých onemocnění, jako je například nádorové onemocnění, poruchy jater, *diabetes mellitus*, srdeční choroby, poruchy ledvin a mnoho dalších. Tato fenolická kyselina se vyskytuje převážně v obilovinách, koření, olejnatých semenech, zelenině, citrusovém ovoci a vinném octu (Pandi & Kalappan 2021). Studie Kim et al. (2018) zkoumala sinapovou kyselinu ve spojitosti s neuroprotektivními účinky na myším modelu Alzheimerovy choroby. Myším byla perorálně podávána dávka sinapové kyseliny (1, 3 a 10 mg/kg tělesné hmotnosti). Při podání dávky 10 mg/kg tělesné hmotnosti došlo ke zvrácení kognitivní dysfunkce (porucha kognitivních funkcí, pozornosti) (Kim et al. 2010; Pandi & Kalappan 2021).

## 4 Metodika

### 4.1 Kultivary ovsa

Byl vybrán soubor celkem pěti odrůd ovsa českého původu, z toho čtyři odrůdy byly pluchaté (Korok, Kertag, Raven, Seldon) a jedna odrůda byl oves nahý (Patrik).

Korok je středně raná odrůda ovsa setého, která je vhodná pro využití, jak v potravinářském průmyslu, tak pro výrobu krmiv. Rostlina odrůdy Korok je středně vysoká, její zrno dosahuje středně velkých rozměrů, avšak výtěžnost čistých obilek je velmi nízká. Zrna jsou poměrně pluchatá, přičemž pluchy nabývají žluté barvy. Celková výtěžnost ovesné rýže je poměrně nízká. Jedná se o odrůdu ovsa, která je velmi odolná vůči rzi ovesné, avšak rizikem může být nízká odolnost vůči poléhání. Registrace této odrůdy proběhla v roce 2011 (ÚKZÚZ 2015; Kouřimská et al. 2018).

Kertag stejně jako Korok je středně raná odrůda ovsa setého, která je využívána převážně pro krmné účely. Stavba rostliny, velikost zrna a vzhled pluch jsou velice obdobné s odrůdou Korok. Kertag je vyznačován velmi dobrou odolností vůči rzi ovesné a také stabilním výnosem. Odrůda ovsa Kertag byla registrována v roce 2012 (ÚKZÚZ 2015; Kouřimská et al. 2018).

Raven je odrůda s větším zrnem, které zároveň nabývá nejvyšší objemové hmotnosti oproti zbylým odrůdám. Tato odrůda je velmi odolná vůči poléhání. Registrace této odrůdy proběhla v roce 2008 (Kouřimská et al. 2018).

Seldon je ranější, pluchatá odrůda, která je charakteristická vysokým výnosem zrna. Stéblo rostliny je vysoké přibližně 105 cm a středně odolné vůči poléhání (Katalog odrůd jaro 2019).

V případě nahé odrůdy Patrik se jedná o kultivar ovsa, který byl registrován v roce 2015. Odrůda Patrik je velmi odolná vůči poléhání a proti plísni šedé oproti ostatním kultivarům (Kouřimská et al. 2018).

### 4.2 Podmínky pěstování

Pokusné odrůdy byly vysety jednak na experimentálním pozemku České zemědělské univerzity (ČZU) v Praze-Uhřetěvesi a Jihočeské univerzity (JU) v Českých Budějovicích. Pokusy byly vedeny metodou znáhodněných bloků a ve třech opakováních. Velikost pokusných parcel byla přibližně 12 m<sup>2</sup>, jak v případě ekologického způsobu pěstování, tak v případě běžného konvenčního.

Pokusná stanice v Praze-Uhřetěvesi (295 m. n. m.) se na rozdíl od experimentálního pozemku v Českých Budějovicích (381 m. n. m.) nachází v nižší nadmořské výšce. Zeměpisné polohy obou experimentálních pracovišť jsou znázorněny na obrázku 6.



Obrázek 6: Mapa České republiky s vyznačenými pokusnými stanicemi v Praze-Uhřetěvesi a Českých Budějovicích (Mapy.cz 2022).

#### 4.2.1 Agrotechnika

##### 4.2.1.1 Praha-Uhřetěves

Na pokusném pozemku v Praze-Uhřetěvesi byl jako předplodina použit jetel nachový (*Trifolium incarnatum* L.) s výsevkem 5,0 MKS/ha (MKS = miliony klíčivých semen).

Ekologický systém:

- Setí – 31. 3. 2021
- Vlácení proti plevelům – 6. 5. a 2. 6. 2021
- Sklizeň – 3. 9. 2021

Konvenční systém:

- Setí – 1. 4. 2021
- Hnojení 60 kg N/ha (LAV 27) – 28. 5. 2021
- Aplikace herbicidů (Dicopur+Lontrel) – 2. 6. 2021
- Sklizeň – 3. 9. 2021

##### 4.2.1.2 České Budějovice

Na experimentálním pozemku byla jako předplodina vyseta luskoobilní směska při výsevku 5,0 MKS/ha.

Ekologický systém:

- Setí – 30. 3. 2021
- Vlácení proti plevelům – 15.5. 2021
- Sklizeň – 1. 9. 2021

Konvenční systém:

- Setí – 30. 3. 2021
- Hnojení 60 kg/ha (LAV 27) – 17. 5. 2021
- Aplikace herbicidů (Mustang) – 30. 6. 2021
- Sklizeň – 1. 9. 2021

#### 4.2.2 Abiotické podmínky

Období během roku 2021 bylo ve znamení podprůměrných teplot v dubnu, květnu a srpnu a nadprůměrných teplot v červnu a červenci, a to na obou pokusných lokalitách – viz tabulka 11.

Tabulka 11: Teplotní podmínky v experimentálních lokalitách.

Měsíc	Praha-Uhřetěves			České Budějovice		
	Teplota vzduchu v °C			Teplota vzduchu v °C		
	Průměr	Dlouhodobý průměr	Rozdíl	Průměr	Dlouhodobý průměr	Rozdíl
Duben	6,3	8,2	-1,9	7,1	8,1	-1,0
Květen	11,3	13,4	-2,1	11,4	12,0	-0,6
Červen	18,9	16,3	2,6	19,7	16,2	3,5
Červenec	19,4	18,2	1,2	19,5	17,7	1,8
Srpen	17,0	17,5	-0,5	16,9	17,1	-0,2

Co se týká srážek, v dubnu bylo srážkové období na obou lokalitách podprůměrné, v květnu a červnu srážkový úhrn nejsilnější, konkrétně v Praze-Uhřetěvsi byl květnový průměr vysoko nad dlouhodobým průměrem. V červenci byl zaznamenán srážkový úhrn v Praze-Uhřetěvsi nad dlouhodobým průměrem, a naopak v Českých Budějovicích byl mírně podprůměrný. Během srpna byly zaznamenány nadprůměrné srážky – viz tabulka 12. Srpnové časté srážky a nižší teploty komplikovaly sklizeň, která musela být posunuta až na začátek září.

Tabulka 12: Srážkové podmínky v experimentálních lokalitách.

Měsíc	Praha-Uhřetěves			České Budějovice		
	Srážky v mm			Srážky v mm		
	Suma	Dlouhodobý průměr	Rozdíl	Suma	Dlouhodobý průměr	Rozdíl
Duben	19,3	46,1	-26,8	21,6	46,5	-24,9
Květen	99,5	65,2	34,3	89,4	70,1	19,3
Červen	83,1	74,0	9,1	79,6	93,0	-13,4
Červenec	82,1	74,3	7,8	72,0	77,8	-5,8
Srpen	99,8	72,4	27,4	93,8	78,8	15,0

### 4.3 Příprava vzorků

Před samotným zpracováním ovesných zrn byly pluchaté odrůdy po sklizni oloupany. Získané vzorky ovesa byly připraveny k následným analýzám mletím v laboratorním nožovém mlýnku. Zrna byla semleta na jemnou moučku, kterou bylo nezbytné před navážením vzorku homogenizovat, aby došlo ke sjednocení veškerého obsahu. Ovesný šrot byl sušen při 105 °C po dobu 24 hodin a bylo tak stanoveno množství sušiny.

### 4.4 Analýza – celkový obsah fenolických kyselin (TPA)

Měření celkového obsahu fenolických kyselin bylo provedeno dle metody izolace vázaných fenolických kyselin (Paznocht et al. 2020). Tato extrakční metoda je vhodná pro stanovení TPA v případě, že je aplikována na surový obilný materiál (obilnou moučku) bez předchozích kroků specifických pro jiné frakce fenolických kyselin, tj. pro volné a konjugované kyseliny. Výsledky byly vyjádřeny jako součet jednotlivých fenolických kyselin v µg na g sušiny.

#### 4.4.1 Izolace a analýza TPA

Obsah celkových fenolických kyselin, byl stanoven po alkalické hydrolyze vzorku. První krok spočíval v navážení 0,250 g zhomogenizované obilné moučky do plastových uzavíratelných kyvet, a to ve třech provedeních. Ke vzorkům bylo přidáno 14 ml 2M hydroxidu sodného a následně byly kyvety se vzorky zvortexovány a na dobu 10 minut vloženy do ultrazvukové lázně. Vzorky byly následně hydrolyzovány po dobu 1 hodiny na třepačce, při pokojové teplotě. Po alkalické hydrolyze bylo ke vzorkům přidáno 7 ml 4M kyseliny chlorovodíkové, kdy došlo k okyselení vzorků na pH 1-2 a k zamezení deprotonace molekul fenolických kyselin. Dalším krokem bylo odstředění hydrolyzátů po dobu 15 minut při 3 186 rcf. Ze supernatantů byly odebrány 2 ml do malých 8ml skleněných vialek. K těmto 2 ml hydrolyzátu byly přidány 2 ml ethylacetátu, a byla tak vytvořena dvoufázová směs. K podpoře přechodu fenolických kyselin do ethylacetátové fáze byly vialky umístěny do třepačky na dobu 15 minut. Následně byly hydrolyzáty vloženy do centrifugy na dobu 10 minut a byly odstředovány při 3 186 rcf. Po procesu odstředování byla horní ethylacetátová fáze pomocí automatické pipety

převedena do nové skleněné vialky. Ke zbylé části hydrolyzátu byly přidány další 2 ml ethylacetátu a proces extrakce fenolických kyselin byl zopakován. Spojený ethylacetátový extrakt obsahující fenolické kyseliny byl odpařen pod dusíkem. Následně byl suchý extrakt rekonstituován pomocí 1 ml 70% methanolu a přefiltrován za použití injekčních stříkaček přes 0,45 µm nylonový mikrofiltr do skleněných vialek. Vzápětí následovala analýza na HPLC-DAD.

#### 4.4.2 HPLC-DAD analýza

Analýzy vzorků byly provedeny pomocí systému Ultimate 3000 HPLC (Thermo Fisher Scientific, USA) ve spojení s detektorem s diodovým polem. Analyty byly separovány pomocí gradientové eluce na koloně Omnispher C18 (250 × 4,6 mm; velikost částic 5 µm; Agilent, Inc. USA).

Pracovní podmínky pro analýzu byly následující

- průtok 0,8 ml/min,
- teplota kolony 25 °C,
- teplota autosampleru 10 °C,
- objem nástřiku 10 µm,
- detekční vlnová délka  $\lambda_1 = 280$  nm a  $\lambda_2 = 325$  nm.

Pro analýzu byly použity dva druhy mobilní fáze

- A: voda + 0,1% octová kyselina,
- B: acetonitril + 0,1% octová kyselina.

Pro separaci analytů byla použita gradientová eluce. Počáteční složení mobilní fáze 90 % A, 10 % B bylo udržováno do 5. minuty; následně do 7. minuty došlo ke změně na 80 % A, 20 % B; dále do 25. minuty bylo dosaženo 70 % A, 30 % B; do 28. minuty potom 25 % A, 75 % B a dané složení mobilní fáze bylo udržováno do 30. minuty; dále do 32. minuty bylo dosaženo složení mobilní fáze jako na počátku analýzy (90 % A, 10 % B). Následovala reekvilibrace kolony po dobu 4 minut.

#### 4.4.3 Identifikace a kvantifikace

Analyty byly identifikovány na základě retenčních časů a UV-Vis absorpčních spekter. Plocha píku a externí kalibrace (8 různých úrovní v rozmezí 0,02-20 µg/ml pro každý analyt) byly použity pro kvantifikaci *trans* forem fenolických kyselin.

Meze detekce byly vypočteny podle vzorce  $3,3 \times (\sigma/S)$ , kde S je střední hodnota směrnice křivky a  $\sigma$  je směrodatná odchylka průsečíků získaných z pěti (tříbodových) kalibračních křivek v okolí meze detekce.

Standardy pro kvantifikaci *cis*-forem byly připraveny z odpovídajících roztoků *trans*-forem fenolických kyselin. 4 ml methanolového základního roztoku o koncentraci 20 µg/ml každé *trans*-formy fenolické kyseliny byly umístěny do skleněné lahvičky a byly vystaveny působení UV záření ( $\lambda = 365$  nm). Přibližně 56 % *trans*-forem bylo po 30 minutách působení UV záření izomerováno na *cis*-formy. Přesná koncentrace každého standardního roztoku *cis*-forem fenolických kyselin byla vypočtena na základě poklesu ploch chromatografických píků



odpovídajících *trans*-formám. Alternativní šestibodové křivky pro *cis*-ferulovou kyselinu byly sestrojeny ze získaných roztoků *cis*-forem v rozsahu 0,05-10 µg/ml. Všechny analýzy byly provedeny ve třech opakováních a koncentrace jednotlivých fenolických kyselin a celkových fenolických kyselin byly vyjádřeny v µg/g sušiny vzorku.

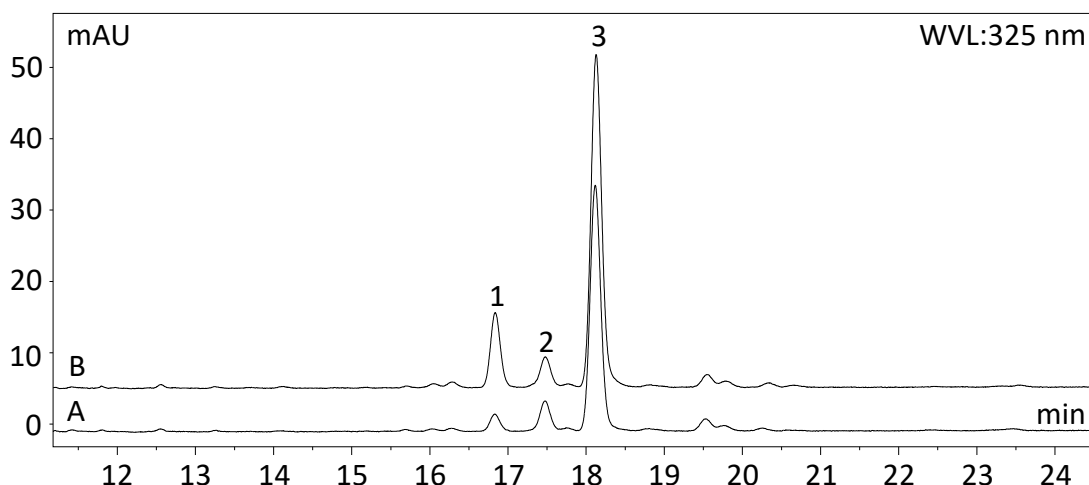
#### **4.5 Statistické vyhodnocení naměřených dat**

Naměřená data byla zpracována za použití programů Chromeleon (ThermoFisherScientific, Inc., Waltham, MA, USA) a Excel (Microsoft, Remond, WA, USA). Program Statistica (StatSoft, Inc., Tulsa, OK, USA) byl použit pro statistické vyhodnocení pomocí analýzy rozptylu jednoduchého třídění, na hladině významnosti  $\alpha = 0,05$ . Pro podrobnější vyhodnocení byl vybrán Tukeyův test.

## 5 Výsledky

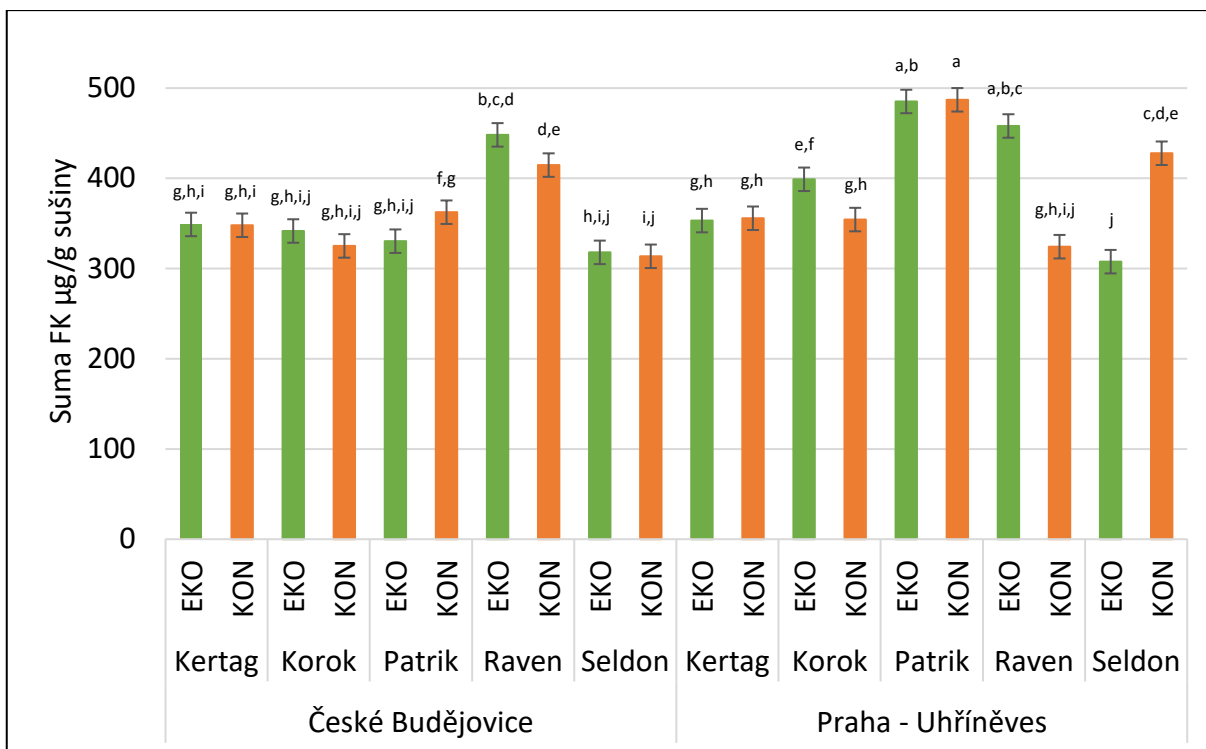
Pro analýzu byla použita zrna celkem pěti genotypů ovsa, z toho čtyři odrůdy byly pluchaté a jedna odrůda byla nahá. Všech pět odrůd ovsa bylo pěstováno ve dvou pěstebních systémech – ekologickém a konvenčním, a na dvou lokalitách – v Praze-Uhříněvsi a Českých Budějovicích.

V jednotlivých odrůdách byl sledován obsah fenolických kyselin, přičemž byly detekovány a kvantifikovány 4-hydroxybenzoová, vanilová, *p*-kumarová, sinapová, ferulová a *cis*-ferulová kyselina. Fenolické kyseliny byly měřeny pomocí vysokoúčinné kapalinové chromatografie se spektrofotometrickou detekcí (HPLC-DAD). Na obrázku 7 je uveden chromatogram, který znázorňuje porovnání analýzy vzorků odrůdy Patrik, pěstované v ekologickém pěstebním systému v Praze-Uhříněvsi a v Českých Budějovicích.



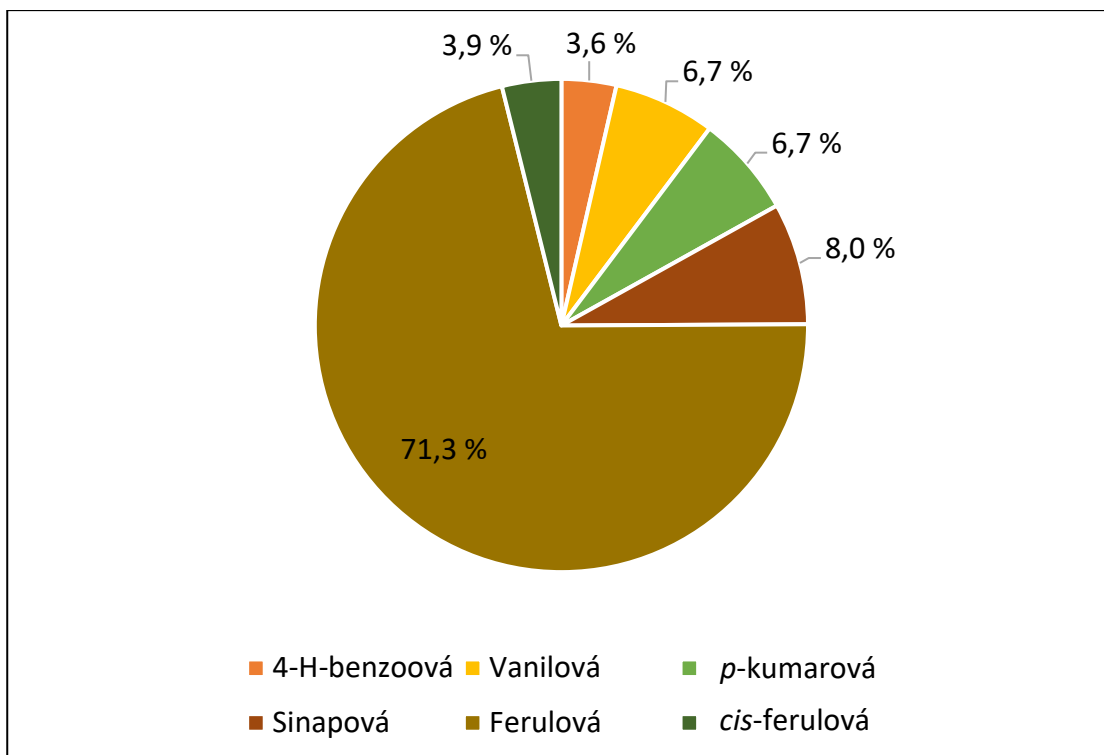
Obrázek 7: Chromatogram odrůdy Patrik zaznamenaný detektorem s diodovým polem při vlnové délce 325 nm. A – České Budějovice, B – Praha-Uhříněves; 1 – *p*-kumarová kyselina, 2 – sinapová kyselina, 3 – ferulová kyselina.

Celkový průměrný obsah fenolických kyselin v rámci všech analyzovaných odrůd ze sklizně 2021 činil 375  $\mu\text{g/g}$  sušiny. Naměřený celkový obsah všech analytů v rámci všech odrůd, obou lokalit a obou pěstebních systémů je znázorněn na obrázku 8, a to jako průměrné hodnoty triplikátů, přičemž směrodatné odchylky jsou znázorněny jako chybové úsečky.



Obrázek 8: Graf porovnání průměrných hodnot součtu obsahu všech naměřených fenolických kyselin u všech pěti odrůd, v obou pěstebních systémech a obou lokalitách. EKO – ekologická produkce, KON – konvenční produkce. Hodnoty v rámci sloupců označené odlišnými písmeny jsou statisticky průkazně odlišné na hladině významnosti  $\alpha = 0,05$ .

Procentuální zastoupení jednotlivých fenolických kyselin je vyjádřeno pomocí výšečového grafu na obrázku 9. Majoritní podíl fenolických kyselin je tvořen ferulovou (přibližně 71 %), dále sinapovou (8 %), vanilovou (7 %), *p*-kumarovou (7 %), *cis*-ferulovou (4 %) a 4-hydroxybenzoovou kyselinou (3 %).



Obrázek 9: Procentuální zastoupení jednotlivých fenolických kyselin v zrnu ovesa.

Naměřené hodnoty obsahu fenolických kyselin jsou znázorněny v tabulce 13, a to jako průměrná hodnota a směrodatná odchylka. Nejvyšší obsah ferulové kyseliny 344  $\mu\text{g/g}$  sušiny byl naměřen ve vzorcích odrůdy Patrik, pěstované v Praze-Uhřetěvesi v konvenčním systému. Naopak nejnižší obsah ferulové kyseliny 202  $\mu\text{g/g}$  sušiny byl zjištěn u odrůdy Seldon pěstované v Českých Budějovicích v konvenčním zemědělství. 4-hydroxybenzoová je v minoritním zastoupení a její nejvyšší obsah byl nalezen v odrůdě Seldon (15,5  $\mu\text{g/g}$  sušiny) pěstované v Českých Budějovicích. Naopak nejnižší obsah 4-hydroxybenzoové kyseliny byl naměřen v odrůdě Kertag (10,1  $\mu\text{g/g}$  sušiny), která byla pěstována v Praze-Uhřetěvesi v konvenčním systému.

Tabulka 13: Průměrná hodnota obsahu jednotlivých fenolických kyselin včetně směrodatné odchylky v rámci všech odrůd, obou pěstebních systémů a obou lokalit.

Lokalita	Odrůda	Systém	4-H-benzoová	Vanilová	<i>p</i> -kumarová	Sinapová	Ferulová	<i>cis</i> -ferulová	
			v µg/g sušiny						
České Budějovice	Kertag	EKO	12,31 ± 1,329	21,62 ± 1,265	17,87 ± 1,083	25,88 ± 0,369	254,2 ± 3,060	17,06 ± 2,437	
		KON	13,79 ± 0,040	23,94 ± 0,344	18,48 ± 0,707	23,61 ± 0,333	249,5 ± 6,652	9,357 ± 0,245	
	Korok	EKO	11,03 ± 0,098	24,18 ± 1,591	31,09 ± 7,476	24,75 ± 0,375	237,6 ± 7,899	12,96 ± 0,467	
		KON	11,09 ± 2,040	25,26 ± 0,569	22,31 ± 4,741	18,65 ± 3,383	259,7 ± 13,91	11,95 ± 0,358	
	Patrik	EKO	12,40 ± 0,374	27,98 ± 1,407	16,65 ± 1,950	29,70 ± 0,548	224,8 ± 3,773	18,85 ± 0,763	
		KON	13,20 ± 0,372	26,77 ± 0,513	21,66 ± 4,380	28,40 ± 1,851	257,8 ± 3,334	14,61 ± 1,493	
	Raven	EKO	11,01 ± 1,196	25,46 ± 1,783	19,89 ± 1,471	35,18 ± 1,623	324,3 ± 17,81	17,72 ± 1,180	
		KON	11,33 ± 0,291	25,98 ± 0,165	18,14 ± 0,364	31,56 ± 4,083	313,3 ± 1,139	14,40 ± 2,056	
	Seldon	EKO	12,73 ± 0,400	25,74 ± 0,822	18,36 ± 1,761	35,61 ± 0,670	211,7 ± 3,771	13,79 ± 0,359	
		KON	15,51 ± 0,920	26,99 ± 0,571	24,54 ± 3,554	30,50 ± 2,294	202,1 ± 4,354	13,92 ± 2,225	
	Praha-Uhřetěves	Kertag	EKO	11,26 ± 1,458	25,91 ± 0,609	13,95 ± 0,876	21,38 ± 1,227	269,1 ± 6,568	11,57 ± 2,752
			KON	10,08 ± 1,209	20,61 ± 1,436	32,45 ± 7,247	18,59 ± 1,877	254,7 ± 5,984	19,37 ± 1,556
Korok		EKO	12,78 ± 0,298	24,71 ± 0,131	29,56 ± 11,45	27,76 ± 1,732	284,1 ± 11,52	20,07 ± 6,437	
		KON	12,32 ± 0,408	22,39 ± 2,356	13,16 ± 0,769	27,56 ± 1,081	265,3 ± 8,760	13,58 ± 0,756	
Patrik		EKO	14,88 ± 0,269	28,42 ± 2,003	67,64 ± 7,953	31,64 ± 0,590	324,5 ± 10,85	18,09 ± 0,521	
		KON	14,39 ± 0,253	25,94 ± 2,036	69,57 ± 10,41	34,50 ± 1,714	325,6 ± 1,936	17,01 ± 0,304	
Raven		EKO	11,90 ± 0,097	24,87 ± 2,586	14,83 ± 1,748	45,19 ± 2,947	344,1 ± 6,278	10,60 ± 1,562	
		KON	14,15 ± 1,198	24,68 ± 0,748	20,32 ± 3,990	34,68 ± 1,878	220,5 ± 3,124	9,946 ± 0,435	
Seldon		EKO	13,70 ± 1,028	25,91 ± 0,833	15,11 ± 0,116	33,29 ± 0,243	205,5 ± 5,136	14,14 ± 2,175	
		KON	11,75 ± 0,196	23,94 ± 2,512	14,20 ± 0,904	39,54 ± 1,234	322,3 ± 6,514	12,86 ± 0,378	

Porovnáním obsahů fenolických kyselin v rámci všech odrůd, obou pěstebních systémů a obou lokalit – viz tabulka 14, bylo zjištěno, že nejvyšší množství nejvýznamněji zastoupené ferulové kyseliny bylo zjištěno ve vzorcích vyprodukovaných v Praze-Uhříněvsi (282 µg/g sušiny), bez ohledu na odrůdu nebo pěstební systém, naopak nejnižší množství bylo zjištěno ve vzorcích vyprodukovaných v Českých Budějovicích (253 µg/g sušiny), bez ohledu na odrůdu nebo pěstební systém.

Tabulka 14: Porovnání obsahu fenolických kyselin v rámci všech odrůd, obou lokalit a obou pěstebních systémů. E – ekologický systém, K – konvenční systém, O – všechny odrůdy, L – obě lokality, C – České Budějovice, P – Praha-Uhříněves, S – oba pěstební systémy.

Vzorky ovesných zrn	Průměrný obsah fenolických kyselin v µg/g sušiny					
	4-H-benzoová	Vanilová	<i>p</i> -kumarová	Sinapová	Ferulová	<i>cis</i> -ferulová
E × O × L	12,40	25,48	24,50	31,04	268,0	15,48
K × O × L	12,76	24,65	25,49	29,08	267,0	13,70
C × O × S	12,44	25,39	20,90	28,38	253,4	14,46
U × O × S	12,72	24,74	29,09	31,73	281,6	14,72

## 5.1 Vliv lokality na obsah fenolických kyselin

Pokus byl prováděn na dvou experimentálních pozemcích, v Praze-Uhříněvsi a v Českých Budějovicích. Přestože oves není řazen do skupiny plodin náročných na klimatické podmínky, byly zjištěny statisticky významné rozdíly ( $p < 0,05$ ) v obsahu fenolických kyselin ve vzorcích ovsa vyprodukovaného v Praze-Uhříněvsi a v Českých Budějovicích (příloha 1). Po statistickém vyhodnocení pomocí Tukeyova testu bylo zjištěno, že statisticky významný rozdíl v obsahu fenolických kyselin byl zaznamenán u vzorků ovsa odrůdy Patrik, přičemž vyšší obsah byl naměřen u ovsa vyprodukovaného v Praze-Uhříněvsi. Vyšší obsah fenolických kyselin byl naměřen u většiny vzorků, které byly vyprodukovány v Praze-Uhříněvsi, jak je znázorněno v tabulce 15, nicméně rozdíly nebyly statisticky průkazné. Procentuální rozdíl mezi obsahem fenolických kyselin v ovsu vypěstovaném v Praze-Uhříněvsi a v Českých Budějovicích se pohyboval přibližně od 1 do 46 %. Největší rozdíl byl zaznamenán u odrůdy Patrik, a to jak u zrn vyprodukovaných v ekologickém i konvenčním pěstebním systému. Rozdíl činil přibližně 150 µg/g sušiny.

Tabulka 15: Vliv lokality na obsah fenolických kyselin. Hodnoty v rámci řádků označené odlišnými písmeny jsou statisticky průkazně odlišné na hladině významnosti  $\alpha = 0,05$ .

Odrůda	Suma FK v $\mu\text{g/g}$ sušiny	
	České Budějovice	Praha-Uhřetěves
Kertag	$348 \pm 6,90^a$	$355 \pm 10,7^a$
Korok	$333 \pm 14,0^a$	$377 \pm 26,3^a$
Patrik	$346 \pm 17,4^b$	$486 \pm 18,2^a$
Raven	$431 \pm 17,2^a$	$391 \pm 67,3^a$
Seldon	$316 \pm 5,70^a$	$368 \pm 60,7^a$

## 5.2 Vliv pěstebního systému na obsah fenolických kyselin

Rozdíl v obsahu fenolických kyselin v zrnech ovsa pěstovaného ve dvou pěstebních systémech – ekologickém a konvenčním, nebyl prokázán jako statisticky významný ( $p > 0,05$ ) (příloha 2). Dle výsledků uvedených v tabulce 16 je zřejmé, že obsah fenolických kyselin byl ovlivněn, jak druhem pěstebního systému, tak i jinými faktory, například odrůdou ovsa.

Tabulka 16: Vliv pěstebního systému na obsah fenolických kyselin. Hodnoty v rámci řádků označené odlišnými písmeny jsou statisticky průkazně odlišné na hladině významnosti  $\alpha = 0,05$ .

Odrůda	Suma FK v $\mu\text{g/g}$ sušiny	
	EKO	KON
Kertag	$351 \pm 7,25^a$	$352 \pm 11,3^a$
Korok	$370 \pm 32,5^a$	$340 \pm 17,2^a$
Patrik	$408 \pm 79,0^a$	$425 \pm 63,3^a$
Raven	$453 \pm 8,50^a$	$369 \pm 45,4^a$
Seldon	$313 \pm 8,21^a$	$371 \pm 57,7^a$

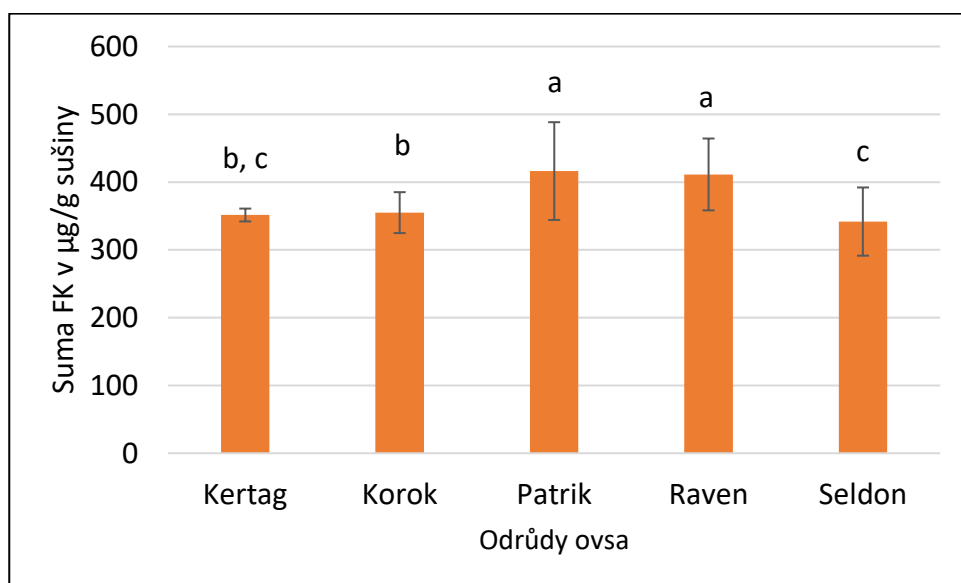
Dle zjištěných hodnot lze porovnat spektrum fenolických kyselin obsažených v ekologicky a konvenčně pěstovaném ovsu. Na základě naměřených hodnot bylo zjištěno, že oves z ekologické a konvenční produkce se v procentuálním zastoupení jednotlivých hodnocených fenolických kyselin téměř neliší, největší rozdíl (1 %) byl zjištěn u ferulové kyseliny (ekologicky pěstovaný oves  $268 \mu\text{g/g}$  sušiny, tj. 70,7 %, konvenčně pěstovaný oves  $266 \mu\text{g/g}$  sušiny, tj. 71,7 %) (příloha 3; příloha 4).

## 5.3 Vliv genotypu na obsah fenolických kyselin

Mezi hodnocenými odrůdami ovsa, bez ohledu na pěstební lokalitu – Praha-Uhřetěves, České Budějovice, a produkční systém – ekologický, konvenční, byly zjištěny významné rozdíly v obsahu fenolických kyselin. Statisticky významný rozdíl ( $p < 0,05$ ) byl prokázán mezi odrůdami Kertag  $\times$  Patrik, Kertag  $\times$  Raven, Korok  $\times$  Patrik, Patrik  $\times$  Seldon, Seldon  $\times$  Raven

(příloha 5). Nejvýznamnější rozdíl byl zjištěn u odrůd Patrik a Seldon. Stejně tak byly zjištěny statisticky významné rozdíly ( $p < 0,05$ ) v obsahu fenolických kyselin v ovsu vyprodukovaném v ekologickém zemědělství. Signifikantní rozdíly byly zjištěny mezi odrůdami Kertag × Raven, Korok × Raven, Patrik × Seldon, Raven × Seldon (příloha 6). Nicméně v ovsu pěstovaném v konvenčním zemědělství statisticky významné rozdíly v obsahu fenolických kyselin v rámci odrůd zjištěny nebyly ( $p > 0,05$ ) (příloha 7).

Nejnižší průměrný obsah fenolických kyselin byl naměřen u odrůdy Seldon ( $342 \mu\text{g/g}$  sušiny) a naopak nejvyšší u odrůdy Patrik ( $416 \mu\text{g/g}$  sušiny), jak je vyjádřeno pomocí grafu na obrázku 10. Z těchto výsledků lze usuzovat, že nahá odrůda ovsa produkuje více fenolických kyselin.



Obrázek 10: Obsah fenolických kyselin v rámci odrůd. Hodnoty v rámci sloupců označené odlišnými písmeny jsou statisticky průkazně odlišné na hladině významnosti  $\alpha = 0,05$ .



## 6 Diskuse

### 6.1 Vliv pěstebního systému

Dle výsledků je zřejmé, že z naměřených dat obsahu fenolických kyselin v zrna ovsu pěstovaného v ekologickém (379  $\mu\text{g/g}$  sušiny) a konvenčním (371  $\mu\text{g/g}$  sušiny) zemědělském systému není signifikantní, v jakém zemědělském systému bylo vyprodukováno zrno s vyšším obsahem fenolických kyselin. Procentuální rozdíl průměrných obsahů fenolických kyselin je přibližně 2 %.

Capouchová et al. (2020) uvádí, že obsah fenolických kyselin v zrnech ovsu vyprodukovaných v ekologickém systému je vyšší než v ovsu vyprodukovaných v systému konvenčním, přičemž procentuální rozdíl obsahu fenolických kyselin byl přibližně 1,5 % a nebyl sledován jako signifikantní.

Dimberg et al. (2005) analyzoval koncentrace avenanthramidů a hydroxyskořicových kyselin ve třech odrůdách ovsu pěstovaných dle standardů ekologického a konvenčního zemědělství ve Švédsku v letech 1998 až 2000. Celkově byly zjištěny významné rozdíly mezi vegetačními sezónami a odrůdami, avšak rozdíly v koncentraci antioxidantních látek v důsledku použitého ekologického nebo konvenčního systému zjištěny nebyly ( $p > 0,05$ ). Nebylo možné jednoznačně určit, jaké faktory byly příčinou pozorovaných rozdílů (Dimberg et al. 2005). Fares et al. (2019) se zabýval celkovým obsahem fenolických kyselin v pšenici z ekologické a konvenční produkce. Zjistil, že v zrnech ekologicky pěstované pšenice (2 020  $\mu\text{g/g}$  sušiny) bylo změřeno přibližně o 11 % vyšší množství fenolických kyselin, než v pšenici pěstované konvenčním způsobem (1 820  $\mu\text{g/g}$  sušiny) (Fares et al. 2019).

Na druhé straně Zrckova et al. (2018) se zabývala obsahem fenolických kyselin v pšenici s barevným zrnem, a potvrdila, že pěstební systém má významný vliv (přibližně 6 %) na obsah antioxidantních sloučenin, i když na nižší úrovni ve srovnání s vegetační sezónou (přibližně 31 %) a genotypem rostliny (přibližně 23 %). Suma fenolických kyselin v pšenici vyprodukované v ekologickém zemědělství byla naměřena 797  $\mu\text{g/g}$  sušiny a v pšenici z konvenční produkce 745  $\mu\text{g/g}$  sušiny, procentuální rozdíl byl přibližně 11 % (Zrckova et al. 2018). Zuchowski et al. (2011) a Barański et al. (2014) také potvrdili, že obsah fenolických kyselin v rostlinách je statisticky významně ( $p < 0,05$ ) ovlivněn pěstebním systémem, ačkoliv u některých konkrétních fenolických kyselin rozdíly zjištěny nebyly. Studie Zuchowski et al. (2011) byla zaměřena na obsah fenolických kyselin v jarní a ozimé pšenici pěstované v ekologickém a konvenčním systému. Zjistili, že v ekologicky pěstované pšenici (jarní i ozimé) bylo naměřeno přibližně o 4,5 % více. Studie Stracke et al. (2009a) hodnotila koncentrace fenolických kyselin syntetizovaných v odrůdách pšenice z ekologické a konvenční produkce. Výsledky studie ukázaly, že klimatické faktory signifikantně ( $p < 0,05$ ) ovlivňují obsah fytochemických látek v zrna pšenice ve větší míře než způsob produkce (nesignifikantně,  $p > 0,05$ ) (Stracke et al. 2009a).

Zvýšenou koncentraci antioxidantních látek v produktech ekologického zemědělství lze vysvětlit změnami v metabolismu rostlin, které byly způsobeny rozdíly v dostupnosti dusíku v půdě (Bloksma et al. 2007; Massad et al. 2012). V ekologickém zemědělství je využívání syntetických hnojiv zakázáno a obvykle je očekávána nižší dostupnost dusíku. Nedostatek dusíku vede k intenzifikaci biosyntézy sloučenin obsahujících uhlík, a to včetně nedusíkatých sekundárních metabolitů. Je nutné vzít v úvahu, že pravděpodobný nedostatek dusíku na ekologicky obdělávaných plochách může vést ke snížení hodnoty hmotnosti tisíce zrn obilovin. Vzhledem k tomu, že menší pšeničná zrna mají vyšší poměr povrchu vůči objemu, mají také vyšší podíl oplodí a aleuronové vrstvy, ve kterých jsou antioxidantní látky ukládány (Zuchowski et al. 2011). Tuto skutečnost také potvrzuje studie Rühmann et al. (2002), kdy situace nedostatku dusíku může vést k intenzivnější syntéze některých fotochemikálií, které jsou součástí obranných systémů rostlin.

Další faktor, kterým je ovlivňována intenzita syntézy antioxidantů v rostlinách, je působení škůdců a chorob. Plodiny pěstované v ekologickém zemědělství jsou vystavovány většímu riziku napadení škůdci a chorobami z důvodu zákazu používání průmyslových pesticidů. Je tedy možné očekávat intenzivnější syntézu antioxidantních sloučenin obrannými systémy rostlin (Hanson et al. 2004). V porovnání s pšenicí má oves obvykle nižší požadavky na pěstování, včetně nižších nároků na hnojení a vyšší odolnost vůči chorobám (Strychar 2011). Proto je možné předpokládat, že vliv pěstebního systému bude slabší, v případě výsledků této diplomové práce dokonce statisticky nevýznamný ( $p > 0,05$ ).

## 6.2 Vliv abiotických podmínek

Intenzita produkce antioxidantních látek je ovlivněna také abiotickými podmínkami, jako je například vodní anebo tepelný stres (Ficco et al. 2014; Ben Halima et al. 2015; Zrckova et al. 2018). Studie Alexieva et al. (2001) potvrdila, že vliv nedostatku vody (vystavování rostlin suchu) je statisticky významný faktor v souvislosti se zvýšenou produkcí fenolů.

Capouchová et al. (2020) potvrzuje signifikantní vliv množství srážek a teploty během vegetačního období na obsah antioxidantních látek v ovsu. Experiment byl proveden v lokalitě Praha-Uhřetěves v letech 2018 a 2019. Během vegetačních sezón (2018, 2019) byly zaznamenány vyšší teploty a nižší úhrny srážek v porovnání s dlouhodobým průměrem. V roce 2019 byly zjištěny vyšší teploty a nižší srážkové úhrny, než v roce 2018. Nicméně vyšší obsah fenolických kyselin byl naměřen u ovsa vypěstovaného v roce 2018 (průměrně 341  $\mu\text{g/g}$  sušiny) a to přibližně o 1 % (Capouchová et al. 2020). V roce 2021 byl v Praze naměřen celkový úhrn srážek 627 mm (Český hydrometeorologický ústav 2022). V porovnání s rokem 2019 bylo zaznamenáno přibližně o 9 % více srážek, ale zároveň v zrnech ovsa byl naměřen přibližně o 15 % vyšší obsah fenolických kyselin (395  $\mu\text{g/g}$  sušiny). Tyto naměřené hodnoty nejsou v souladu s tvrzeními souvisejícími s vlivem vodního deficitu na produkci antioxidantních látek rostlinami. Důvodem může být, že intenzita produkce antioxidantních sloučenin není ovlivněna pouze jedním faktorem.

### 6.3 Vliv odrůdy

Studie Capouchová et al. (2020) uvádí rozdíly v obsahu fenolických kyselin v rámci pěti odrůd ovsa (Korok, Kertag, Patrik, Raven, Seldon), které byly shodné s odrůdami použitými pro tuto diplomovou práci. Výsledky této diplomové práce ukázaly, že u nahé odrůdy Patrik byly naměřeny nejvyšší průměrné hodnoty obsahu fenolických kyselin a u odrůdy Seldon naopak nejnižší. Obsah fenolických kyselin naměřených ve vzorcích odrůdy Patrik byl přibližně průměrně 416  $\mu\text{g/g}$  sušiny a ve vzorcích odrůdy Seldon průměrně 342  $\mu\text{g/g}$  sušiny. Procentuální rozdíl v obsahu fenolických kyselin v odrůdě nejbohatší a nejchudší byl přes 20 %. Diplomová práce je v souladu s výsledky studie Capouchová et al. (2020), kde byly zjištěny rozdílné obsahy fenolických kyselin mezi všemi jednotlivými sledovanými odrůdami. Rozdíl mezi odrůdou Patrik (479  $\mu\text{g/g}$  sušiny) a Seldon (262  $\mu\text{g/g}$  sušiny) byl přes 80 %. Dimberg et al. (2005) pozoroval tři odrůdy ovsa (Freja, Sang, Matilda) a zjistil, že genotyp má statisticky významný vliv na obsah fenolických kyselin, v porovnání s vlivem pěstebního systému (ekologický, konvenční), u kterého signifikance prokázána nebyla (Dimberg et al. 2005).

Studie Kaszuba et al. (2021) byla zaměřena fenolické kyseliny ve třech odrůdách tritikale (Borwo, Fredro, Panteon). Nejvyšší obsah fenolických kyselin byl naměřen u odrůdy Borwo (1 370  $\mu\text{g/g}$  sušiny), přičemž byl prokázán statisticky významný rozdíl ( $p < 0,05$ ) oproti odrůdám Fredro (1 270  $\mu\text{g/g}$  sušiny) i Panteon (1 200  $\mu\text{g/g}$  sušiny). Fenolické kyseliny s nejvyšším procentuálním zastoupením byly ferulová > sinapová > di-ferulová (izomer 2) > di-ferulová (izomer 4) > 4-OH-benzoová > *p*-kumarová (43,2 % > 14,6% > 13,5 % > 9,1 > 6,3 % > 5,4 %), další hodnocené fenolické kyseliny byly zastoupeny méně než 3 %. Stejně jako ve studii Kaszuba et al. (2021), tak i ve vzorcích ovsa hodnocených v diplomové práci bylo zjištěno, že nejvíce zastoupena je právě ferulová kyselina (71,3 %). Zároveň byl prokázán statisticky významný rozdíl ( $p < 0,05$ ) ve spektru fenolických kyselin, přičemž největší rozdíl byl zjištěn u *p*-kumarové kyseliny 74,5 > 62,6 > 36,8  $\mu\text{g/g}$  sušiny (Borwo > Fredro > Panteon) (Kaszuba et al. 2021). Stejně tak v případě hodnocených odrůd v diplomové práci byly zjištěny statisticky významné rozdíly v obsahu *p*-kumarové kyseliny ( $p < 0,05$ ) (příloha 8).

Janovská et al. (2021) se zabývala obsahem fenolických kyselin v pohance a uvedla, že mezi odrůdami pohanky byly zjištěny signifikantní rozdíly. Nejvyšší množství fenolických kyselin bylo zjištěno u odrůdy Tempest (1 362  $\mu\text{g/g}$  sušiny) a nejnižší u odrůdy Panda I (313  $\mu\text{g/g}$  sušiny) (Janovska et al. 2021), přičemž procentuální rozdíl byl vyšší než 330 %. Výsledky diplomové práce jsou v souladu s Janovská et al. (2021), přestože rozdíl v množství fenolických kyselin u odrůd s největším (Patrik 479  $\mu\text{g/g}$  sušiny) a nejnižším obsahem (Seldon 262  $\mu\text{g/g}$  sušiny) nebyl tak vysoký (přes 80 %).

## 7 Závěr

Antioxidační sloučeniny jsou sekundárními metabolity rostlin, jejichž produkce je zvyšována během obranných reakcí na vnější stres. Z naměřených hodnot a statistického vyhodnocení obsahu fenolických kyselin v zrnech vyprodukovaných v ekologickém a konvenčním zemědělství je zřejmé, že tímto faktorem není intenzita syntézy antioxidačních látek v rostlinách ovlivněna významně ( $p > 0,05$ ) (hypotéza číslo 1). Mezi ekologicky a konvenčně vyprodukovaným ovsem byl zjištěn rozdíl v obsahu fenolických kyselin přibližně 2 %, který není signifikantní. Stejně tak jako celkový obsah fenolických kyselin, tak ani jejich spektrum se významně nelišilo v rámci dvou pěstebních systémů. Nejvyšší podíl fenolických kyselin je tvořen ferulovou kyselinou (přibližně 71 %), které bylo naměřeno v ekologicky pěstovaném ovsu přibližně 268  $\mu\text{g/g}$  sušiny a konvenčně pěstovaném ovsu průměrně 267  $\mu\text{g/g}$  sušiny (hypotéza 2).

Z výsledků diplomové práce vyplývá, že intenzita produkce sekundárních metabolitů rostlinami, je významněji ovlivněna jinými faktory než výběrem pěstebního systému (ekologický, konvenční). Přestože rostlinám pěstovaným v ekologickém zemědělství, v důsledku zákazu používání průmyslových hnojiv a zároveň v zákazu aplikace syntetických pesticidů, hrozí riziko, že mohou být nedostatečně vyživovány a negativně ovlivňovány škůdci a chorobami. V případě této diplomové práce tyto vnější vlivy pravděpodobně nezpůsobily intenzivnější syntézu antioxidačních látek (fenolických kyselin). Mezi další faktory ovlivňující syntézu antioxidačních látek jsou řazeny, jak abiotické faktory (vodní/tepelný stres), tak například volba odrůdy. Nejvýznamnější signifikantní rozdíl ( $p < 0,05$ , více než 20 %) mezi obsahy fenolických kyselin byl zjištěn mezi odrůdou Patrik (416  $\mu\text{g/g}$  sušiny) a Seldon (342  $\mu\text{g/g}$  sušiny).

Celozrnné obilné produkty, by měly být součástí stravovacího režimu vzhledem k obsahu polysacharidů, vlákniny ( $\beta$ -glukanů), bílkovin, tuků (mastných kyselin), vitaminů a antioxidačních látek. Obsah biologicky aktivních látek v zrně ovsa lze ovlivnit vnějšími zásahy během vegetačního období. Pro zjištění vhodných pěstebních podmínek vedoucích ke zvýšení intenzity produkce významných zdraví prospěšných látek v ovsu je příhodné pokračovat v dalších experimentech.

## 8 Literatura

- Adler A, Lew H, Moudrý J, Štěřba Z, Vrátilová K, Edinger W, Brodacz W, Kiendler E. 2003. Microbiological and mycotoxicological quality parameters of naked and covered oats with regard to the production of bran and flakes. *Die Bodenkultur* **54**: 41-48.
- Agunloye OM & Oboh G. 2018. Caffeic acid and chlorogenic acid: Evaluation of antioxidant effect and inhibition of key enzymes linked with hypertension. *Journal of Food Biochemistry* **42**: 1254.
- Alexieva V, Sergiev I, Mapelli S, Karanov E. 2001. The effect of drought and ultraviolet radiation on growth and stress markers in pea and wheat. *Plant, Cell and Environment* **24**: 1337-1344.
- An SM, Koh JS, Boo YC. 2010. *p*-coumaric acid not only inhibits human tyrosinase activity in vitro but also melanogenesis in cells exposed to UVB. *Phytotherapy research* **24**(8): 1175-1180.
- Andersen RE, Wadden TA, Bartlett SJ, Vogt RA, Weinstock RS. 1995. Relation of weight loss to changes in serum lipids and lipoproteins in obese women. *The American Journal Clinical Nutrition* **62**(2): 350-357.
- Andersson KE & Hellstrand P. 2012. Dietary oats and modulation of atherogenic pathways. *Molecular Nutrition & Food Research* **56**(7): 1003-1013.
- Andersson KE, Svedberg KA, Lindholm MW, Oste R, Hellstrand P. 2010. Oats (*Avena sativa*) reduce atherogenesis in LDL-receptor-deficient mice. *Atherosclerosis* **212**(1): 93-99.
- Atlas Big. 2018. World Oat Production by Country. Available from <https://www.atlasbig.com/en-gb/countries-by-oat-production> (accessed December 2021).
- Averesch NJH & Krömer JO. 2018. Metabolic Engineering of the Shikimate Pathway for Production of Aromatics and Derived Compounds – Present and Future Strain Construction Strategies. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology* **6**(32).
- Bajpai B, Patil S. 2008. A new approach to microbial production of gallic acid. *Brazilian journal of microbiology* **39**(4): 708-711.
- 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-analysis. *British Journal of Nutrition* **112**: 794–811.
- Benada J. 2001. Metodika pěstování jarních obilnin: ječmen jarní, oves, pšenice jarní. Zemědělský výzkumný ústav, Kroměříž.
- Bencko V, Šíma P, Turek B. 2016. Imunomodulační účinky betaglukanů. *Hygiena* **61**(4): 167-171.

- Beta T & Duodu KG. 2016. Pages 277-282 in Wrigley CW, Corke H, Seetharaman K, Faubion J, editors. Encyclopedia of Food Grains. Academic Press.
- Bezerra DP, Soares AKN, de Sousa DP. 2016. Overview of the role of vanillin on redox status and cancer development. Oxidative medicine and cellular longevity.
- Bezpečnost potravin. 2008. Nový přírodní insekticid plumbagin. Available from <https://www.bezpecnostpotravin.cz/novy-prirodni-insekticid-plumbagin.aspx> (accessed March 2022).
- Bezpečnost potravin. Celozrnný výrobek. Available from <https://www.bezpecnostpotravin.cz/az/termin/76546.aspx> (accessed January 2022).
- Bloksma J, Northolt M, Huber M, van der Burgt GJ, van der Vijver L. 2007. Pages 53-73 in Cooper J, Niggli U, Leifert C. Handbook of Organic Food Safety and Quality. Woodhead Publishing Ltd, Cambridge.
- Boo YR. 2019. *p*-Coumaric Acid as An Active Ingredient in Cosmetics: A Review Focusing on it Antimelanogenic Effect. Antioxidants, Basel **8**(8): 275.
- Buchanan B, Gruissem W, Jones RL, 2000. Biochemistry and Molecular Biology of Plants. American Society of Plant Physiologists, Rockville.
- Bulková V. 2011. Rostlinné potraviny. Národní centrum ošetrovatelství a nelékařských zdravotnických oborů, Brno.
- Butt MS, Tahir-Nadeem M, Khan MKI, Shabir R, Butt MS. 2008. Oat: unique among the cereals. European Journal of Nutrition **47**(2): 68-9.
- Capouchová I, Burešová B, Paznocht L, Eliášová M, Pazderů K, Konvalina P, Satranský M, Dvořáček V. 2020. Antioxidant activity and content of selected antioxidant compounds in grain of different oat cultivars. Plant, Soil and Environment **66**(7): 327-333.
- Capouchová I, Konvalita P, Stehno Z, Prokinová E, Janovská D, Honsová H, bláha L, Káš M. 2012. Organic Cereal Seed Quality and Production. Pages 25-45 in Konvalina P, editor. Organic Farming and Food Production. Intech, Rijeka.
- Costa AM, Souza CGM, Bracth A, Kadowski MK, Souza ACS, Oliveira RF, Peralta RM. 2013. Production of Tannase and Gallic Acid by *Aspergillus tamarii* Submerged and Solit State Cultures. African Journal of Biochemistry Research **7**: 197-202.
- Cristache SE, Vuta M, Marin E, Cioaca SI, Vuta M. 2018. Organic versus Conventional Farming – A paradigm for the Sustainable Development of the European Countries. Sustainability **10**(11): 4279.
- Croteau R, Kutchan TM, Lewis NG. 2000. Natural Products (Secondary Metabolites). Biochemistry and Molecular Biology Plants **24**: 1250–1380.
- Český hydrometeorologický ústav. 2021. Územní srážky v roce 2021. Available from <https://www.chmi.cz/historicka-data/pocasi/uzemni-srazky#> (accessed March 2022).

- Dimberg LH, Gissén C, Nilsson, J. 2005. Phenolic compounds in oat grains (*Avena sativa* L.) grown in conventional and organic systems. *Ambio* **34**(4-5): 331-337.
- Dykes L, Rooney LW. 2007. Phenolic Compounds in Cereal grains and their health benefits. *Cereal Foods World*, **52**: 105-111.
- Edi-Soetaredjo F, Ismadji S, Ju YH. 2012. Pages 1-243 in Munne-Bosch S, editor. *Phenolic Acids: Composition, Applications, and Health Benefits*. Nova Science Publishers.
- Evropský parlament a Rada (EU). 2018. Nařízení 2018/848 o ekologické produkci a označování ekologických produktů a o zrušení nařízení Rady (ES) č. 834/2007. Štrasburk.
- Fan M, Marshall W, Dugaard D, Brown RC. 2004. Steam activation of chars produced from oat hulls and corn stover. *Bioresource Technology* **93**(1): 103-107.
- Fares C, Menga V, Codianni P, Russo M, Perrone D, Suriano S, Savino M, Rascio A. 2019. Phenolic acids variability and grain quality of organically and conventionally fertilised old wheats under a warm climate. *Journal Science of Food and Agriculture* **99**(10): 4615-4623.
- Fernandes FPA & Salgado HRN. 2016. Gallic Acid: Review of the Methods of Determination and Quantification. *Critical Reviews in Analytical Chemistry* **46**(3): 257-265.
- Ficco DBM, Mastrangelo AM, Trono D, Borrelli GM, De Vita P, Fares C, Beleggia R, Platani C, Papa R. 2014. The colours of durum wheat: a review. *Crop and Pasture Science*, **65**: 1-15.
- Frankova A, Marounek M, Mozrova V, Weber J, Kloucek P, Lukesova D. 2014. Antibacterial activities of plant-derived compounds and essential oils toward *Cronobacter sakazakii* and *Cronobacter malonaticus*. *Foodborne Pathogens and Disease* **11**(10): 795-797.
- Gajdošová A & Šturdík E. 2004. Biologické, chemické a nutričně-zdravotní charakteristiky pekárenských cereálií. *Nova biotechnologica*.
- Gangopadhyay N, Hossain MB, Rai DK, Brunton NP. 2015. A Review of Extraction and Analysis of Bioactives in Oat and Barley and Scope for Use of Novel Food Processing Technologies. *Molecules* **20**: 10884-10909.
- Grau J. 1998. *Trávy*. Ikar, Praha.
- Gu L, Cui X, Wei W, Xang J, Li X. 2017. Ferulic acid promotes survival and differentiation of neural stem cells to prevent gentamicin-induced neuronal hearing loss. *Experimental Cell Research* **360**(2): 257-263.
- Halima NB, Saad RB, Khemakhem B, Fendri I, Abdelkafi S. 2015. Oat (*Avena sativa* L.): Oil and Nutrient Compounds Valorization for Potential Use in Industrial Applications. *Journal of Oleo Science* **64**(9): 915-932.
- Hanson J, Dismukes R, Chambers W, Greene C, Kremen A. 2004. Risk and risk management in organic agriculture: Views of organic farmers. *Renewable Agriculture and Food Systems* **19**: 218-227.

- Havrlentová M, Gregusová V, Šliková S, Nemeček P, Hudcovicová M, Kuzmová D. 2020. Relationship between the Content of  $\beta$ -D-Glucans and Infection with Fusarium Pathogens in Oat (*Avena Sativa* L.) Plants. *Plants* **9**(12): 1776.
- Hess D. 1983. *Fyziologie rostlin*. Academia, Praha.
- Hong Q, Ma ZC, Huang H, Wang YG, Tan HL, Xiao CR, Liang QD, Thang HT, Gao Y. 2016. Antithrombotic activities of ferulic acid via intracellular cyclic nucleotide signaling. *European journal of pharmacology* **777**: 1-8.
- Huang H, Ostroff GR, Lee CK, Agarwal S, Ram S, Rice PA, Specht CA, Levitz SM. 2012. Relative contributions of dectin-1 and complement to immune responses to particulate  $\beta$ -glucans. *Journal of immunology* **189**(1): 312-317.
- Iwanaga S & Lee BL. 2005. Recent advances in the innate immunity of invertebrate animals. *Journal of Biochemistry and Biology* **38**(2): 128-150.
- Janovská D, Jágr M, Svoboda P, Dvořáček V, Meglič V, Hlásná Čepková P. 2021. Breeding Buckwheat for Nutritional Quality in the Czech Republic. *Plants* **10**(7): 1262.
- Jayamani J & Shanmugam G. 2014. Gallic Acid, One of the Components in Many Plant Tissues, Is a Potential Inhibitor for Insulin Amyloid Fibril Formation. *European Journal of Medicinal Chemistry* **85**: 352-358.
- Kaszuba J, Kapusta I, Posadzka Z. 2021. Content of Phenolic Acids in the Grain of Selected Polish Triticale Cultivars and Its Products. *Molecules* **26**(3): 562.
- Kawabata S, Muta T. 2010. Sadaaki Iwanaga: Discovery of the lipopolysaccharide and beta-1,3-D-glucan mediated proteolytic cascade and unique proteins in invertebrate immunity. *Journal of biochemistry* **147**(5): 611-618.
- Kim DH et al. 2010. Sinapic acid attenuates kainic acid-induced hippocampal neuronal damage in mice. *Neuropharmacology* **59**(1-2): 20-30.
- Kopáčová O. 2007. *Trendy ve zpracování cereálií s přihlédnutím zejména k celozrnným výrobkům. Ústav zemědělských a potravinářských informací, Praha.*
- Kouřimská L, Sabolová M, Horčíčka P, Rys S, Božik M. 2018. Lipid content, fatty acid profile, and nutritional value of new oat cultivars. *Journal of Cereal Science* **84**: 44-48.
- Krzysztoforska D, Mirowska-Guzel E, Widy-Tyszkiewicz. 2019. Pharmacological effects of protocatechuic acid and its therapeutic potential in neurodegenerative diseases: Review on the basis of in vitro and in vivo studies in rodents and humans. *Nutritional Neuroscience* **22**(2): 72-82.
- Latta J. 2012. Celiakie – od screeningu k diagnóze. *Interní medicína* **14**(5): 221-223.
- Lattimer JM, Haub MD. 2010. Effects of Dietary Fiber and Its Components on Metabolic Health. *Nutrients* **2**(12): 1266-89.



- Li D, Rui YX, Guo SD, Luan F, Liu R, Zeng N. 2021. Ferulic acid: A review of its pharmacology, pharmacokinetics and derivatives. *Life Science* **284**: 119921.
- Liu Y, Guo X, Lu Z, Xie W. 2003. Study on the pharmacokinetics and bioavailability of syringic acid in rabbits. *Zhong Yao Cai* **26**(11): 798-801.
- Liu Y, Pukala TL, Musgrave IF, Williams DM, Dehle FC, Carver JA. 2013. Gallic acid is the major component of grape seed extract that inhibits amyloid fibril formation. *Bioorganic & medicinal chemistry letter* **23**(23): 6336-6340.
- Ltaif M, Gargouri M, Magné C, El Feki A, Soussi A. 2020. Protective effects of *Avena sativa* against oxidative stress-induced kidney damage resulting from an estrogen deficiency in ovariectomized Swiss mice model. *Journal of Food Biochem* **44**(6):e13205.
- Luštinec J, Társký V. 2005. Úvod do fyziologie vyšších rostlin. Karolinum, Univerzita Karlova v Praze, Praha.
- Macholán L. 1998. Sekundární metabolity. Masarykova Univerzita, Brno.
- Martin JD. 2006. Principles of Field Crop Production. Pearson, New Jersey.
- Masella R, Santangelo C, D'Archivio M, Li Volti G, Giovannini C, Galvano F. 2012. Protocatechuic acid and human disease prevention: biological activities and molecular mechanisms. *Current medicinal chemistry* **19**(18): 2901-2917.
- 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* **7**(10): e47554.
- McGeoch SC, Johnstone AM, Lobley GE, Adamson J, Hickson K, Holtrop G, Fyfe C, Clark LF, Pearson DWM, Abraham P, Megson IL, Macrury SM. 2013. A randomized crossover study to assess the effect of an oat-rich diet on glycaemic control, plasma lipids and postprandial glycaemia, inflammation and oxidative stress in Type 2 *diabetes*. *Diabetic Medicine* **11**: 1314-1323.
- Meziani S, Menadi N, Mehida H, Ougad S, Saidani S, Labga L. 2021. Evaluation Of Phenolic Compound And Antioxidant Capacity Of Two Varieties Of Oats (*Avena Sativa* L): Bran Oats And Whole Grain (Black And Prevision Oats). *Food & Environment Safety* **20**: 61-67.
- Ministerstvo zemědělství. 2021. Žňové zpravodajství k 13. září 2021. Available from <https://eagri.cz/public/web/mze/zemedelstvi/roslinna-vyroba/roslinne-komodity/obiloviny/prubeh-sklizne/sklizen-2021/znove-zpravodajstvi-k-13-zari-2021.html> (accessed January 2022).
- Multari S, Pihlava JM, Ollenu-Chuasam P, Hietaniemi V, Yang B, Suomela JP. 2018. Identification and Quantification of Avenanthramides and Free and Bound Phenolic Acids in Eight Cultivars of Husked Oat (*Avena sativa* L) from Finland, *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **66**(11): 2900-2908.

- Muto S, Větvicka V, Ross GD. 1993. CR3 (CD11b/CD18) expressed by cytotoxic T cells and natural killer cells is upregulated in a manner similar to neutrophil CR3 following stimulation with various activating agents. *Journal of clinical immunology* **13**(3): 175-184.
- Novak M, Větvicka V. 2008. Beta-glucans, history, and the present: immunomodulatory aspects and mechanisms of action. *J Immunotoxicol* **5**(1):47-57.
- Pandi A & Kalappan VM. 2021. Pharmacological and therapeutic applications of Sinapic acid – and updated review. *Molecular biology reports* **48**(4): 3733-3745.
- Pei K, Ou J, Huang J, Ou S. 2016. *p*-coumaric acid and its conjugates: dietary sources, pharmacokinetic properties and biological activities. *Journal of the Science of Food and Agriculture* **96**(9): 2952-2962.
- Pizzino G, Irrera N, Cucinotta M, Pallio G, Mannino F, Arcoraci V, Squadrito F, Altavilla D, Bitto A. 2017. Oxidative Stress: Harms and Benefits for Human Health. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity* **2017**: 1-13.
- Prugar J. 2008. Kvalita rostlinných produktů na prahu 3. tisíciletí. Výzkumný ústav pivovarská a sladařský ve spolupráci s Komisí jakosti rostlinných produktů ČZV, Praha.
- Příhoda J, Skřivan P, Hrušková M. 2004. Cereální chemie a technologie I: cereální chemie, mlýnská technologie, technologie výroby těstovin. VŠCHT, Praha.
- Punia S, Siroha AK, Kumar M. 2021. Pages 89-104 in Punia S, Siroha AK, Kumar M, editors. *Handbook of Cereals, Pulses, Roots, and Tubers: Functionality, Health Benefits, and Applications*. CRC Press, Boca Raton.
- Redaelli R, Sgrulletta D, Scalfati G, De Stefanis E, Cacciatori P. 2009. Naked Oats for Improving Human Nutrition: Genetic and Agronomic Variability of Grain Bioactive Components. *Crop Science* **49**: 1431-1437.
- Reyna-Villasmil N et al. 2007. Oat-derived  $\beta$ -glucan significantly improves HDLC and diminishes LDLC and non-HDL cholesterol in overweight individuals with mild hypercholesterolemia. *American Journal of Therapeutics* **14**(2): 203-212.
- Rühmann S, Leser C, Bannert M, Treutter D. 2002. Relationship between growth, secondary metabolism, and resistance of apple. *Plant Biology* **4**: 137-143.
- Ryan D, Antolovich M, Prenzler P, Robards K, Lavee S. 2001. Biotransformations of phenolic compounds in *Olea europaea* L. *Scientia Horticulturae* **92**(2): 147-177.
- Semaming Y, Pannengpetch P, Chattipakorn SC, Chattipakorn N. 2015. Pharmacological properties of protocatechuic acid and its potential roles as complementary medicine. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine* 1-11.
- Seo YK, Kim SJ, Boo YC, Baek JH, Lee SH, Koh JS. 2011. Effects of *p*-coumaric acid on erythema and pigmentation of human skin exposed to ultraviolet radiation. *Clinical and experimental dermatology* **36**(3): 260-266.

- Shahbandeh M. 2022. Global oats production 2015/2016-2021/2022. Available from <https://www.statista.com/statistics/1073536/production-of-oats-worldwide/> (accessed February 2022).
- Silva H & Lopes N. 2020. Cardiovascular Effects of Caffeic Acid and Its Derivatives: A Comprehensive Review. *Frontiers in physiology*, **11**: 595516.
- Skládanka J, Večerek I, Vyskočil I. 2009. Ekologické faktory lučních stanovišť. Travinné ekosystémy. Available from: [https://web2.mendelu.cz/af\\_222\\_multitext/trek/index.php?N=4&l=0](https://web2.mendelu.cz/af_222_multitext/trek/index.php?N=4&l=0).
- Smulders MJM, Van De Wiel CCM, Van Den Broeck HC, Van Der Meer IM, Israel-Hoevelaken TPM, Timmer RD, Van Dinter BJ, Braun S, Gilissen LJWJ. 2018. Oats in healthy gluten-free and regular diets: A perspective. *Food Research International* **110**: 3-10.
- Soltanian S, Stuyven E, Cox E, Sorgeloos P, Bossier P. 2009. Beta-glucans as immunostimulant in vertebrates and invertebrates. *Critical reviews in microbiology* **35**(2): 109-138.
- Song J, He Y, Luo C, Feng B, Ran F, Xu H, Ci Z, Xu R, Han L, Thang D. 2020. New progress in the pharmacology of protocatechuic acid: A compound ingested in daily foods and herbs frequently and heavily. *Pharmacological Research* **161**.
- Srinivasulu C, Ramgopal M, Ramanjaneyulu G, Anuradha CM, Suresh Kumar C. 2018. Syringic acid (SA) – A Review of Its Occurrence, Biosynthesis, Pharmacological and Industrial Importance. *Biomedicine & Pharmacotherapy* **108**: 547-557.
- Stracke BA, Eitel J, Watzl B, Mäder P, Rüfer CE. 2009a. 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.
- Špaldon E. 1986. Rostlinná výroba. Státní zemědělské nakladatelství, Praha.
- Tang Y, Li S, Yan J, Peng Y, Weng W, Yao X, Gao A, Cheng J, Ruan J, Xu B. 2022. Bioactive Components and Health Functions of Oat. *Food Reviews International*.
- Tokmak M, Yuksel Y, Sehitoglu MH, Guven M, Akman T, Aras AB, Cosar M, Abbed KM. 2015. The Neuroprotective Effect of Syringic Acid on Spinal Cord Ischemia/Reperfusion Injury in Rats. *Inflammation* **38**(5): 1969-1978.
- Velíšek J, Hajšlová J. 2009. *Chemie potravin*. OSSIS, Tábor.
- Webster F. 2011. *Oats: Chemistry and Technology*. Elsevier Science & Technology, Atlanta.
- Wehrli F, Taneri PE, Bano A, Bally L, Blekkenhorst LC, Bussler W, Metzger B, Minder B, Glisic M, Muka T, Kern H. 2021. Oat Intake and Risk of Type 2 Diabetes, Cardiovascular Disease and All-Cause Mortality: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Nutrients* **13**(8).
- World – Oats – Market Analysis, Forecast, Size, Trends and Insights. 2021. Global Trade. Available from <https://www.globaltrademag.com/accelerated-demand-for-healthy-food-emerges-as-a-new-driver-for-the-global-oats-market/> (accessed January 2022).

- World Health Organisation. 2021. Cardiovascular Disease. Available from [https://www.who.int/health-topics/cardiovascular-diseases#tab=tab\\_1](https://www.who.int/health-topics/cardiovascular-diseases#tab=tab_1) (accessed February 2022).
- Wu W, Qiu J, Wang A, Li Z. 2020. Impact of whole cereals and processing on type 2 diabetes mellitus: a review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* **60**(9): 1447-1474.
- Xu X, Luo A, Lu X, Liu M, Wang H, Song H, Wei C, Wang Y, Duan X. 2021. *p*-Hydroxybenzoic acid alleviates inflammatory responses and intestinal mucosal damage in DSS-induced colitis by activating ER $\beta$  signaling. *Journal of Functional Foods* **87**: 104835.
- 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.

## 9 Samostatné přílohy

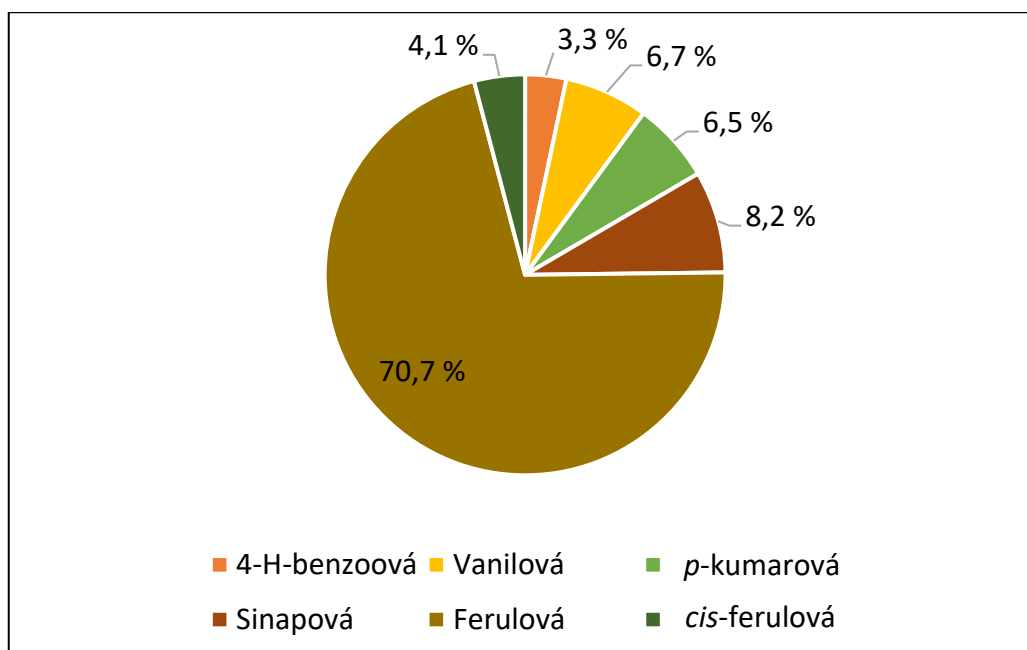
Příloha 1: Statistické hodnocení vlivu lokality na obsah fenolických kyselin (Praha-Uhřetěves vs. České Budějovice).

Efekt	Jednorozměrné testy významnosti pro FK $\mu\text{g/g}$ sušiny Sigma-omezená parametrizace Dekompozice efektivní hypotézy				
	SČ	Stupně volnosti	PČ	F	p
Abs. člen	8403514	1	8403514	2953,262	0,000000
Lokalita	22199	1	22199	7,801	0,007061
Chyba	165039	58	2846		

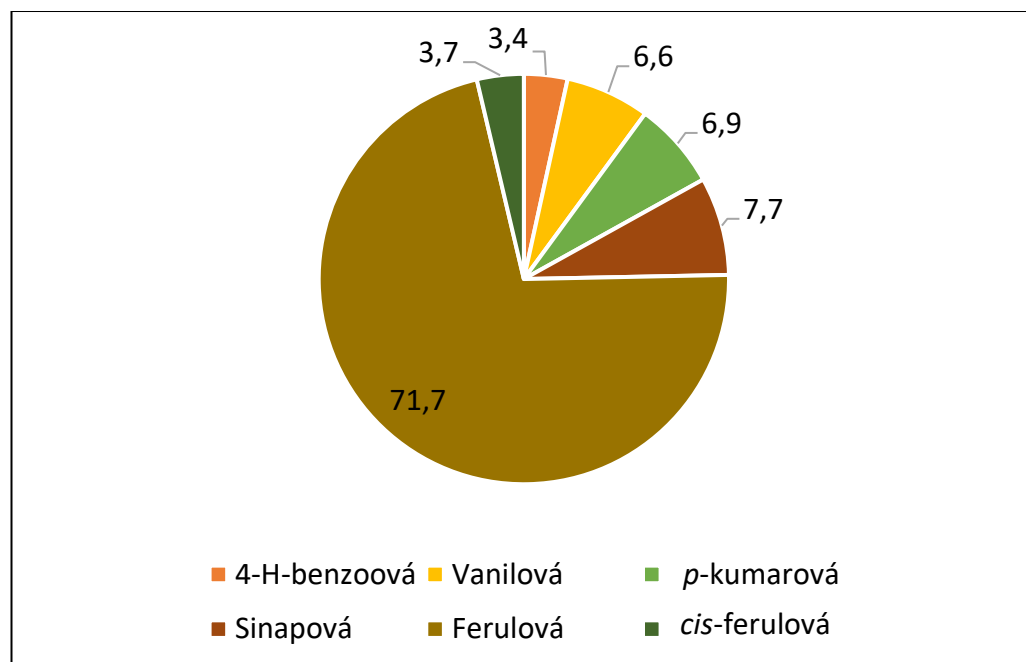
Příloha 2: Statistické hodnocení vlivu pěstebního systému na obsah fenolických kyselin (ekologický vs. konvenční pěstební systém).

Efekt	Jednorozměrné testy významnosti pro FK $\mu\text{g/g}$ sušiny Sigma-omezená parametrizace Dekompozice efektivní hypotézy				
	SČ	Stupně volnosti	PČ	F	p
Abs. člen	8403514	1	8403514	2606,778	0,000000
Pěst. systém	262	1	262	0,081	0,776414
Chyba	186976	58	3224		

Příloha 3: Graf procentuálního zastoupení hodnocených fenolických kyselin v ekologicky pěstovaném ovsu.



Příloha 4: Graf procentuálního zastoupení hodnocených fenolických kyselin v konvenčně pěstovaném ovsu.



Příloha 5: Statistické hodnocení vlivu odrůdy na obsah fenolických kyselin bez ohledu na pěstební systém.

Č. buňky	Tukeyův HSD test; proměnná SUMA FK (Tabulka1) Přibližné pravděpodobnosti pro post hoc testy Chyba: meziskup. PČ = 2519,2, sv = 55,000					
	Odrůda	KERTAG	KOROK	PATRIK	RAVEN	SELDON
		351,45	354,99	416,26	411,28	341,75
1	KERTAG		0,999816	0,020686	0,039076	0,989516
2	KOROK	0,999816		0,032625	0,059834	0,966727
3	PATRIK	0,020686	0,032625		0,999272	0,005431
4	RAVEN	0,039076	0,059834	0,999272		0,010940
5	SELDON	0,989516	0,966727	0,005431	0,010940	

Příloha 6: Statistické hodnocení vlivu odrůdy na obsah fenolických kyselin v ovsu pěstovaném v ekologickém zemědělství.

Č. buňky	Tukeyův HSD test; proměnná FK µg/g sušiny Přibližné pravděpodobnosti pro post hoc testy Chyba: meziskup. PČ = 1796,9, sv = 25,000					
	Odrůda EKO	1	2	3	4	5
		351,04	370,29	407,78	453,11	312,81
1	KERTAG		0,932268	0,172516	0,002805	0,534040
2	KOROK	0,932268		0,552469	0,018330	0,163293
3	PATRIK	0,172516	0,552469		0,367862	0,005650
4	RAVEN	0,002805	0,018330	0,367862		0,000178
5	SELDON	0,534040	0,163293	0,005650	0,000178	

Příloha 7: Statistické hodnocení vlivu odrůdy na obsah fenolických kyselin v ovsu pěstovaném v konvenčním zemědělství.

Efekt	Jednorozměrné testy významnosti pro FK $\mu\text{g/g}$ sušiny Sigma-omezená parametrizace Dekompozice efektivní hypotézy				
	SČ	Stupně volnosti	PČ	F	p
Abs. člen	4135745	1	4135745	1755,004	0,000000
Odrůda KONV	25422	4	6356	2,697	0,053812
Chyba	58914	25	2357		

Příloha 8: Statistické hodnocení množství *p*-kumarové kyselin v jednotlivých odrůdách ovsa.

Efekt	Jednorozměrné testy významnosti pro <i>p</i> -kumarovou kyselinu (Tabulka1) Sigma-omezená parametrizace Dekompozice efektivní hypotézy				
	SČ	Stupně volnosti	PČ	F	p
Abs. člen	37482,22	1	37482,22	199,7956	0,000000
ODRŮDA	5626,67	4	1406,67	7,4981	0,000068
Chyba	10318,15	55	187,60		