

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra chemie



**Fakulta agrobiologie,
potravinových a přírodních zdrojů**

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

Diplomová práce

Bc. Adéla Antošová

Výživa a potraviny

Ing. Luboš Paznocht, Ph.D.

© 2022 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci „Obsah biologicky aktivních látek v obilovinách 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 13.4. 2022

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala Ing. Luboši Paznochtovi, Ph.D. za vstřícnost, ochotu, trpělivost, a především za věcné rady i připomínky k mé práci. Chtěla bych mu zde poděkovat i za vedení praktické části práce a pomoc při její realizaci v laboratoři ČZU a následném zpracování výsledků.

Za poskytnutí vzorků ovsa pro potřeby této diplomové práce děkuji prof. Ing. Ivaně Capouchové, CSc. z Katedry agroekologie a rostlinné produkce FAPPZ ČZU.

Dále děkuji celé své rodině za podporu, pomoc a trpělivost během mého studia.

Obsah biologicky aktivních látek v obilovinách z produkce konvenčního a ekologického zemědělství

Souhrn

Oves se vrací do jídelníčku pro své dobré nutriční vlastnosti. Ovesné zrna obsahuje velké množství tuku (5,70 g/100 g sušiny zrna) a bílkovin (12,6 g/100 g sušiny zrna), naopak obsahuje menší množství škrobu (40,1 g/100 g sušiny zrna) oproti jiným obilovinám. Pšenice, jejíž spotřeba je podstatně vyšší, obsahuje 11,7 g bílkovin, 2,20 g tuku a 59,2 g škrobu ve 100 g sušiny zrna. Oves má vysoký obsah minerálních látek – 2,90 g/100 g sušiny zrna (pšenice: 1,50 g/100 g sušiny zrna). Nutričně významnou složkou ovesného zrna jsou beta-glukany (3,2-6,8 g/100 g sušiny zrna), které jsou součástí vodorozpustné vlákniny a řada dalších látek, z nichž mnohé vykazují antioxidační vlastnosti (např. polyfenoly, fenolické kyseliny, tokoly).

Volné radikály jsou molekuly, atomy nebo iony s nepárovým elektronem ve valenční vrstvě se schopností samostatné existence a způsobují oxidační stres buňky. Volné radikály se do lidského organismu mohou dostávat z vnějšího prostředí nebo přirozeně vznikat v mitochondriích při procesu dýchání. Antioxidanty jsou molekuly, které omezují nebo zabráňují oxidační destrukci látek a mají ochrannou funkci, tlumí radikálové řetězové reakce.

Pro praktickou část bylo využito pět odrůd ovsa setého ze dvou lokalit (Praha-Uhřetěves, České Budějovice), pěstovaných ve dvou režimech produkce (konvenční, ekologická). Ve vzorcích byl stanoven celkový obsah polyfenolů Folin-Ciocalteuovou metodou a antioxidační aktivita metodou zhasení radikálu DPPH. Naměřené hodnoty celkového obsahu polyfenolů se pohybovaly od 468 (odrůda Korok) do 532 μg ekv. gallové k./g sušiny zrna (odrůda Patrik). Naměřené hodnoty antioxidační aktivity se pohybovaly od 329 (odrůda Patrik) do 380 μg ekv. trolox/g sušiny zrna (odrůda Seldon). Vzorky z ekologické produkce vykazovaly mírně vyšší hodnoty antioxidační aktivity i celkového obsahu polyfenolů, ale rozdíl oproti konvenční produkci nebyl statisticky významný. Statisticky významný nebyl ani vliv lokality pěstování a odrůdy na uvedené parametry zkoumaných vzorků ovsa. Je zřejmé, že variabilita celkového obsahu fenolických látek a antioxidační aktivity mezi vzorky byla dána především genotypem. Závislost antioxidační aktivity na celkovém obsahu polyfenolů zrn nebyla prokázána.

Klíčová slova: antioxidanty; fenolické látky; nutriční kvalita; pěstební technologie; spektrofotometrie; výživa

Content of biologically active substances in cereals from the production of conventional and organic farming

Summary

Oats are featuring more heavily in our diets again thanks to their good nutritional properties. Oat grains contain a large amount of fat (5.70 g/100 g dry grain) and protein (12.6 g/100 g dry grain), and contrastingly a smaller amount of starch (40.1 g/100 g dry grain) compared to other cereals. Wheat, which is consumed to a significantly larger degree, contains 11.7 g of protein per 100 g dry matter, 2.20 g of fat per 100 g dry matter and 59.2 g starch per 100 g dry grain. Oats have a high mineral content – 2.90 g/100 g dry grain (wheat: 1.50 g/100 g dry grain). One nutritionally significant component of oat grains comprises beta-glucans (3.2-6.8 g/ 100 g dry grain), which are soluble fibre components and a number of other substances, many of which have antioxidant properties (eg. polyphenols, phenolic acids, tocols).

Free radicals are molecules, atoms or ions with an unpaired valence electron which can exist independently and cause oxidative stress in cells. Free radicals can enter the human body from the external environment or are produced naturally in the mitochondria during the process of respiratory. Antioxidants are molecules which limit or prevent the oxidative destruction of substances and have a protective function, stopping chain reactions.

Five oat varieties sown at two locations (Prague-Uhřetěves, České Budějovice) grown using two methods of production (conventional, organic) were used for the practical part of the study. The Folin-Ciocalteu method was used to determine the total polyphenol content, and the DPPH radical scavenging method was used to determine antioxidant activity. The total polyphenol content measured ranged from 468 (Korok variety) to 532 µg GAE/g dry grain (Patrik variety). The values of antioxidant activity measured ranged from 329 (Patrik variety) to 380 µg Trolox eq./g dry grain (Seldon variety). Samples from organic production showed slightly higher antioxidant activity values and total polyphenol content, but the difference compared to conventional production was not statistically significant. The effect of growing location and variety on specified parameters were also not statistically significant for the samples of oats examined. It is evident that in the samples examined, the variability of the total phenolic substance content and antioxidant activity between the samples was mainly due to the genotype. Dependence of antioxidant activity on total polyphenol content of the grains was not proven.

Keywords: antioxidants; phenolic substances; nutritional quality; growing technology; spectrophotometry; nutrition

Obsah

1	Úvod	8
2	Vědecká hypotéza a cíle práce	9
3	Literární rešerše	10
3.1	Oves setý	10
3.1.1	Pěstování ovsa	10
3.1.2	Odrůdy ovsa	11
3.1.3	Složení ovesného zrna	11
3.2	Pšenice setá	14
3.3	Ječmen setý	15
3.4	Žito seté	16
3.5	Ekologické zemědělství	17
3.6	Konvenční zemědělství	18
3.7	Volné radikály	18
3.8	Oxidace tuků	18
3.9	Antioxidanty	20
3.9.1	Mechanismus účinku	20
3.9.2	Antioxidační aktivita a kapacita	20
3.9.3	Výskyt antioxidantů	21
3.9.4	Pozitivní účinky antioxidační aktivity	21
3.9.5	Metody stanovení antioxidantů	21
3.9.5.1	Metody založené na eliminaci radikálů	22
3.9.5.2	Metody založené na hodnocení redoxních vlastností látek	24
3.10	Polyfenoly	24
3.10.1	Metody stanovení polyfenolů	26
3.11	Fenolické antioxidanty	27
3.11.1	Fenolické kyseliny	27
3.11.2	Flavonoidy	28
4	Metodika	32
4.1	Charakteristika analyzovaných vzorků	32
4.1.1	Charakteristika použitých odrůd ovsa	32
4.1.2	Stanoviště Praha-Uhřetěves	33
4.1.3	Stanoviště České Budějovice	33
4.2	Použité chemikálie a přístroje	34
4.2.1	Chemikálie	34
4.2.2	Přístroje	34
4.3	Metody stanovení	34
4.3.1	Stanovení antioxidační aktivity metodou DPPH	34

4.3.2 Stanovení celkového obsahu polyfenolů Folin-Ciocalteuovou metodou .	35
5 Výsledky.....	37
5.1 Stanovení antioxidační aktivity metodou DPPH.....	37
5.2 Stanovení celkového obsahu polyfenolů Folin-Ciocalteuovou metodou ...	39
6 Diskuze.....	43
6.1 Stanovení antioxidační aktivity.....	43
6.2 Stanovení celkového obsahu polyfenolů.....	44
7 Závěr	47
8 Literatura.....	48
9 Samostatné přílohy	I

1 Úvod

Obilniny jsou jedny z nejvýznamnějších zemědělských plodin světa, které zabezpečují výživu lidstva i zvířat a jsou používány k průmyslovému zpracování. Na území České republiky zaujímají většinu obdělávaných zemědělských ploch. Právě cereálie jsou jeden z nejpůvodnějších zdrojů obživy lidstva a významnou roli v jídelníčku lidské populace zaujímají dodnes. Obilná zrna jsou pro člověka zdrojem sacharidů (především polysacharidů), ale i bílkovin, vitaminů skupiny B a biologicky aktivních látek.

Obilniny jsou pěstovány v konvenčním i ekologickém způsobu zemědělské výroby. Většina produkce je však soustředěna v konvenčním zemědělství. Konvenční způsob produkce vykazuje vyšší hektarové výnosy. Ekologická produkce cereálií se soustředí spíše v horských a podhorských oblastech, kde je často v jednom hospodářství přítomna rostlinná i živočišná výroba. Lze říci, že v ekologickém zemědělském systému se častěji pěstují obilniny minoritní a méně tradiční.

Cereálie a celozrnné výrobky jsou zdrojem vlákniny a látek s antioxidačním účinkem, jsou zdrojem například polyfenolů, které mají vzhledem k přítomnosti aromatických kruhů potenciálně antioxidační vlastnosti. Účinky fenolických látek závisí na jejich rozpustnosti a následném vstřebávání v lidském těle. Antioxidanty se vyznačují ochranou před reaktivními formami kyslíku (volné kyslíkové radikály), které jsou jimi zhašeny. Volné radikály napadají tělní buňky a mohou způsobovat vážná onemocnění. Sloučeniny s antioxidační aktivitou mají prokazatelně pozitivní vliv na lidské zdraví a jsou účinné v prevenci některých onemocnění (např. kolorektální karcinom, hypercholesterolemie, předčasné stárnutí).

2 Vědecká hypotéza a cíle práce

Cíle práce:

- 1) Zpracovat literární rešerši s tématem vlivu pěstebního systému na nutriční kvalitu obilného, resp. ovesného zrna.
- 2) Stanovit spektrofotometricky celkový obsah fenolických látek a antioxidační aktivitu ovesného zrna.
- 3) Vyhodnotit vliv pěstebního systému na celkový obsah fenolických látek a antioxidační aktivitu produktů.

Hypotézy:

- 1) Zrno ovsa z ekologického systému produkce se vyznačuje vyšším obsahem fenolických látek oproti zrnu pocházejícímu z produkce konvenční.
- 2) Zrno ovsa se vyznačuje vyšší antioxidační aktivitou oproti jiným běžně konzumovaným obilovinám.

3 Literární rešerše

3.1 Oves setý

Oves setý (*Avena sativa* spp.) je řazen mezi obilniny a lze ho považovat za jednu z nejstarších kulturních plodin. Tento fakt potvrzují nálezy z mladší doby kamenné z oblasti Mezopotámie, v okolí řek Eufrat a Tigris. Do střední Evropy se oves dostal jako plevelná rostlina rostoucí mezi ječmenem a pšenicí, z oblasti Malé Asie asi během 5. století našeho letopočtu (Bulková 2011).

Botanicky je oves řazen mezi lipnicovité rostliny (*Poaceae*). Oves setý je vyšlechtěn z ovsa hluchého (*Avena fatua*), který je v současnosti významným polním plevelem (Gajdošová & Šturdík 2004). Oves má mohutnou kořenovou soustavu, s dobrou sorpční schopností (Andrzejewska et al. 2019). Listy jsou špičaté, listová ouška mají listy obvykle velmi malá, někdy zcela chybějí. Oproti tomu jazýček je velmi vyvinutý, vejčitého tvaru se zubatým okrajem (Boeck et al. 2018). Stéblo dosahuje různé výšky až do 1,6 m dle odrůdy, výživy a vláh. Stéblo je duté, dělené kolénky na 4–8 článků. Oves se vyznačuje výraznou apikální dominancí, tvoří mnoho odnoží, obvykle 4–5 (Boeck et al. 2018; Andrzejewska et al. 2019).

Největší objem produkce obilovin připadá na Čínu, USA a Indii. Pro pěstování ovsa jsou nejvhodnější podmínky mírného podnebí, stejně jako pro pšenici nebo ječmen. Obiloviny celkově tvoří významnou součást výživy člověka a jsou pro velkou část populace nejvýznamnější složkou potravy. Jejich význam je zde i z hlediska agronomického a ekonomického, protože jsou dobře skladovatelné (Gajdošová & Šturdík 2004; Bulková 2011).

3.1.1 Pěstování ovsa

Oves se dobře přizpůsobuje různým typům půdy i kyselému pH, je tudíž schopen produkce i v lokalitách, kde se jiným obilninám příliš nedaří. Dobře snáší chladné a vlhké klima, právě proto je pěstován v severských oblastech nebo na úpatí Himalájí (Mushtaq et al. 2014). Z hlediska půdního i klimatického patří oves mezi nenáročné plodiny. Nejvíce se mu daří v kyselých půdách jako jsou hlinité či jílovité. Vhodné jsou těžké a humózní půdy, které dobře zadržují vlhkost, a to zejména v nepříznivých podmínkách. Naopak půdy suché a lehké jsou pro pěstování ovsa nevhodné. Pro dosažení kvalitních výnosů je oves pěstován v řepařských a bramborářských výrobních oblastech. Výsev ovsa v podmínkách střední Evropy je ideální v polovině března. Pro dozrání ovsa a dosažení správné kvality a velikosti zrna jsou vhodné teplejší a sušší podmínky. Dozrává v červnu, pro sklizeň je klíčová vlhkost zrna, která by měla být 14–16 % (Mushtaq et al. 2014; Andrzejewska et al. 2019).

V Evropě je oves plodina pěstovaná pro produkci zrn a slámy. Je sklizená buď pouze zrno, nebo celá rostlina ve voskové zralosti pro výrobu siláže (Andrzejewska et al. 2019).

Při správném dodržování agrotechnických zásad dosahuje výnosu zrna ovsa 4–5 tun na hektar. Hmotnost tisíce zrn (HTZ) se v závislosti na odrůdě pohybuje od 20 do 50 g. Variabilita HTZ je zapříčiněna různou velikostí zrna, která je způsobena různou velikostí a počtem klásků. Vliv na tvorbu výnosu má i velikost pluch nebo počasí během vegetace a sklizně (Boeck et al. 2018).

Porost ovsa mohou ohrožovat choroby virové nebo houbové. Z chorob virových je významná virová žlutá zakrslost obilnin a virová zakrslost obilnin. Mezi choroby houbové,

kteře napadají oves jsou řazeny sněť prašná, sněť ovesná, padlí travní, rez ovesná a rez černá. Škůdci se za normálních podmínek (vhodné klima, zdravý porost, odpovídající hnojení a preventivní postřik) nevyskytují, rostliny ovesa mohou být napadány křísem nebo mšicemi (Loskutov et al. 2021).

Rostliny ovesa nejsou sice náchylné na nepříznivé klimatické podmínky, ale dle Chappella et al. (2017) bylo prokázáno, že oves pěstovaný v jižnějších oblastech má lepší složení výživových látek v znu. V úvodní studii byly srovnávány agronomické vlastnosti a nutriční obsah látek v ovsu pěstovaném v severských oblastech po dobu tří let s ovsem pěstovaným v jižnějších oblastech. Ve srovnání s dalšími vzorky zrna zde uvádí případy, kde oves z jižnějších lokalit měl výrazně vyšší obsah beta-glukanů a nižší obsah sodíku oproti ovsu ze severnějších oblastí. Nižší obsah beta-glukanů může být důsledkem vyšších srážkových úhrnů a nižších teplot během měsíců, kdy dochází k plnění zrna a zrání (Chapell et al. 2017).

3.1.2 Odrůdy ovesa

V České republice jsou vytvářeny seznamy doporučených odrůd, jejichž cílem je usnadnit orientaci na trhu a poskytovat nezávislé informace o odrůdách a jejich vhodnosti pro pěstování v podmínkách České republiky. Všechny odrůdy jsou testovány v rámci registračního testování ÚKZÚZ (Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský). Provádí se testy na výnos zrna, odolnost proti poléhání, odolnost proti napadení rzi ovesnou a odolnost proti napadení komplexem listových skvrnitostí (Bulková 2011).

Doporučených odrůd ovesa je v České republice několik. První z nich je odrůda Atego, hmotnost tisíce zrn se pohybuje okolo 35 g, zrno je malé a rizikem je malý výnos. Další odrůdou je Bingo, HTZ je 39 g, jeho předností je velmi vysoký výnos čistých obilek a nízká pluchatost. Naopak rizikem je nízká objemová hmotnost. Bison je raná odrůda, která je odolná proti napadení padlím. Její hmotnost tisíce zrn je 43 g. Další ranou odrůdou je Tim, jehož pěstitelskou předností je vysoký výnos zrna a velmi vysoký výnos čistých obilek. HTZ je 39 g. Poseidon je polopozdní odrůda vyznačující se vysokým výnosem zrna a čistých obilek, hmotnost tisíce zrn je 40 g. Polopozdní odrůdou je i Ozon, který se též vyznačuje vysokým výnosem zrn, HTZ je 39 g a výrazná pěstitelská rizika nemá. Korok je odrůda, která se vyznačuje pěstitelským rizikem poléhání rostlin. Je to raná odrůda, zrno je středně velké a hmotnost tisíce zrn je 36 g. Odrůdou s malými zrny je Norbert, proto i jeho hmotnost tisíce zrn je poměrně nízká oproti jiným odrůdám a činí 35 g. Odrůdou s takto nízkou HTZ (35 g) je i odrůda ovesa Sagar, avšak ta se řadí mezi odrůdy krmné. Kertag je polopozdní odrůda, rostliny jsou středně vysoké a málo odolné vůči poléhání. Zrno Kertagu je středně velké, pluchy jsou žluté a pluchatost je nízká. Polopozdní odrůdou je i Raven, který je vhodný především pro krmné účely, jeho rostliny jsou středně vysoké a méně odolné proti poléhání. Pěstitelským rizikem odrůdy Raven je nízký výnos zrna a čistých obilek (ÚKZUZ 2017).

3.1.3 Složení ovesného zrna

Obilka se skládá z obalových vrstev, škrobnatého endospermu a klíčku. Funkcí obalových vrstev je chránit endosperm a klíček před poškozením nebo vysycháním. Obalová vrstva se dělí na dvě části: svrchnější oplodí (složené především z celulózy) a osemení, ty dohromady tvoří až 30 % hmotnosti zrna. Endosperm je tvořen především škrobem, který

představuje 40 % endospermu. V menší míře se zde nachází i bílkoviny a celkově je endosperm až 86 % hmotnosti zrna. Lipidy jsou rovnoměrně zastoupeny v celém obilném zrně. Hlavní funkcí endospermu je výživa embrya a následně jeho klíčku. Klíček a endosperm obsahují látky, které jsou potřebné pro růst nové rostliny. Klíček s endospermem jsou spojeny pomocí tzv. štítku. Endosperm představuje nejvýznamnější částí zrna při výrobě mouky. Právě před zpracováním je třeba odstranit klíček, protože by mohlo docházet k oxidativním a enzymovým změnám, které jsou v potravinářství nežádoucí. Mezi endospermem a obalovými vrstvami se nachází aleuronová vrstva, která obsahuje vysoký podíl bílkovin (až 30 %) a minerálních látek (okolo 10 %) (Bulková 2011; Rauf et al. 2019; Loskutov et al. 2021).

Obalové vrstvy jsou z celého zrna dle Chen et al. (2018) nejvýznamnějším zdrojem antioxidantů. V úvodní studii bylo zjištěno, že obsah fenolických sloučenin a antioxidační vlastnosti ovesných otrub jsou ve většině případů vyšší než u odpovídajících celých zrn. Oves je dle článku Capouchové et al. (2020) plodinou s velkým potenciálem k tomu být zařazován mezi zdroje antioxidantů.

Obiloviny se vyznačují vysokým obsahem sacharidů (průměr je okolo 63 % hmotnosti zrna) a významný obsah bílkovin (13 % hmotnosti zrna), minerálních látek i vitaminů. Právě proto se oves stává populárnější součástí lidské výživy, obsahuje velké množství prospěšných látek, které poskytují organismu potřebné živiny a ovlivňují tím jeho zdravotní stav. Velkou předností ovesného zrna je vysoký obsah bílkovin a pro tělo výhodný poměr (dobře využitelný) jednotlivých aminokyselin. Obsah esenciálních aminokyselin (především methioninu a lyzinu) určuje biologickou hodnotu 56, která je u ovsa vyšší než u ostatních obilovin (např. pšenice má biologickou hodnotu bílkovin 44). Limitující aminokyselinou je lyzin. Většina bílkovin je tvořena globuliny, které tvoří 50-80 % celkového obsahu bílkovin v zrně. Globuliny mají příznivý obsah esenciálních aminokyselin, a proto má oves lepší nutriční vlastnosti oproti jiným cereáliím (Anderson 2014; Rauf et al. 2019). Složkou ovesného zrna jsou ve většině případů i lepkové bílkoviny. V případě ovsa je to prolamin, který se nazývá avenin. V těchto bílkovinách je vysoký obsah glutaminu a prolinu. Právě proto ne každá odrůda ovsa je vhodná pro bezlepkovou dietu, navíc oves je doporučovaný pouze při celiakii v remisi, což znamená v klidovém stavu bez obtíží u mírnější formy onemocnění (Hoffmanová et al. 2019). Vhodnost ovsa pro bezlepkovou dietu je předmětem mnoha studií (Smulders et al. 2018; Aparício-García et al. 2021). Ke zjištění potenciální toxicity bílkovin dané odrůdy ovsa jsou využívány G₁₂ protilátky. Podle stupně afinity k protilátkám jsou odrůdy ovsa rozděleny do tří skupin. První skupina s vysokou reaktivitou, druhá skupina vykazující pouze mírnou reaktivitu a třetí skupina, která s protilátkami nereaguje. Reaktivita T- buněk, izolovaných od pacientů s celiakií s každou z těchto klasifikovaných skupin, koreluje s reaktivitou G₁₂ protilátek. Real et al. 2012 zjistili, že peptidy s nejvýznamnější reaktivitou vykazovaly největší imunotoxicitu. Na rozdíl od toho u nereaktivních peptidů nedošlo ke spuštění proliferace T-buněk, byly tedy určeny jako netoxické. Ve studii Real et al. (2012) bylo tedy prokázáno, že existuje reaktivita protilátek G₁₂ u některých kultivarů ovsa a je dokázána jejich korelace s T-lymfocyty. Real et al. (2012) rovněž zjistili, že není přímý vztah mezi množstvím obsaženého lepku a mírou imunotoxického účinku. Oves má mnoho kultivarů, které se liší obsahem bílkovin a tím pádem i aveninů zodpovědných za různou afinitu a tvorbu protilátek. Potenciální toxické peptidy u ovsa se navíc mohou lišit i v sekvencích aminokyselin (Comino et al. 2011).

Tuk tvoří 7 % hmotnosti, ovesné zrna obsahuje vysoký podíl esenciální mastné kyseliny linolové (Rajinder Singh & Belkheir 2013). Nejvýznamnější jsou zastoupeny kyseliny linolová (36-41 %) a olejová (27-37 % obsaženého tuku) (Kouřimská et al. 2021). Oves má oproti ostatním obilovinám více bílkovin, tuků, minerálních látek a méně škrobu (viz tabulka 1).

Tabulka 1: Porovnání složení ovsa s ostatními obilovinami (Bulková 2011; Harland 2015)

Obilovina	Bílkoviny	Tuky	Škrob	Minerální látky
oves	12,6	5,70	40,1	2,90
pšenice	11,7	2,20	59,2	1,50
žito	11,6	1,70	52,4	1,90
ječmen	10,6	2,10	52,2	2,30
kukuřice	9,20	3,80	62,6	1,30
rýže	7,40	2,40	70,4	1,20

Pozn.: uvedeno v gramech na 100 g sušiny

Významnou složkou jsou i sacharidy, a to hlavně díky obsažené vláknině (10 % hmotnosti zrna), jedná se především o vlákninu rozpustnou. Polysacharidy tvoří 66 %, jednoduché sacharidy pouze 1 % hmotnosti zrna (Prugar 2008). Ovesné zrna obsahuje polysacharidy beta-glukany (3,2-6,8 %), které prokazatelně snižují hladinu cholesterolu v krvi a tím i riziko ischemické choroby srdeční. Jedná se o lineární řetězce polysacharidů složené z β -D-glukopyranosových jednotek vázaných glykosidovými vazbami v polohách 1 \rightarrow 3 a 1 \rightarrow 4. Beta-glukany patří do heteroglukanů, které společně s heteroxylany tvoří dvě základní skupiny necelulosových polysacharidů – hemicelulos, které vyplňují prostory mezi celulosovými vlákny v buněčných stěnách rostlin. Jedinou strukturální jednotkou je glukosa. Postranní řetězce hrají významnou roli při aktivaci imunitního systému. Pokud je beta-glukan větvený, platí, že čím více je daný beta-glukan rozvětvený a jeho molekulová hmotnost je větší, tím více dochází k aktivaci imunitního systému. Obvykle se nacházejí v aleuronových nebo subaleuronových buněčných stěnách příslušných obilovin (Velíšek & Hajšlová 2009; Santolaria & Montoro-Huguet 2015). U beta-glukanů byl prokázán i protirakovinný účinek. Princip účinku beta-glukanů při inhibici nádorového bujení souvisí s působením makrofágů, které napadají nádorové buňky a ničí je, lymfocytů, neutrofilů a ostatních buněk nespecifické imunity. Protinádorová činnost je způsobena zejména neutrofily, které mají schopnost ničit nádorové buňky (Daou & Zhang 2012; Rauf et al. 2019). Li (2022) uvádí, že beta-glukany jsou významnou složkou ovesného zrna, která působí preventivně proti kolorektálnímu karcinomu, jejich účinek se zvyšuje navázáním kyseliny ferulové ze stravy. Kyselina ferulová je látka fenolické povahy vyskytující se v buněčných stěnách rostlin (Li 2022).

Dále oves obsahuje flavonoidy, steroly a saponiny, u kterých byla prokázána antioxidační, imunomodulační a protizánětlivá aktivita. Za významný se dá považovat i protinádorový, diuretický, antidiabetický a neurotonický účinek flavonoidů obsažených v ovesném zrna (Rajinder Singh & Belkheir 2013; Santolaria & Montoro-Huguet 2015).

Obsah minerálních látek je v ovsu vyšší než u jiných obilovin. Nejvyšší koncentrace je v obalových vrstvách, v průměru pluchy obsahují 4,9 % popelovin a zrno obsahuje 2,2 % popelovin v sušině. Obsah minerálních látek je závislý na lokalitě a způsobu pěstování. Významný je obsah hořčíku, vápníku, zinku, železa a manganu. Z vitaminů je nejvýznamnější obsah vitamínu E, který je přibližně 30 mg/kg a vitaminy skupiny B: B₁ (5,10 mg/kg), B₂ (1,60 mg/kg), B₆ (8,05 mg/kg) (Harland 2015). Obsah minerálních látek v ovsu v porovnání se zrny některých dalších obilnin je uveden v tabulce 2.

Tabulka 2: Obsah minerálních látek v obilovinách (Bulková 2011, Harland 2015).

Prvek	Pšenice	Ječmen	Oves pluchatý	Oves nahý
g/kg sušiny				
Ca	0,55	0,85	0,86	0,67
Mg	1,10	1,20	3,00	1,30
Na	0,12	0,29	0,15	0,16
K	4,60	5,00	5,00	4,00
Cl	1,00	1,00	0,84	0,94
P	3,30	4,00	3,40	4,20
S	1,60	1,50	1,90	1,60
mg/kg sušiny				
Fe	140	100	120	150
I	0,10	0,10	-	0,10
Mn	35,6	18,5	45,2	55,7
Mo	0,29	0,30	0,70	0,40
Zn	25,8	32,5	26,1	18,6
Cu	4,50	4,20	3,30	3,80
Se	0,40	0,10	-	0,10

3.2 Pšenice setá

Pšenice setá (*Triticum aestivum*) je jednoletá rostlina z čeledi *Poaceae*. Pšenice setá je plodina náročná na živiny a předplodinu, preferuje teplejší a sušší agroklimatické podmínky. Vhodnými předplodinami jsou luskoviny a vojtěška, nevhodné jako předplodina jsou obilniny (Prugar et al. 2008). Z hlediska výživy lidstva je nejdůležitější a nejstabilnější potravinářskou plodinou. Zrna pšenice jsou využívána k výrobě běžného pečiva, chleba, těstovin, krup, snídanových cereálií a pečení dezertů. Je nenahraditelná ve výrobě pečiva z kynutého těsta. Významné je využití v krmivářské oblasti, kde se zkrmují pšeničné šroty, mouky nebo mačkaná zrna. Využívány jsou i vedlejší produkty, sláma jako vedlejší produkt pěstování a pšeničné otruby jsou vedlejším produktem mlýnskému zpracování a využívají se v potravinářství. Dále je využívána pro výrobu škrobu, ethanolu a ekologického paliva (Prugar et al. 2008; Shewry 2009).

Zrno pšenice se skládá z oplodí, osemení, endospermu a klíčku. Chemické složení zrna lze ovlivnit agrotechnickým ošetřením. 60-70 % zrna je tvořeno škrobem, což způsobuje, že pšenice představuje významný zdroj energie ve stravě, škrob je též významný pro pekárenské

zpracování pšenice, protože má schopnost bobtnat ve vodě. Zrno je z 8-13 % tvořeno bílkovinami, zásobní bílkoviny gliadin a glutenin dohromady tvoří lepek. Lepek pozitivně ovlivňuje pekárenské vlastnosti pšenice tím, že způsobuje pružnost a tažnost těsta. V některých případech je však jeho obsah škodlivý, a to zejména pro některé monogastry, kteří nejsou schopni ho trávit. Obsah hrubé vlákniny je v pšeničném zrně nízký (do 2 %) (Blechl et al. 2007; Wieser et al. 2007; Wieser & Kohler 2008). Obsah tuku v této obilovině je nízký, tvoří 1,5-3 % hmotnosti zrna a je obsažen v klíčku. Ve složení tuku převažují nenasycené mastné kyseliny, kyselina linolová (60 % obsažených mastných kyselin) a kyselina olejová (10 % obsažených mastných kyselin) (Wieser et al. 2007).

Obsah vitaminů a minerálních látek je v pšeničném zrně nízký. Vitaminy a minerální látky se ve stopovém množství vyskytují v aleuronové vrstvě a klíčku, na 100 g sušiny obsahuje: 5 mg vitamínu B₃, 3 mg vitamínu E, 1 mg vitamínu B₅. Minerálních látek obsahuje pšeničné zrno maximálně 3 %. Nejvíce zastoupenými prvky jsou draslík (viz. tabulka 2), dále fosfor (viz. tabulka 2), síra (viz. tabulka 2), hořčík (viz. tabulka 2). Vápník, sodík, železo, zinek, bor a měď jsou v této obilovině zastoupeny jen ve stopových množstvích (Prugar et al. 2008).

Biologicky aktivní látky jsou složkou zrna především barevných odrůd pšenice. Tyto biologicky aktivní látky vykazují antioxidační aktivitu, jsou umístěny ve žlutém endospermu (obsah luteinu), purpurovém osemeni (obsah antokyanů) nebo v modré aleuronové vrstvě (též jsou zde obsaženy antokyany) (Liu et al. 2010).

3.3 Ječmen setý

Ječmen setý (*Hordeum vulgare*) je jednoletá ozimá či jarní plodina z čeledi *Poaceae*. Ječmen je dnes využíván především v pivovarnictví a pro krmné účely. Jako potravinářská surovina se využívá pro výrobu krup různých velikostí, ječné mouky, extrudovaných výrobků a vloček. Nejvhodnější pro další zpracovávání jsou odrůdy ječmene bezpluchého (Prugar et al. 2008).

Zrna ječmene jsou větší a špičatější než zrna pšenice a mají světle žlutou barvu. Existují však i barevné odrůdy ječmene, které mají zrno barevné od světle žluté až po fialovou či tmavě modrou barvu (Prugar et al. 2008; Arendt & Zanini 2013). Zrno ječmene se skládá z obalových vrstev, oplodí, osemeni, aleuronové vrstvy, endospermu a klíčku. Aleuronová vrstva obklopující endosperm je tvořena látkami bílkovinné povahy. V této vrstvě proteinů jsou uloženy polyfenoly a barevné sloučeniny. Endosperm je tvořen škrobem a je zdrojem živin pro vyvíjející se embryo (Prugar et al. 2008; Arendt & Zanini 2013).

Obsah škrobu v ječném zrně tvoří 60-68 % sušiny (celkový obsah sacharidů je 78-83 % sušiny zrna), bílkovin ječné zrno obsahuje 8-17 %, tuků jsou 2-3 % sušiny zrna. Významnou složkou ječného zrna je vláknina, celková vláknina se pohybuje od 10 do 34 % sušiny, rozpustná vláknina je 10-20 %. Ječmen má o 20 % více vlákniny než žito a o 40 % vyšší obsah vlákniny než pšenice. Podstatou příznivého působení vlákniny na lidské tělo jsou fyzikálně-chemické vlastnosti polysacharidů, které vlákninu tvoří. Vláknina například reguluje hladinu glukózy v krvi a snižuje hladinu cholesterolu v krevním séru, což působí jako prevence kardiovaskulárních onemocnění. Nejvýznamnější složkou vlákniny ječného zrna jsou beta-glukany, zrno ječmene obsahuje přibližně 0,2-1 % beta-glukanů. V obilce beta-glukany plní funkci stavební (Vasanthan et al. 2002; Prugar et al. 2008).

Obsah bílkovin v ječném zrně je závislý na odrůdě. Obecně však platí, že hlavními zásobními bílkovinami jsou: globuliny, gluteliny a prolaminy, v případě ječmene hordeiny, které jsou zde zastoupeny z 30-50 % z celkového obsahu bílkovin. Hordeiny tvoří 3-5 % sušiny ječného zrna. Z aminokyselin je ječné zrně nejbohatší na kyselinu glutamovou a prolin. Lipidy obsažené v této obilovině se nacházejí v embryu (30 % celkového obsahu) a endospermu (70 % celkového obsahu). Hlavní přítomnou mastnou kyselinou je kyselina linolová. V ječném zrně jsou obsaženy i fytochemikálie. Vitaminy tvoří 5-6 % sušiny, vitaminy skupiny B pak zastupují 1,5-3 % sušiny (Arendt & Zanini 2013). Mezi fytochemické látky jsou řazeny například i fenolické kyseliny, tokoly, steroly nebo foláty. Hladina fytochemických látek může být ovlivňována šlechtěním ječmene, tyto látky vykazují antioxidační aktivitu (Anderson et al. 2008).

3.4 Žito seté

Žito seté (*Secale cereale*) je jednoletá rostlina z čeledi lipnicovité (*Poaceae*). Ve světě je pěstováno jako jařina i ozim, v České republice je však pěstována pouze forma ozimá. Porost žita preferuje lehké písčité půdy s kyselou reakcí. Žito toleruje i půdy chudé na živiny, protože má velmi dobře vyvinutou kořenovou soustavu. Je to rostlina, která je mrazuodolná a na teplo nenáročná, není náročná ani na množství srážek či na předplodinu, často se zařazuje po bramborách. Pro svou snášenlivost nižších teplot je žito pěstováno v oblastech s vyšší nadmořskou výškou a je hojně využíváno v ekologickém způsobu zemědělství. Díky rychlému růstu a bohatému olistění má žito dobrou konkurenční schopnost vůči plevelům. Pěstuje se především v zemích s tradicí žitného či žitno-pšeničného pečiva. Pro dosažení potřebné pekařské jakosti se zrna žita sklízí při vlhkosti 20 %, sklizeň probíhá od července do srpna v závislosti na nadmořské výšce výrobní oblasti (Petr 2008).

Žitná obilka je protáhlého tvaru, je dlouhá až 1 cm a široká přibližně 3,5 mm. Má typickou šedozelenou barvu, povrch obilky je kryt oplodím a o semením, které je tvořeno neškrobovými polysacharidy a ligninem. Největší podíl zrna tvoří endosperm složený ze škrobu a proteinů, hlavními bílkovinami endospermu jsou prolaminy a gluteliny, které určují nevhodnost žitných výrobků pro pacienty trpící celiakií. Celkový obsah dusíkatých látek v žitném zrně je 9-14 % (Petr 2008; Jonsson et al. 2018). Nutričně významnou složkou žitného zrna je vláknina, která představuje přibližně 2 % hmotnosti zrna. Vlákninu obsaženou v žitném zrně tvoří především polysacharidy arabinoxylany, dále beta-glukany, celulóza, lignin a fruktany. Arabinoxylany jsou nejhojněji se vyskytující složkou žitné vlákniny (tvoří 6-12 % sušiny zrna) a spolu s beta-glukany jsou složkou rozpustné vlákniny. Rozpustná vláknina obsažená v žitném zrně je důvodem pozitivních účinků žita na lidské zdraví, poskytuje snadno fermentovatelný substrát pro mikrobiotu tlustého střeva. Nerozpustná vláknina, jejíž součástí je například lignin, pozitivně ovlivňuje objem stolice a zkracuje dobu průchodu tráveniny tlustým střevem, tím snižuje riziko zácpy. Jako další účinek je uvedena prevence kolorektálního karcinomu, riziko jeho vzniku prokazatelně klesá se zvyšující se konzumací celozrnného pečiva (Jonsson et al. 2018).

Součástí žitného zrna jsou i nutričně hodnotné biologicky aktivní sloučeniny, např.: fenolové kyseliny, lignany, alkylresorcinoly a benzoxazinoidy. Tyto sloučeniny jsou nejčastěji vázány na struktury vlákniny a uvolňují se během trávení v tenkém střevě nebo jsou přeměněny

střevní mikrobiotou. Alkylresorcinoly jsou fenolické sloučeniny vyskytující se v obilovinách, a to především v obalových vrstvách zrna. Tyto biologicky aktivní sloučeniny jsou absorbovány v tenkém střevě a transportovány pomocí lipoproteinů, čímž kladně ovlivňují hladinu cholesterolu v krvi. Benzoxazinoidy jsou nejkratší dobu známou biologicky aktivní složkou žitného zrna a mají imunoregulační a protirakovinné účinky. V žitném zrně byla nalezena celá řada fytochemikálií a biologicky aktivních látek, nicméně posouzení jejich účinků je složité, protože se kryjí s účinky vlákniny (Jonsson et al. 2018).

3.5 Ekologické zemědělství

Ekologické zemědělství vzniklo v druhé polovině minulého století a hlavním důvodem byla narůstající negativa tehdejšího přístupu k zemědělství. Mezi taková negativa je řazeno nadužívání pesticidů a přílišné hnojení plodin. Dopadem tohoto přístupu na životní prostředí je zvyšující se eroze půd a znečištění podzemních vod či ovzduší. Ekologické zemědělství je vnímáno jako pomocné řešení klesající biodiverzity, která právě kvůli nadužívání pesticidů významně klesá (Šarapatka & Urban 2006; Schrama et al. 2018). Hlavními oblastmi ekologického zemědělství v České republice jsou horské a podhorské oblasti (Šarapatka & Urban 2006). Ekologické zemědělství poskytuje důležité environmentální výhody, jako je zastavení používání škodlivých chemikálií, šetření vodou a zvýšení diverzity organismů. Na druhou stranu má nižší výnosy oproti zemědělství konvenčnímu a tím pádem sníženou produktivitu (Donald 2003; Gomiero et al. 2011; Schrama et al. 2018).

Ekologické zemědělství je zvláštní druh zemědělského hospodaření s důrazem na životní prostředí, šetrné zásahy do ekosystémů a welfare zvířat. Je to hospodaření v souladu s přírodou, které je zajištěno zákazem používání látek a postupů, které zamořují či znečišťují životní prostředí nebo zvyšují riziko jeho kontaminace. Ekologické zemědělství se snaží vyhybat i kontaminaci potravního řetězce (Šarapatka & Urban 2006; Gomiero et al. 2011).

Mezi hlavní, ekologicky šetrné agrotechnické postupy patří například odstraňování plevelů mechanicky. Zakázané jsou GMO (geneticky modifikované organismy). GMO rostliny se vyznačují dosahováním vyšších výnosů nebo zlepšením vlastností změnou genetické informace. Ekologická produkce využívá zelené hnojení nebo přirozené nepřátele škůdců. Ústřední roli hraje osevní postup. Dodržováním osevních postupů zajišťuje zemědělec půdní úrodnost a tím i stabilitu výnosů. Pro osevní postup je zásadní střídání plodin (Šarapatka & Urban 2006). Schrama et al. (2018) uvádí, že ekologické zemědělství dlouhodobě vede ke snížení obsahu dusičnanů v podzemních vodách, zlepšení půdní struktury, vyššímu obsahu organické hmoty a humusu v půdě. Schrama et al. (2018) dále uvádějí i snížení výskytu háráték jako škůdců polních plodin.

Největší význam v ekologickém pěstování mají obilniny. Pšenice a žito jsou pěstovány na mouku, oves pro výrobu vloček. Produkty ekologického zemědělství jsou označeny jako BIO a je u nich zákonem zakázáno používání potravinářských přídatných látek (Šarapatka & Urban 2006; Gomiero et al. 2011).

3.6 Konvenční zemědělství

Konvenční zemědělství se soustředí na ekonomickou složku zemědělství, tedy na co nejvyšší výnos a maximalizaci zisku. Je to zemědělský systém, který je charakterizovaný používáním velkého množství mechanizace, agrochemikálií jako jsou pesticidy a hnojiva. Dále je typické pěstování monokultur. Malá druhová pestrost je důvodem jednostranného čerpání živin z půdy. Monokultury jsou náchylné k napadení chorobami nebo škůdci, proto se v tomto typu hospodaření hojně využívají pesticidy, je zde povoleno jakékoliv minerální hnojení (Eicher 2003; Donald 2003).

Konvenční zemědělství přináší pozitiva i negativa. Hlavním a převažujícím pozitivem je ekonomická efektivita. Mezi negativa se řadí rezistence a celkově environmentální problémy. Rezistence je nejčastěji na herbicidy či insekticidy a znamená odolnost rostlinného či živočišného druhu vůči prostředkům ochrany rostlin. Negativem je i používání agrochemikálií, avšak jejich role je zde nezastupitelná. Je to rychlá a účinná možnost zásahu a zvýšení výnosu (Šarapatka & Urban 2006, Schrama et al. 2018).

3.7 Volné radikály

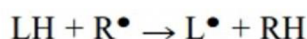
Z chemického hlediska jsou volné radikály jakékoliv molekuly, atomy nebo iony s nepárovým elektronem ve valenční vrstvě se schopností alespoň krátké samostatné existence. Jsou velmi nestálé, reaktivní a vyhledávají elektron do páru. Radikály mohou být například kyslíkové (ROS – reactive oxygen species) nebo dusíkové (RNS – reactive nitrogen species). Tvorba v lidském těle probíhá enzymaticky nebo neenzymaticky. Při enzymatickém vzniku volných radikálů v lidském těle dochází ke katalýze procesů vzniku některými v těle přítomnými enzymy. Takovým enzymem je například NADPH-oxidasa, což je enzym přítomný především ve fagocytech. Dalším takovým enzymem je cyklooxygenasa, která katalyzuje vznik ROS a vede k syntéze prostaglandinů. Při enzymatických reakcích dochází tedy k respiraci, syntéze prostaglandinů, fagocytóze. Neenzymaticky vznikají v reakcích kyslíku s organickými sloučeninami. Do lidského těla se mohou dostávat i z okolního prostředí, například vdechováním cigaretového kouře, expozicí ozonu nebo znečištěným ovzduším (Lobo et al. 2010). Volné radikály jsou vytvářeny metabolismem (v mitochondriích) a podílejí se na regulaci přenosu signálů v těle, aktivují receptory, poškozují části buněk a způsobují degenerativní onemocnění. Oxidační stres vede k poškození tkání a buněk (Suhr 2014). Oxidační stres je nerovnováha mezi množstvím volných radikálů a antioxidační kapacitou buňky. Tento stav buňky se může podílet na procesech stárnutí a na některých patologických dějích v buňkách, které mohou vést k závažným onemocněním (např. nádorová onemocnění nebo Parkinsonova choroba) (Finaud et al. 2006).

3.8 Oxidace tuků

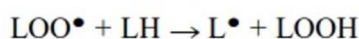
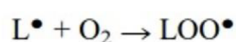
Řada chemických (přítomnost enzymů, ionů kovů, vhodného substrátu) a fyzikálních (teplota, světlo) faktorů může vést k procesu oxidace tuků. Může probíhat třemi mechanismy: neenzymatická radikálem zprostředkovaná řetězová reakce, neenzymatická neradikálová fotooxidace a enzymatická reakce. Nejčastěji oxidace tuků (neboli žluknutí) vede ke tvorbě

volných radikálů, a to mechanismem autooxidace. Autooxidace tuků probíhá během jejich skladování a je podmíněna přítomností vzdušného kyslíku (tripletový O₂ se chová jako biradikál a má dva nepárové elektrony). Autooxidace probíhá jako řetězová reakce na dvojných vazbách nenasyčených mastných kyselin a je potlačitelná antioxidanty (Antolovich et al. 2001; Heleno et al. 2015).

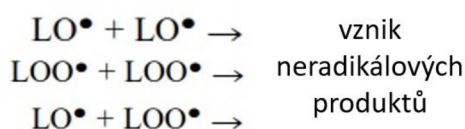
Autooxidace tuků probíhá ve třech fázích jako radikálová reakce, a to sice iniciace, propagace, terminace (reakční schémata jsou znázorněna na obrázku 1).



iniciace



propagace



terminace

Obrázek 1: Schéma reakce oxidace lipidů (upraveno dle Antolovich 2001).

Popis obrázku: LH představuje lipidový substrát, R[·] je oxidační radikál, který se naváže s H lipidu za vzniku lipidového radikálu L[·]. LOO[·] představují peroxylový radikál, který je řetězovým nosičem reakce, může být štěpen na další produkty (např. alkoholy, ketony, aldehydy, uhlovodíky, polymery). Nebo vzniká radikál LO[·], radikály reagují spolu za vzniku produktů bez radikálové povahy. Tato reakce je často katalyzována iony kovů (Antolovich 2001).

Iniciace je velmi rychlou reakcí, dochází při ní ke štěpení homolytické vazby C-H (oddělení atomického vodíku). Ke štěpení může dojít i reakcí s jiným volným radikálem nebo s přechodnými kovy. Energie k reakci je získána vlivem UV záření, radioaktivního záření nebo vlivem tepelného záhřevu. Při propagační reakci dochází k tvorbě peroxylového radikálu (LOO[·]) nebo hydroperoxidu (LOOH). Hydroperoxydy jsou primární produkty autooxidace, jsou velmi nestálé, pokud se hromadí v potravině, tak narůstá koncentrace radikálů a urychluje se iniciace. Vznik hydroperoxidů je pomalejší reakcí než vznik peroxylového radikálu, a tím určuje rychlost autooxidace. Z hydroperoxidů vznikají tři typy látek: látky se stejným počtem atomů uhlíku (cyklické peroxidy), látky s nižším počtem atomů kyslíku (aldehydy, uhlovodíky), látky s vyšším počtem atomů uhlíku (oligomery, polymery). Propagace je řetězovou reakcí a může se mnohokrát opakovat. Při terminaci dochází k zastavení řetězové reakce, protože se zvyšující se koncentrací volných radikálů se zvyšuje pravděpodobnost reakce

dvou radikálů za vzniku stabilních produktů (neradikálových) (Antolovich 2001; Waraho et al. 2011; Heleno et al. 2015).

Fotooxidace je oxidace lipidů singletovým kyslíkem O₂, který může reagovat s dvojnými vazbami nenasycených tuků. Excitace singletového kyslíku probíhá působením fotosenzibilizátorů působících za světla. Fotosenzibilizátory jsou sloučeniny působící jako katalyzátory oxidace při ozáření viditelným spektrem světla, jsou to přenašeči absorbované energie a řadí se mezi ně například chlorofyly, hemová barviva, riboflavin, metaloproteiny. Světelné záření urychluje oxidaci lipidů, reakci kyslíku s dvojnou vazbou mastných kyselin vzniká šestičlenný cyklus nebo nestabilní peroxid, který se rozkládá na hydroperoxid (Waraho et al. 2011).

Enzymová oxidace probíhá působením lipoxygenás, které katalyzují oxidaci esenciálních mastných kyselin na hydroperoxydy. Lipoxygenázy se přirozeně vyskytují v potravinářských surovinách a tepelně neopracovaných výrobcích. Existuje několik skupin těchto enzymů, tyto skupiny jsou od sebe odlišovány účinností na různé substráty a optimálními podmínkami pro průběh reakce. Záhřevem lipoxygenás dochází k denaturaci a ztrátě účinnosti, v nich obsažené železo se podílí na katalýze oxidace (Waraho et al. 2011).

3.9 Antioxidanty

Antioxidanty jsou molekuly, které omezují nebo zabraňují oxidační destrukci látek a mají ochrannou funkci. Mezi takové molekuly řadíme endogenní nízkomolekulární antioxidanty (např. glutation, kyselina močová) a látky přírodního původu, které jsou do těla přijímány spolu s potravou (např. vitaminy C a E, karotenoidy). V posledních letech nabývají na popularitě látky přírodního původu, konkrétně polyfenolické sloučeniny, vyskytující se především v obilovinách (obecně v potravinách rostlinného původu). Celková antioxidační aktivita nebo také kapacita představuje souhrn všech látek s antioxidačním účinkem ve vzorku a lze ji stanovit několika možnými metodami a pracovními postupy (Heleno et al. 2015).

3.9.1 Mechanismus účinku

Antioxidanty jsou látky schopné zastavit řetězové radikálové reakce. Poskytují volným radikálům volný elektron a tím potlačují jejich destrukční činnost. Interferují s procesem oxidace lipidů, a to několika způsoby: eliminují vzniknuvší kyslík, redukují vzniklé hydroperoxydy, váží se do komplexů s kovy, primární antioxidanty reagují s volnými radikály nebo sekundárními antioxidanty. Primární antioxidanty jsou významné pro prevenci tvorby volných radikálů, pro přeměnu radikálů na stabilnější produkty a ve většině případů mají fenolickou strukturu (např. flavonoidy). Sekundární antioxidanty vychytávají a odstraňují volné radikály (např. hydroxyperoxydy) a zastavují řetězové reakce. V posledních letech je výzkum orientován na přírodní antioxidanty, které mohou sloužit k ochraně proti různým onemocněním indukovaným volnými radikály (Shahidi & Zhong 2015).

3.9.2 Antioxidační aktivita a kapacita

Antioxidační aktivita je schopnost látky zabránit oxidativní degradaci sloučenin, je to rychlost reakce mezi antioxidantem a specifickým oxidačním činidlem. Antioxidační kapacita

v molech určuje množství určitého volného radikálu zachyceného antioxidantem. Antioxidační kapacitu fenolické látky mohou ovlivnit substituční methoxy a hydroxylové skupiny na aromatickém jádře. Čím vyšší je stupeň hydroxylace, tím je vyšší antioxidační aktivita fenolických látek. Aktivita může být dále ovlivněna polohou hydroxylových skupin vzhledem ke karboxylové funkční skupině. Příkladem je monohydroxybenzoová kyselina s hydroxylovou skupinou v *orto* nebo *para* poloze ke karboxylové skupině, která nevykazuje antioxidační aktivitu. *Meta*-hydroxybenzoová kyselina je antioxidantem, protože vykazuje výraznou antioxidační aktivitu (Dacic & Gojak-Salimovic 2016; Khan et al. 2016).

3.9.3 Výskyt antioxidantů

Antioxidanty se přirozeně vyskytují v potravinách rostlinného i živočišného původu. V lidské stravě se vyskytují především vitamin E, vitamin C, karotenoidy. Významnějšími antioxidanty, oproti vitaminům C a E, jsou polyfenolické sloučeniny, které se vyskytují v zelenině a ovoci, čaji, víně či aromatických rostlinách. Zdrojem látek s antioxidační aktivitou jsou i ječmen, pohanka, řepka, kukuřice a pšenice tvrdá. Vyšší množství těchto látek vykazují obalové vrstvy zrn (Moure et al. 2001; Gallardo et al. 2006). Lidské tělo samo neumí vyrobit dostatek antioxidantů k zabránění radikálovým reakcím, a proto jich převážná část musí být přijímána v potravě (Lobo et al. 2010).

3.9.4 Pozitivní účinky antioxidační aktivity

Obecně jsou antioxidanty do potravin přidávány za účelem prodloužení trvanlivosti, zlepšení technologických, sensorických nebo nutričních vlastností výrobku. Nezastupitelnou roli mají antioxidanty v potravinářství, kde jsou využívány jako přídatné látky u potravin, které antioxidanty neobsahují nebo je zde jejich obsah nedostatečný pro ovlivnění vlastností potravin. Antioxidanty jsou látky, které oddalují žluknutí, zachovávají barvu a chuť. Antioxidační látky jsou používány zejména u potravin obsahujících tuky a oleje, kde zabraňují jejich oxidaci. Antioxidanty jsou také ochranou před oxidací pro některé vitaminy a aminokyseliny (Lobo et al. 2010). V souladu s legislativou je možné takto antioxidanty do potravin přidávat pouze za určitých podmínek. Musí to být v souladu se správnou potravinářskou praxí, látky musí být zdravotně nezávadné, dobře aplikovatelné, nesmějí vykazovat cizí chuť nebo vůni, měli by být účinné již při nízkých koncentracích, dobře zpracovatelné, stabilní během zpracování potravin a cenově dostupné. Antioxidanty obsažené v potravině jsou uváděny ve složení výrobku a mají své kódy v rozmezí E 300-E 321 (Heleno et al. 2015).

Redukcí příjmu volných radikálů nebo konzumací antioxidantů lze zpomalit proces stárnutí. Antioxidanty pomáhají předcházet rozvoji některých onemocnění. Jedná se o diabetes, kardiovaskulární a nádorová onemocnění (Lobo et al. 2010).

3.9.5 Metody stanovení antioxidantů

Vzhledem k prokázaným účinkům antioxidantů stále vzrůstá zájem stanovit antioxidační aktivitu různých přírodních látek rostlinného původu. Jedním z přístupů ve výzkumu přírodních antioxidantů je testování reaktivity jednotlivých izolovaných látek vůči jednotlivým volným radikálům. Slouží především k odvození vztahů mezi reaktivitou

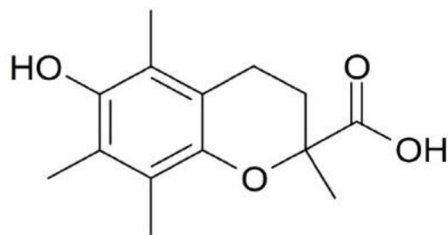
příslušných sloučenin a strukturou. Protože většina antioxidantů je přijímána jako součást složitých směsí, tak je snaha charakterizovat antioxidační aktivitu směsných vzorků jako celek. Důvodem je, že jednotlivé složky mohou reagovat s různými radikály různými mechanismy. Pro vzájemné porovnání antioxidačních účinků různých směsí byl zaveden pojem celková antioxidační aktivita (total antioxidant activity-TAA). Přesnější chemické vymezení mechanismu účinku je často problematické, a proto postupy hodnotící míru antioxidačního působení jsou založeny na různých principech. Obecně lze řadit metody stanovení antioxidantů do dvou skupin, a to na metody hodnotící schopnost eliminovat radikály a na metody posuzující redoxní vlastnosti látek (Paulová et al. 2004; Moharram & Youssef 2014).

3.9.5.1 Metody založené na eliminaci radikálů

Tyto metody spočívají v hodnocení schopnosti vzorku vychytávat volné radikály. Z hlediska chemického jde o radikály kyslíkové nebo syntetické stabilní radikály (Paulová et al. 2004).

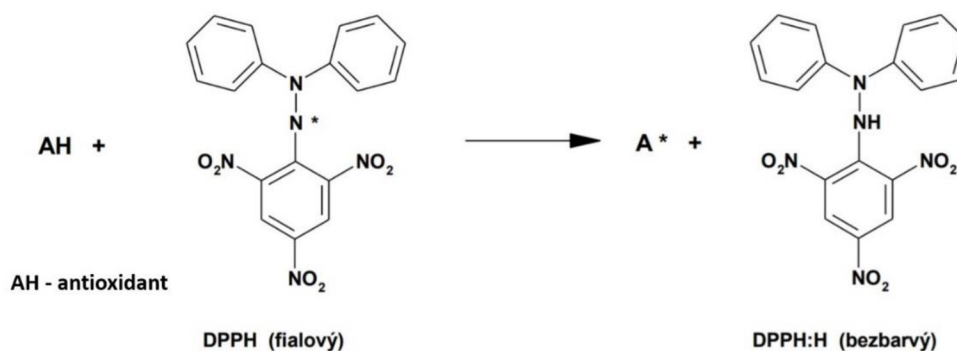
První z těchto metod je metoda používající ABTS, je to základní a jedna z nejpoužívanějších metod pro stanovení TAA. Testuje schopnost vzorku zhaset syntetický kation-radikál ABTS⁺ (2,2'-azinobis(3-ethyl-2,3-dihydrobenzothiazol-6-sulfonát)). Při měření jsou používány dva postupy, v prvním se antioxidant přidává do reakční směsi, ve které už byl vytvořen radikál ABTS⁺, v druhém způsobu postupu je antioxidant v reakční směsi již přítomen při generování radikálu ABTS⁺. Používanějším je způsob, při kterém se antioxidant přidává k radikálu ABTS⁺ (Paulová et al. 2004; Šulc et al. 2007).

Způsob vyjádření antioxidační aktivity je např. TEAC (trolox equivalent antioxidant capacity), kde výsledná antiradikálová aktivita vzorku je srovnávána s antioxidační aktivitou syntetické látky troloxu (6-hydroxy-2,5,7,8-tetramethylchroman-2- karboxylová kyselina), jehož struktura je znázorněna na obrázku 2. Antioxidanty se chovají jako donoři vodíku. Zhasení radikálů antioxidanty je sledováno spektrofotometricky na základě změn absorpčního spektra, nejčastěji je měřena absorbance při 734 nm. Obecnou podstatou spektrofotometrických metod je měření absorbance určitého elektromagnetického záření molekulami látek ve viditelné oblasti spektra, rozsah vlnových délek je 380–800 nm. Z koncentrací standardních roztoků a odpovídajících hodnot naměřených absorbancí je sestavena kalibrační křivka a s její pomocí je vyhodnocována antioxidační aktivita vzorku. Celková antioxidační aktivita je vyjádřena jako ekvivalentním množstvím syntetického derivátu troloxu. U čistých látek lze TEAC definovat jako milimolární koncentraci troloxu vykazující stejnou antioxidační aktivitu jako testovaná látka v koncentraci 1 mmol/l. Tato metoda je jednoduchá, rychlá v provedení a má široké uplatnění v hodnocení antioxidační aktivity látek různého původu i látek ve směsích (Paulová et al. 2004; Antolovich 2001).



Obrázek 2: Trolox – struktura (Heleno et al. 2015).

Další metodou pro stanovování antioxidační aktivity je metoda DPPH. DPPH je metoda, která je považována za jednu ze základních metodik pro posouzení antioxidační aktivity čistých látek i různých směsných vzorků. Principem této metody je reakce testované látky se stabilním radikálem difenylpikrylhydrazylem (DPPH). Při reakci dochází k redukci radikálu a vzniká DPPH-H (difenylpikrylhydrazin). Tato reakce bývá nejčastěji sledována pomocí spektrofotometru na základě měření poklesu absorbance při 517 nm. Pokles absorbance při 517 nm se měří po uplynutí určitého konstantního času nebo se pracuje v kinetickém režimu (mechanismus této reakce je znázorněn na obrázku 3) (Heleno et al. 2015).



Obrázek 3: Mechanismus reakce: přeměna DPPH (upraveno dle Paulová et al. 2004; Heleno et al. 2015).

Výsledná radikálová aktivita bývá vyjadřována v ekvivalentech kyseliny askorbové či v jednotkách standardu troloxu. Je známa celá řada faktorů, které antiradikálovou aktivitu ovlivňují. Je to koncentrace antioxidantu, přítomnost jiných antioxidantů, substrát, použité rozpouštědlo, homogenita vzorku, pH, fyzikální faktory jako: parciální tlak, teplota, přítomnost ionů kovů. U barevných vzorků je výhodné použití detekce kapalinovou chromatografií, při které je hodnocen pík DPPH, protože zde se na rozdíl od spektrofotometrie zabarvení vzorku (extraktu) eliminuje (Paulová et al. 2004; Heleno et al. 2015).

Mezi metody hodnotící eliminaci kyslíkových radikálů se řadí například metoda ORAC (oxygen radical absorbance capacity). Metoda ORAC v testovaném systému generuje kyslíkové radikály a hodnotí schopnost testované látky zpomalit nebo zastavit radikálovou reakci. Má široké využití a poskytuje významné informace o antioxidační kapacitě různých vzorků a její použití je významné pro stanovení antioxidační aktivity dané obsahem polyfenolů (Paulová et al. 2004; Moharram & Youssef 2014).

Dalšími metodami na stejném principu jsou metody založené na vychytávání OH-radikálů. Tato detekce je založena na tom, že radikály jsou připraveny různými reakcemi a poté nastává vychytávání radikálů látkami, jejichž reakční produkty lze stanovit snadno. Antioxidanty vychytávající OH-radikály snižují tvorbu těchto produktů. Mezi takové látky se řadí mimo jiné kyselina salicylová nebo deoxyribosa. Výhodou je, že výše uvedenými metodami lze stanovit antioxidační i prooxidační aktivitu látek (Paulová et al. 2004).

3.9.5.2 Metody založené na hodnocení redoxních vlastností látek

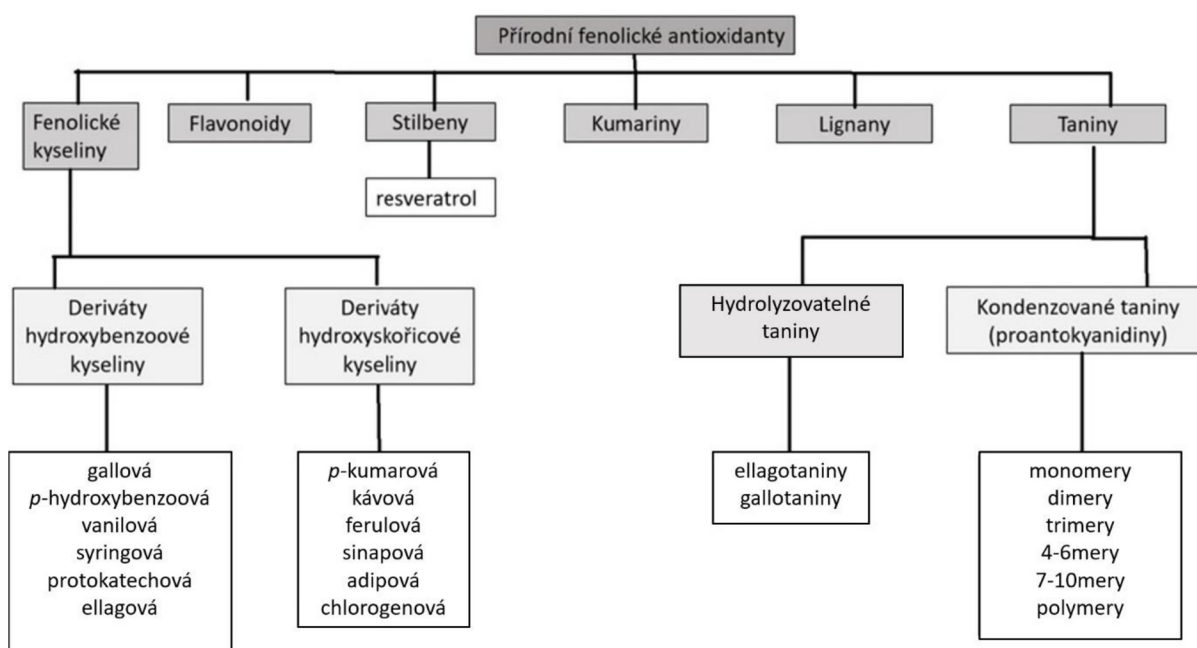
Antioxidační aktivitu na základě redukčních schopností látky lze posuzovat u neenzymových antioxidantů. Tyto antioxidanty mohou být charakterizovány jako redukční činidla, která reagují s oxidanty, redukuje je a tím je inaktivují. Metody založené na hodnocení redoxních vlastností látek se dělí na metody chemické a elektrochemické. Nejvýznamnější je metoda FRAP (ferric reducing antioxidant potential), která náleží k metodám chemickým. Metoda FRAP je založena na principu redoxní reakce, antioxidanty ze vzorku redukuje bezbarvý železitý komplex (např. ferrikyanid) za vzniku barevných produktů (např. berlínská modř). Nárůst absorbance při vlnové délce 593 nm odpovídá množství železnatého komplexu a je mírou antioxidační aktivity vzorku. Měření probíhá při velmi nízkém pH (3,6). Nevýhodou metody může být, že nejsou zcela zachyceny polyfenolické látky a thioly. FRAP tedy odráží pouze schopnost látky redukovat Fe^{3+} na Fe^{2+} , což nemusí s celkovou antioxidační aktivitou vzorku vždy pozitivně korelovat (Paulová et al. 2004; Šulc et al. 2007, Moharram & Youssef 2014).

3.10 Polyfenoly

Polyfenoly jsou sloučeniny s antioxidační aktivitou ze skupiny sekundárních metabolitů rostlin. Jsou ve většině případů odvozené od fenylalaninu, případně od tyrosinu. Chemicky je lze definovat jako látky mající aromatický kruh a jednu nebo více hydroxylových skupin. Přirozeně se vyskytují v rostlinách, do potravin lze záměrně přidávat synteticky vyrobené fenolické látky, aby bylo zabráněno oxidaci tuků. Mohou se vyskytovat ve všech částech rostlin a dobře známý je také jejich vliv na pigmentaci rostlinných potravin (např. modré flavonoidy antokyany v borůvkách). Tyto velmi rozmanité látky jsou nezbytné pro růst a rozmnožování rostlin nebo také působí proti patogenním organismům a škůdcům. Fenoly fungují jako antibiotika, přírodní pesticidy, signální látky pro symbiózu s rhizobii, atraktanty pro opylovače, ochranné prostředky proti UV světlu, izolační materiály buněčné stěny nepropustné pro plyn a vodu a dále jako strukturní materiály poskytující rostlinám stabilitu (Shanidi & Naczka 2003; Shahidi & Zhong 2015). Polyfenoly mají fungicidní, baktericidní a virucidní účinky, proto si je rostliny vytvářejí na svou obranu proti škůdcům a chorobám. Rostlinné embryo je polyfenoly

chráněno před škodlivým ultrafialovým zářením. Rozpustné frakce vysokomolekulárních polyfenolů se vážou s bílkovinami do nerozpustných komplexů, tudíž je jejich role ve výživě někdy brána jako negativní, jelikož pro monogastry nejsou tyto komplexy využitelné (Olszowy 2019). Vyskytují se v zelenině, ovoci, ořechách, semenech a obilovinách (Shahidi & Zhong 2015).

Polyfenolické látky představují mnoho typů sloučenin, např. flavonoidy, které lze dále rozdělit na flavony, flavonoly, izoflavony, chalkony, aurony, redukované flavanoly, resp. flavan-3,4-dioly, dále pak fenolkarboxylové kyseliny a s nimi úzce spojené kumariny, antokyanová barviva a jejich redukované formy leukoantokyanidiny (Dykes & Rooney 2007). Rozdělení přírodních polyfenolů je uvedeno na obrázku 4.



Obrázek 4: Rozdělení přírodních polyfenolických látek (upraveno dle Shahidi & Zhong 2015).

Pro uvolnění fenolických látek ze zrna je účinná fermentace. Fermentace cereálií zvyšuje biologickou dostupnost živin. Pozitivně mění aktivitu složek podporujících zdraví, zejména antioxidantů, v celozrnných výrobcích. Fermentací je zapříčiněno zvýšení obsahu volných fenolových sloučenin a navýšení celkové antioxidační aktivity zrn a celozrnných výrobků. Taková zvýšení jsou většinou způsobena rozpadem buněčné stěny buněk zrna a následnými aktivitami enzymů, které vedou k uvolnění navázaných fenolových sloučenin, které zvyšují antioxidační aktivitu (Adebo et al. 2020). Obsah fenolických sloučenin v potravě a jejich následné uvolnění lze ovlivnit i máčením či nakličováním zrn (Bei et al. 2020).

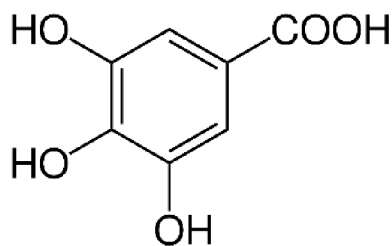
Na celkový obsah polyfenolů v zrně má vliv složení zrna a klimatické podmínky pěstování (Shahidi & Zhong 2015). Boeck et al. (2018) uvádí studii, kde byly dva kultivary ovsa analyzovány na obsah frakcí beta-glukanů, popelovin, tuku a bílkovin. Byla analyzována koncentrace antioxidačních látek avenanthramidů, tokoferolů, tokotrienolů a celkových fenolových sloučenin. Horké a suché klima mělo negativní vliv na výživovou kvalitu ovsa, zejména pokud jde o antioxidační vlastnosti, které byly nižší (Boeck et al. 2018).

Vliv na obsah fenolických látek má mnoho faktorů, především odrůda, podmínky pěstování. Dále jej ovlivňuje oblast pěstování či způsob mletí (Fardet et al. 2008).

3.10.1 Metody stanovení polyfenolů

Z testovaného rostlinného materiálu je třeba nejdříve vytvořit extrakt polyfenolů pomocí extrakčního činidla (např. metanol). U obilovin lze extrahovat frakce volných, rozpustných vázaných a vázaných nerozpustných polyfenolů. Jako mobilní fáze je ve většině případů používán metanol v kombinaci s pufrem. Tato mobilní fáze je čerpána přes odplyňovací zařízení a spolu se vzorkem pak protéká přes stacionární fázi, která tvoří náplň kolony. Základem většiny stacionárních fází je silikagel (Yan et al. 2016).

Pro stanovení polyfenolů je využíváno několik metod. Jednou z nejčastěji uplatňovaných metod je metoda Folin-Ciocalteuova. Metody stanovení polyfenolů jsou kolorimetrické reakce, které využívají spektrofotometrické metody ve VIS i UV oblasti spektra. Spektrofotometrickou metodou je metoda za použití Folin-Ciocalteuova činidla. Při stanovení obsahu polyfenolů spektrofotometricky je obsah polyfenolů vyjádřen jako ekvivalentní množství např. katechinu či gallové kyseliny na jednotku hmotnosti vzorku (Shen et al. 2009; Attard 2013; Blainski 2013). Principem Folin-Ciocalteuovy metody je využití uhličitanu sodného a Folin-Ciocalteuova činidla, což je komplex kyseliny fosforečno-wolframové a kyseliny fosforečno-molybdenové. Při reakci dojde k barevné změně ze žluté na modrou, protože dochází k oxidaci fenolických sloučenin v alkalickém prostředí. Schopnost absorpce modrých pigmentů na kvalitativním či kvantitativním složení fenolů a pH roztoku, které je upraveno pomocí uhličitanu sodného. Z naměřených hodnot lze tak vypočítat ekvivalentní množství vyjádřené v miligramech gallové nebo ferulové kyseliny (Attard 2013; Blainski 2013). Struktura gallové kyseliny je znázorněna na obrázku 5.



Obrázek 5: Struktura gallové kyseliny (Lu et. al 2006).

Při stanovení celkového obsahu flavonoidů kolorimetricky vzniká do růžova zbarvený komplex $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$. Tato metoda zahrnuje spektrofotometrické měření při 400-430 nm po přidání roztoku AlCl_3 a je selektivní pro flavanoly. Roztok AlCl_3 je aplikován v přítomnosti kyseliny nebo acetátového roztoku, protože je třeba jeho využití v koncentraci 2-10 %, v některých případech je však využit pouze metanol nebo voda. Pro tvorbu komplexů flavonoid- AlCl_3 je důležitým faktorem reakční doba, jako standardní sloučeniny pro vyjádření výsledků jsou využívány flavanoly (nejčastěji rutin nebo kvercetin). Pokud se jako standardní sloučenina využívá katechin, tak reakce probíhá v alkalickém prostředí s NaNO_2 a je založená na nitraci aromatického kruhu nesoucího katecholovou skupinu. Po přidání AlCl_3 , který

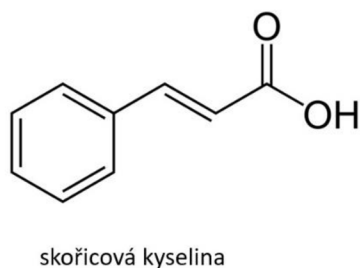
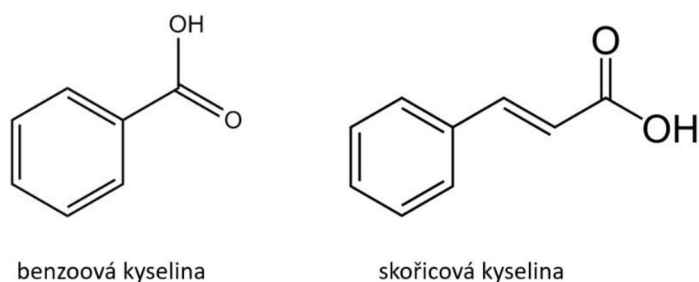
způsobuje žluté zbarvení roztoku komplexu, tento roztok po přidání NaOH zčervená, spektrofotometrické měření probíhá při 510 nm (Milbury et. al 2006; Shen et al. 2009).

Dalšími metodami, které mohou být pro stanovení polyfenolů aplikovány, jsou metody chromatografické. Zde je nejčastěji používána vysokoúčinná kapalinová chromatografie (Blainski et. al 2013). Tato metoda je využívána pro stanovení polyfenolického profilu, resp. zastoupení jednotlivých látek z této skupiny. Zařízení se jmenuje kapalinový chromatograf, nejčastěji využívané detektory pro oblast stanovení polyfenolických látek jsou DAD (detektory diodového pole). Při kvalitativní analýze je přítomnost (identifikace) analytu prováděna na základě srovnání retenčních časů analytu a standardu. U kvantitativních metod je koncentrace zkoumané látky úměrná ploše či výšce píku v daném retenčním čase, kvantitativní vyhodnocení probíhá nejčastěji přes kalibraci a následně metodu lineární regrese. Kvalitativní ukazatel (retenční čas) je tedy nezbytnou charakteristikou i při kvantitativním vyhodnocení (Sun et al. 2017).

3.11 Fenolické antioxidanty

3.11.1 Fenolické kyseliny

Fenolické kyseliny jsou v lidské stravě nejčastější formou fenolických látek, dle Gallardo et al. 2006 tvoří asi jednu třetinu polyfenolů v potravě. Ve stravě jsou fenolické kyseliny zastoupeny především deriváty hydroxyskořicové kyseliny, a to převážně ve formě jejich esterů. Nejčastěji je to kyselina kávová a ferulová. V menším množství se v obilovinách vyskytují deriváty kyseliny benzoové. Mezi deriváty kyseliny benzoové patří kyseliny kumarová, vanilová a salicylová. Většina z těchto sloučenin se nachází v obalových vrstvách, jsou většinou kovalentně vázány na buněčnou stěnu (Gallardo et al. 2006; Fardet et al. 2008; Walters et al. 2018). Struktura kyseliny skořicové a benzoové, od kterých jsou fenolické kyseliny odvozeny, je znázorněna na obrázku 6. Obsah fenolických kyselin v obilovinách porovnává tabulka 3. V tabulce jsou uvedeny hodnoty pro celá zrna, obsah fenolických kyselin je vyšší v otrubách (oves: 651 $\mu\text{g/g}$, pšenice: 4527 $\mu\text{g/g}$) (Dykes & Rooney 2007).



Obrázek 6: Struktura benzoové a skořicové kyseliny (Dykes & Rooney 2007).

Tabulka 3: Obsah fenolických kyselin v některých obilovinách (Dykes & Rooney 2007).

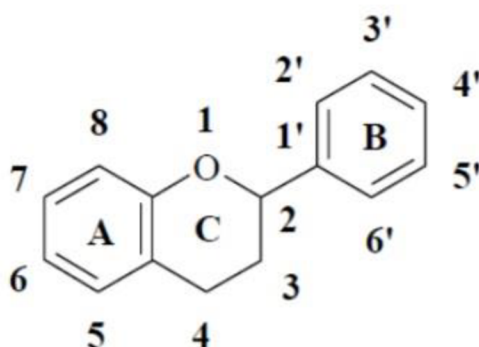
Obilovina	Obsah fenolických kyselin (µg/g)
ječmen	450-1346
kukuřice	601
oves	472
rýže	197-376
pšenice	1342

Ihned po požití stravou a absorpci v lidském těle jsou fenolické kyseliny metabolizovány ve střevech. V těchto biochemických reakcích dochází ke glukuronidaci a metylaci, přičemž metylované a glukuronované deriváty jsou spojovány se zvýšením antimikrobiálních a protinádorových účinků (Heleno et al. 2015).

3.11.2 Flavonoidy

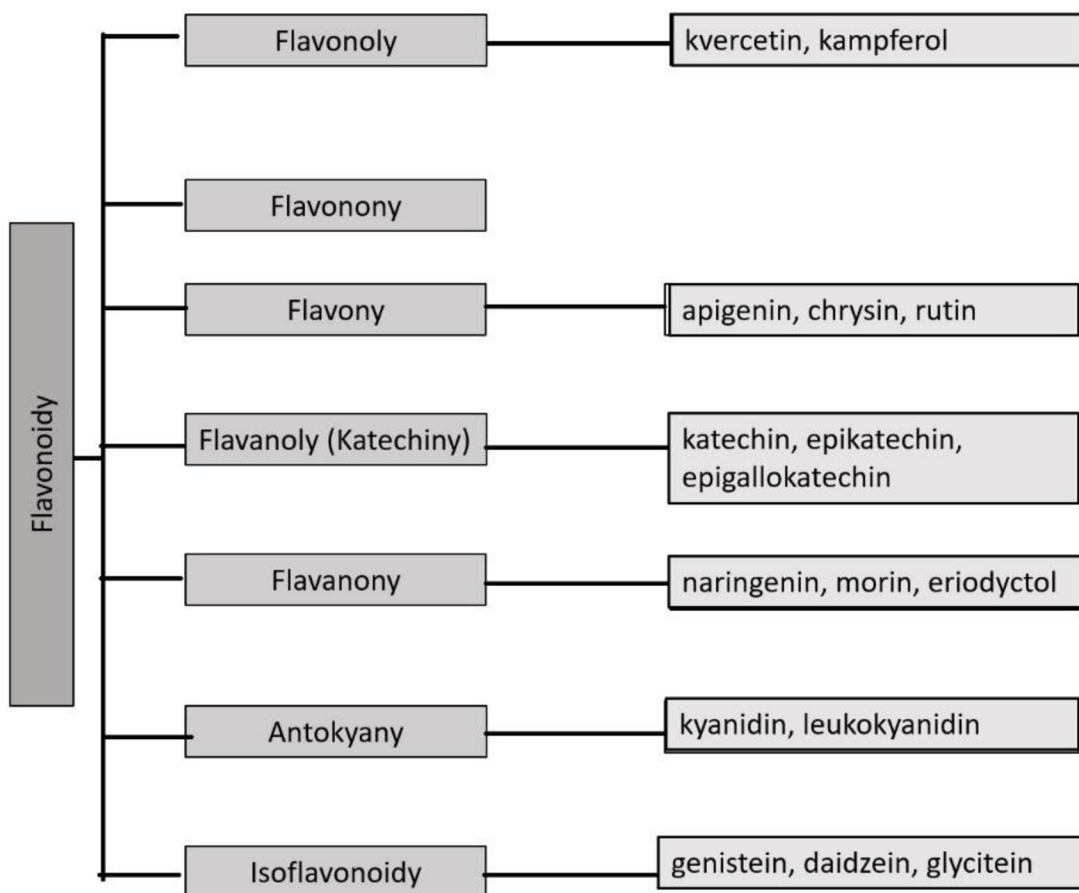
Je více než 5000 druhů flavonoidů, které se vyskytují v lidské stravě. Nejvíce jich bylo zjištěno u cereálií (Dykes & Rooney 2007). Hlavními skupinami flavonoidů jsou flavanoly, flavanony, flavony, flavonoly, proantokyanidiny, kyanidiny a isoflavonoidy. Flavonoidy mohou být glykosylovány, a to nejčastěji glukózou nebo galaktózou (Walters et al. 2018). Flavonoidy (především antokyany, flavony, flavonoly, katechiny), isoflavonoidy a ostatní polyfenoly (lignany, stilbeny) mají silnou antioxidační aktivitu (Dykes & Rooney 2007). V rostlinách flavonoidy působí jako antioxidanty, fotoreceptory, atraktory, složky proti požeru zvířei a mají antimikrobiální účinky (Pietta 2000).

Flavonoidy jsou tvořeny kondenzací fenylypropanových sloučenin za účasti tří molekul malonyl koenzymu A. To vede k tvorbě chalkonů a cyklizaci molekul, takto vznikne struktura difenylpropanu s různou oxidační úrovní. Jednotlivé flavonoidy se liší v počtu a distribuci hydroxylových skupin a ve stupni jejich alkylace nebo glykosylace, liší se tedy spojením mezi kruhem A a B. Obecná struktura flavonoidů je znázorněna na obrázku 7 (Shahidi & Zhong 2015).



Obrázek 7: Obecná struktura flavonoidů (Shahidi & Zhong 2015).

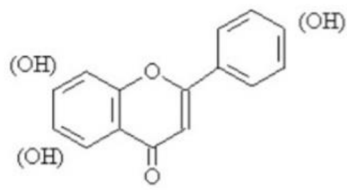
Na základě stupně oxidace pyranového uhlíkového kruhu jsou rozlišovány flavonoidy na několik skupin (viz obrázek 8). Na obrázku je vždy uvedeno i několik zástupců z každé skupiny.



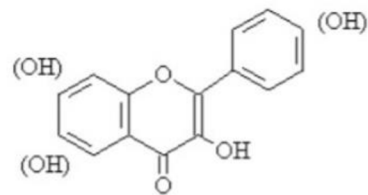
Obrázek 8: Dělení flavonoidů do skupin (upraveno dle Shahidi & Zhong 2015)

Flavony, flavonoly a flavanony se vyskytují jako necukerné zbytky (tzv. aglykony) nebo jako mono, di- a triglykosidy, obecná struktura těchto látek je uvedena na obrázku 9. Tvorba flavonolů je závislá na světle, a proto se vyskytují zejména v listech a slupkách. Množství v částech rostlin, které jsou blíže půdě, je zanedbatelné (Shahidi & Zhong 2015).

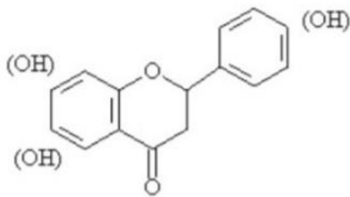
Nejznámějším a nejvýznamnějším flavonolem ve výživě člověka je kvercetin (obrázek 10). Je přítomen v běžně konzumovaných potravinách, nachází se v cibuli (300 mg/kg), jablkách, čaji (10-25 mg/kg), červeném víně (16 mg/kg) a kapustě. Nejvýznamnějšími flavanony jsou katechiny. Řadí se mezi ně epikatechin, katechin a jejich estery s kyselinou gallovou. Jejich obsah je významný především v čaji, přičemž nejvyšší obsah vykazuje zelený čaj (134 g/kg) (Walters et al. 2018).



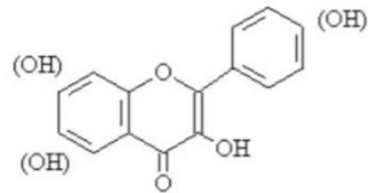
flavony



flavonoly

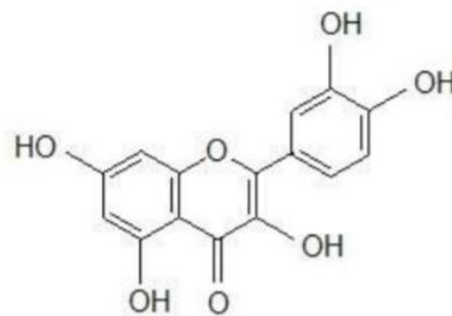


flavanony



flavanoly

Obrázek 9: Obecná struktura flavonů, flavonolů, flavanonů, flavanolů (upraveno dle Dykes & Rooney 2007).



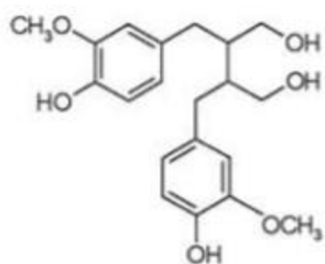
Obrázek 10: Struktura kvercetínu (Dykes & Rooney 2007).

Antokyanidiny se vyskytují především v ovoci, dále v pigmentech oplodí kukuřice, rýže, ječmene, pšenice a žita. Jsou to ve vodě rozpustné pigmenty modré, fialové a červené barvy. Flavon apigenin je obsažen v ovsu (Dykes & Rooney 2007).

Proantokyanidiny jsou komplexní polymery, konkrétně polymerní flavanoly. Mohou se vyskytovat esterově vázány s kyselinou gallovou. V obalových vrstvách ječmene je obsah proantokyanidinů okolo 0,80 mg/g sušiny. Jedná se o kondenzované taniny vázané na proteiny, minerální látky a sacharidy, čímž taniny snižují stravitelnost těchto látek. Ve srovnání s jednoduchými fenoly mají kondenzované taniny vysokou antioxidační aktivitu. Vykazují antikarcinogenní, gastroprotektivní účinky a snižují hladinu cholesterolu v krvi, působí preventivně proti zánětům močových cest. Například v ječmenu byla jejich hladina stanovena na 0,74 mg/kg hmoty. Jejich nevýhodou je svíravá chuť a to, že se podílejí na trpkosti potravin (Dykes & Rooney 2007).

Aventramidy se vyskytují především v ovesných vločkách a skládají se z derivátu kyseliny antranilové s derivátem kyseliny hydroxyskořicové. Tato skupina flavonoidů má protizánětlivé a antioxidační účinky, dále se uplatňuje v inhibici oxidace lipoproteinových částic s nízkou hustotou, které se podílejí na ateroskleróze. V ovesných vločkách činí jejich obsah přibližně 26 mg/kg, v ovesných otrubách je obsah přibližně 13 mg/kg (Matilla et al. 2005).

Lignin tvoří přibližně 30 % rostlinné biomasy a je hlavním organickým polymerem vyskytujícím se na zemi, v potravě se vyskytuje především v celozrnném pečivu, fazolích, bobulích, ořechách a různých semenech, u ligninu byla prokázána antioxidační aktivita. Lignany jsou fytoestrogeny, které jsou přítomny v zrnech kukuřice, žita, ovsu, pšenice. Jejich obsah v obilovinách je až 299 µg ve 100 g a též mohou mít antioxidační aktivitu. Po konzumaci jsou lignany přeměňovány střevní mikroflórou na fytoestrogeny, především na enterodiol a enterolakton. Hladinu lignanu obíhajícího v lidském organismu určuje mnoho faktorů, řadí se mezi ně strava, aktivita střevního mikrobiomu, kouření, obezita, antibiotika (Gallardo et al. 2006; Adlercreutz 2007). Adlercreutz (2007) uvádí jako příklad potraviny obsahující lignany s antioxidačními a protirakovinnými účinky lněné semínko. Na obrázku 11 je znázorněna struktura jednoho z lignanů (konkrétně se jedná o sekoisolariciresinol).



Obrázek 11: Struktura lignanu (sekoisolariciresinol) (Dykes & Rooney 2007).

4 Metodika

Na experimentálních lokalitách České zemědělské univerzity v Praze-Uhřetěvesi a Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích byly vysety čtyři odrůdy ovsa setého (Korok, Kertag, Raven, Seldon) a jedna odrůda ovsa nahého (Patrik). Pokus byl veden metodou znáhodněných bloků, ve třech opakováních, pokusná parcela měla velikost cca 12 m². Pokus byl prováděn v běžném konvenčním způsobu pěstování i ekologickým způsobem na pokusné ploše certifikované pro vedení pokusů v ekologickém systému hospodaření.

4.1 Charakteristika analyzovaných vzorků

4.1.1 Charakteristika použitých odrůd ovsa

Kertag je pluchatá odrůda ovsa jedná se o středně ranou variantu se středním vzrůstem (105 cm), která není náročná na předplodinu, ale nevhodnější jsou luskoviny nebo okopaniny. Kertag je registrován od roku 2012 a držitelem oprávnění je Selgen, a.s., stejně jako v případě všech ostatních odrůd využitých pro potřeby tohoto polního pokusu. Rostliny této odrůdy mají dobrou odolnost k poléhání a k napadení rzi ovesnou či padlím travním a středně dobrou odolnost ke komplexu listových skvrnitostí. Kertag se vyznačuje středně velkým žlutým zrnem, stabilním výnosem, výbornou krmnou kvalitou, dá se pěstovat i na zeleno a HTZ je 37 g. Sklizeň tohoto ovsa probíhá v plné zralosti a je skladován při vlhkosti 15 % (Dvořáčková 2018; selgen.cz).

Korok je pluchatá odrůda ovsa s velkým žlutým zrnem, středním vzrůstem rostlin (109 cm). Korok je odolný k poléhání, vysoce odolný proti napadení rzi ovesnou a padlím travním, ke komplexu listových skvrnitostí má pouze střední odolnost. Tato odrůda ovsa má vysoký obsah dusíkatých látek (cca 17 % sušiny zrna). Korok je univerzální do všech pěstitelských oblastí a dobře snáší i obilnou předplodinu. Hmotnost tisíce zrn je 37 g, Korok je odrůda raná v metání i sklizni, vhodná pro potravinářské a krmné účely i k pěstování na zeleno (Dvořáčková 2018; selgen.cz).

Mezi pluchaté odrůdy ovsa je řazen i Raven, který patří mezi černé ovsy. Oves s černou barvou pluchy je s oblibou pěstován především ve Francii, Rakousku a na Slovensku. Raven dosahuje výnosu srovnatelného s ovsy se žlutými a je pěstován především jako krmný pro krmení koní. Tato odrůda je registrována od roku 2008, není náročná na předplodinu, ale ideální jsou luskoviny a okopaniny. Sklizeň probíhá v plné zralosti a skladován je při vlhkosti 15 % (Dvořáčková 2018; selgen.cz).

Seldon je v současné době využíván spíše v ekologické produkci a má vysoké výnosy slámy i zrna. Jedná se o středně ranou odrůdu se středně velkým žlutým zrnem, které je odolné k vysychání. Právě kvůli velikosti zrna je vysoká i hmotnost tisíce zrn (45-47 g). Seldon je odrůda s dlouhými stébly, která mají dobrou odolnost vůči poléhání (selgen.cz).

Jedinou bezpluchatou odrůdou, která byla využita je Patrik. Mezi její přednosti patří vysoký výnos a nízký podíl zrn s pluchami. Je to odrůda s kratším stéblem, vysokým obsahem dusíkatých látek (19 % sušiny zrna) a HTZ 25 g (Horáková et al. 2015).

4.1.2 Stanoviště Praha-Uhřetěves

V lokalitě Praha-Uhřetěves byl předplodinou jetel nachový, výsevek činil 5,0 MKS/ha (milióny klíčivých semen/ha). V ekologickém režimu proběhlo setí 31.3. 2021 a agrotechnické zásahy následovně: vláčení proti plevelům 6.5. 2021 a 2.6. 2021, sklizeň 3.9. 2021. V konvenčním režimu byl oves zaset 1.4. 2021, 28.5. 2021 proběhlo dusíkaté hnojení v dávce 60 kg N/ha (LAV 27 – obsah N 27 %), 2.6. 2021 byly aplikovány herbicidy a sklizeň proběhla 3.9. 2021. Nadmořská výška lokality Praha-Uhřetěves je 282 metrů nad mořem.

Povětrnostní podmínky stanoviště (měsíční údaje za vegetační období duben-srpen 2021) jsou znázorněny v tabulce 4. Vegetační období bylo variabilní a často se vymykal průměrným hodnotám. Teploty byly v dubnu, květnu a srpnu podprůměrné, naopak v červenci, a především v červnu byly teploty nadprůměrné. Srážkově bylo sledované období v dubnu podprůměrné, květen a červen byl na srážky v Praze-Uhřetěvesi bohatší, srážky zde byly v květnu vysoko nad dlouhodobým průměrem a stejně tomu tak bylo i v červenenci. Srpen byl též srážkově vysoce nadprůměrný, právě deštivé a současně chladné počasí zkomplikovalo sklizeň, která proto byla opožděná a proběhla až na začátku měsíce září.

Tabulka 4: Průběh povětrnostních podmínek: Praha-Uhřetěves duben-srpen 2021.

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

4.1.3 Stanoviště České Budějovice

Předplodinou v Českých Budějovicích byla luskoobilní směska, výsevek ovsa: 5,0 MKS/ha. Setí proběhlo v obou režimech pěstování stejně a to 30.3. 2021. V ekologickém systému proběhlo 15.5 2021 vláčení proti plevelům a 1.9. 2021 proběhla sklizeň. Porost ovsa v konvenčním režimu byl hnojen dusíkatým hnojivem LAV 27 (60 kg N/ha) 17.5. 2021, aplikace herbicidu proběhla 30.6. 2021., sklizeň 1.9. 2021. Nadmořská výška lokality České Budějovice je 381 metrů nad mořem.

Průběh povětrnostních podmínek stanoviště České Budějovice je znázorněn v tabulce 5, kde jsou uvedeny měsíční údaje za vegetační období duben-srpen 2021. Vegetační období bylo velmi variabilní a často neodpovídalo průměrným hodnotám. Teploty v dubnu, květnu a srpnu byly podprůměrné. Oproti tomu teploty v červenci, a především v červnu byly nadprůměrné. Srážkově bylo sledované období v dubnu na obou pokusných lokalitách podprůměrné, květen a červen byl na srážky bohatší. Červenec byl na stanovišti České Budějovice srážkově podprůměrný. Srpen pak byl srážkově nadprůměrný, a právě deštivé

chladné počasí zkomplikovalo sklizeň. Sklizeň ovsa byla opožděná a proběhla až na začátku měsíce září.

Tabulka 5: Průběh povětrnostních podmínek: České Budějovice duben-srpen 2021.

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

4.2 Použité chemikálie a přístroje

4.2.1 Chemikálie

Destilovaná voda vlastní výroby za použití Simplicity UV (Merck Millipore, Darmstadt, Německo)

Metanol, p.a. (Lach-ner, Neratovice, Česká republika)

Trolox (Sigma-Aldrich, Praha, Česká republika)

Radikál DPPH (Sigma-Aldrich, Praha, Česká republika)

Uhličitan sodný, p.a. (Lach-ner, Neratovice, Česká republika)

Folin-Ciocalteuovo činidlo (Sigma-Aldrich, Praha, Česká republika)

4.2.2 Přístroje

Analytický mlýnek (IKA A11 Basic, IKA Werke, Staufen, Německo)

Vortex (IKA Basic 3, IKA Werke, Staufen, Německo)

Ultrazvuková lázeň (PS 04, Notus Powersonic, Vrábce, Slovensko)

Centrifuga (5810R, Eppendorf, Hamburg, Německo)

Spektrofotometr (Spectronic Helios γ , Thermo Fisher Scientific, Waltham, MA)

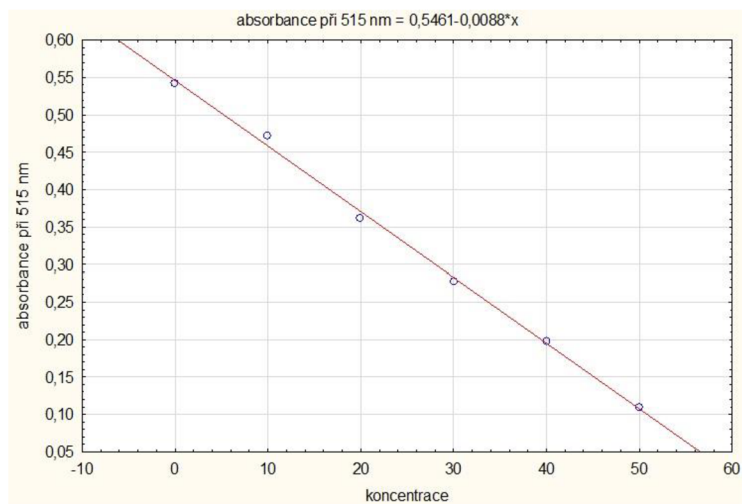
4.3 Metody stanovení

4.3.1 Stanovení antioxidační aktivity metodou DPPH

Celková antioxidační aktivita metodou DPPH byla s malými odchylkami stanovována dle metodiky Eliášová a Paznocht (2017). Namletá a zhomogenizovaná hmota zrn byla navážena (částičky propustné přes 0,5 mm síto), 1 g hmoty byl zalit 10 ml metanolu, který byl použit jako extrakční činidlo. Každý vzorek byl připravován ve třech opakováních. Takto připravené vzorky byly důkladně promíchány na Vortexu a vloženy na 10 minut do ultrazvukové vodní lázně pro podporu rozpustnosti látek. Vzorky byly uloženy do druhého

dne v lednici. Druhý den byly centrifugovány (8157 rcf) po dobu 2 minut, 200 µl extraktu bylo přímo ve spektrofotometrické kyvetě smíseno s 2 ml metanolického roztoku DPPH s absorbcí 0,6. Obsah kyvety byl důkladně promíchán a 20 minut stál. Poté bylo provedeno měření absorbance při 515 nm. Výsledek byl vyjádřen jako ekvivalent obsahu troloxu v sušině vzorku v µg/g. Výsledky byly dále analyzovány pomocí MS Excel a softwaru Statistica (Statsoft).

Kalibrační křivka pro stanovení antioxidační aktivity metodou DPPH v ekvivalentech troloxu je uvedena na obrázku 12. Kalibrační křivka byla sestavena na základě kalibrace spektrofotometru se softwarem Vision proměřením standardních roztoků.

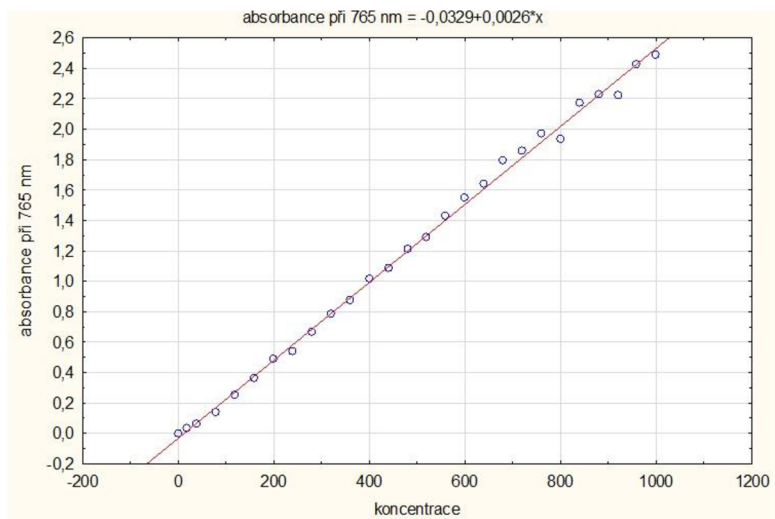


Obrázek 12: Kalibrační křivka pro stanovení antioxidační aktivity metodou DPPH-trolox µg/ml - 20 minut (Statistica).

4.3.2 Stanovení celkového obsahu polyfenolů Folin-Ciocalteuovou metodou

Příprava extraktů pro stanovení byla identická s přípravou extraktů pro stanovování antioxidační aktivity. Do 50 ml odměrné baňky byly odebrány 2 ml extraktu a přidáno 2,5 ml Folin-Ciocalteuova činidla a 7,5 ml 20% roztoku uhličitanu sodného, odměrná baňka byla po rysku doplněna destilovanou vodou a obsah byl promíchán. Po dvou hodinách stání byla na spektrofotometru měřena absorbance při vlnové délce 765 nm proti slepému pokusu. Výsledek byl vyjádřen jako ekvivalent obsahu gallové kyseliny v sušině původního vzorku (v µg/g) a dále analyzován v MS Excel a softwaru Statistica.

Na základě naměřených hodnot absorbance pro různé koncentrace standardních roztoků byla sestavena kalibrační křivka (obrázek 13). Výsledky jsou vyjádřeny v ekvivalentech kyseliny gallové.



Obrázek 13: Kalibrační křivka pro celkový obsah polyfenolů v analyzovaných vzorcích ovsa (závislost absorbance při 765 nm na koncentraci kalibračního roztoku v µg ekv. gallové k./ml).

5 Výsledky

5.1 Stanovení antioxidační aktivity metodou DPPH

Antioxidační aktivita ovesných zrn byla stanovena metodou DPPH uvedenou v metodice v kapitole 4.3.1. Následně byla proměřena absorbance všech vzorků ve třech opakováních. Antioxidační aktivita vzorků ovsa je uvedena v tabulce 6.

Tabulka 6: Antioxidační aktivita analyzovaných vzorků vyjádřená jako průměrná hodnota a směrodatná odchylka vypočtená ze třech opakování.

		Antioxidační aktivita (μg ekv. trolox/g sušiny)
Odrůda	Korok	338 \pm 48a
	Kertag	336 \pm 50a
	Raven	343 \pm 49a
	Seldon	371 \pm 28a
	Patrik	329 \pm 68a
Způsob pěstování	KONV	333 \pm 47a
	EKO	353 \pm 46a
Lokalita	Praha-Uhřetěves	363 \pm 19a
	České Budějovice	323 \pm 57a

Stejná písmena (a) značí, že mezi vzorky není statisticky průkazný rozdíl na hladině významnosti $\alpha = 0,05$.

KONV = konvenční produkce EKO = ekologická produkce

V tabulce jsou uvedeny průměrné hodnoty pro jednotlivé odrůdy, způsoby pěstování a lokalitu pěstování. Antioxidační aktivita u jednotlivých odrůd se pohybovala od 329 do 371 μg ekv. trolox/g sušiny. Nejvyšší antioxidační aktivitu vykazovala odrůda Seldon (371 μg ekv. trolox/g sušiny), naopak nejnižší antioxidační aktivita byla naměřena u odrůdy Patrik: 329 μg ekv. trolox/g sušiny. Mezi odrůdami nebyl zjištěn statisticky významný rozdíl, odrůda ovsa tak patrně nemá významný vliv na výslednou antioxidační aktivitu zrna. Antioxidační aktivita je mírně vyšší u zrn vypěstovaných v ekologickém systému produkce (353 μg ekv. trolox/g sušiny zrna, oproti tomu konvenční systém produkce: 333 μg ekv. trolox/g sušiny zrna), statisticky významný rozdíl na hladině významnosti $\alpha = 0,05$ nebyl zjištěn, způsob pěstování tedy neměl vliv na antioxidační aktivitu vzorků obilovin. Mírný rozdíl je i v průměrech lokalit pěstování, vyšší antioxidační aktivitu vykazují vzorky pěstované v Praze-Uhřetěvsi (363 μg ekv. trolox/g sušiny zrna, České Budějovice: 323 μg ekv. trolox/g sušiny). Na rozdílech mezi lokalitami mohou mít podíl různé povětrnostní podmínky, v Praze-Uhřetěvsi byly oproti Českým Budějovicím v průběhu pěstební sezóny naměřeny vyšší teploty a vyšší srážkové úhrny. Termín sklizně a forma ošetření porostu byly v obou lokalitách stejné, tudíž nezpůsobily rozdíly.

Vliv způsobu pěstování na antioxidační aktivitu vzorků ovsa nebyl statisticky průkazný ($\alpha = 0,05$). Vzorky vypěstované v ekologickém režimu vykazovaly průměrnou antioxidační

aktivitu 353 μg ekv. trolox/g sušiny, vzorky z konvenční produkce vykazovaly antioxidační aktivitu 333 μg ekv. trolox/g sušiny. Výsledky modelu ANOVA jsou uvedeny na obrázku 14 v samostatných přílohách.

Mezi vzorky z ekologické a konvenční produkce není statisticky významný rozdíl na hladině významnosti $\alpha = 0,05$. Vyšší antioxidační aktivitu mají vzorky pěstované v ekologickém režimu.

Z analýzy ANOVA (obrázek 15 v samostatných přílohách) vyplývá, že na hladině $\alpha = 0,05$ neexistuje statisticky významný rozdíl v antioxidační aktivitě jednotlivých odrůd. Z grafického výstupu je patrná vyšší průměrná hodnota odrůdy Seldon (371 μg ekv. trolox/g sušiny) a mírně nižší hodnota pro odrůdu Patrik (329 μg ekv. trolox/g sušiny). Tento rozdíl je nejspíše způsoben tím, že Patrik je z použitých odrůd jedinou odrůdou ovsa nahého, většina biologicky aktivních látek ovsa je tedy nejspíše obsažena v obalových vrstvách zrna (Chen et al. 2018).

Metodou ANOVA byl zjišťován i vliv lokality pěstování na antioxidační aktivitu vzorků ovsa. Vyšší průměrná hodnota antioxidační aktivity byla zjištěna u vzorků pěstovaných v Praze-Uhřetěvesi (363 μg ekv. trolox/g sušiny zrna), průměrná antioxidační aktivita pro lokalitu České Budějovice je 323 μg ekv. trolox/g sušiny zrna. Vliv lokality na antioxidační aktivitu analyzovaných vzorků je znázorněn na obrázku 16 v samostatných přílohách.

Na hladině významnosti $\alpha = 0,05$ neexistuje statisticky významný rozdíl mezi hodnotami antioxidační aktivity z rozdílných lokalit. Oblast pěstování tedy nemá v tomto případě vliv na výslednou antioxidační aktivitu ovsa. Rozdíl mezi naměřenými hodnotami v těchto dvou lokalitách je nejspíše způsoben rozdílnými povětrnostními podmínkami nebo rozdílnou nadmořskou výškou míst pěstování.

Následně byl v rámci jednotlivých odrůd sledován vliv způsobu pěstování na antioxidační aktivitu. Průměrné hodnoty pro tři opakování měření antioxidační aktivity a vliv způsobu pěstování na tyto hodnoty jsou uvedeny v tabulce 7.

Ve většině případů neexistuje statisticky významný rozdíl v antioxidační aktivitě u vzorků z různými produkčními systémy ($\alpha = 0,05$). Vliv způsobu pěstování byl statisticky prokázán u třech odrůd (Korok, Kertag, Patrik) pěstovaných v lokalitě České Budějovice. Odrůdě Korok z ekologické produkce byla stanovena antioxidační aktivita 379 μg ekv. trolox/g sušiny zrna, stejná odrůda z konvenční produkce měla antioxidační aktivitu 274 μg ekv. trolox/g sušiny zrna. Odrůda Kertag pěstovaná v ekologickém režimu měla antioxidační aktivitu 380 μg ekv. trolox/g sušiny zrna, u téže odrůdy z konvenční produkce byla stanovena antioxidační aktivita 267 μg ekv. trolox/g sušiny zrna, což je téměř 1,5násobek. Statisticky významný rozdíl (na hladině významnosti $\alpha = 0,05$) mezi vzorky z různých pěstebních systémů byl prokázán i odrůdy ovsa nahého Patrik, vzorek z ekologické produkce vykazoval antioxidační aktivitu 238 μg ekv. trolox/g sušiny zrna, z konvenční produkce 322 μg ekv. trolox/g sušiny zrna. Patrik je jedinou odrůdou, u které byla zjištěna vyšší antioxidační aktivita u vzorků z konvenčního režimu pěstování. U ostatních odrůd byla antioxidační aktivita vyšší vždy u vzorků z ekologické produkce. Vzorky z lokality Praha-Uhřetěves mezi sebou nevykazovaly statisticky významné rozdíly ($\alpha = 0,05$), u lokality České Budějovice mezi sebou nevykazovaly statisticky významné rozdíly odrůdy Raven a Seldon.

Tabulka 7: Porovnání antioxidační aktivity jednotlivých odrůd ovesa a vlivu způsobu pěstování na antioxidační aktivitu vzorků.

Lokalita	Odrůda	Způsob pěstování	Antioxidační aktivita (μg ekv. trolox/g sušiny)
Praha-Uhřetěves	Korok	EKO	352 \pm 9a
		KONV	347 \pm 3a
	Kertag	EKO	334 \pm 9a
		KONV	363 \pm 10a
	Raven	EKO	366 \pm 10a
		KONV	387 \pm 11a
	Seldon	EKO	375 \pm 10a
		KONV	353 \pm 6a
	Patrik	EKO	358 \pm 7a
		KONV	399 \pm 10a
České Budějovice	Korok	EKO	379 \pm 5a
		KONV	274 \pm 6b
	Kertag	EKO	380 \pm 7a
		KONV	267 \pm 7b
	Raven	EKO	343 \pm 17a
		KONV	275 \pm 5a
	Seldon	EKO	408 \pm 6a
		KONV	348 \pm 4a
	Patrik	EKO	238 \pm 7b
		KONV	322 \pm 4a

Stejná písmena (a) značí, že mezi vzorky nebyl statisticky průkazný rozdíl na hladině významnosti $\alpha = 0,05$. Odlišná písmena (a,b) značí, že mezi vzorky byl statisticky průkazný rozdíl na hladině významnosti $\alpha = 0,05$.

5.2 Stanovení celkového obsahu polyfenolů Folin-Ciocalteuovou metodou

Celkový obsah polyfenolů ovesných zrn byl stanoven Folin-Ciocalteuovou metodou uvedenou v metodice v kapitole 4.3.2.

Z naměřených hodnot koncentrace byl pro každý vzorek ze tří opakování spočítán průměr obsahu polyfenolů vyjádřený jako μg ekv. gallové k./g sušiny ovesného zrna. Z těchto hodnot byl vypočítán průměrný obsah polyfenolů a směrodatná odchylka, uvedeny v tabulce 8.

Celkový obsah polyfenolů se pohyboval od 468 μg ekv. gallové k./g sušiny u odrůdy Korok po nejvyšší celkový obsah polyfenolů 532 μg ekv. gallové k./g sušiny, který měla odrůda Patrik. Rozdíly v obsahu u jednotlivých odrůd byly přibližně 10 % a nejsou na hladině významnosti $\alpha = 0,05$ statisticky významné.

Tabulka 8: Průměrný celkový obsah polyfenolů pro jednotlivé odrůdy, způsoby pěstování a lokality pěstování.

		Celkový obsah polyfenolů (μg ekv. gallové k./g sušiny)
Odrůda	Korok	468 \pm 65a
	Kertag	489 \pm 59a
	Raven	504 \pm 69a
	Seldon	507 \pm 19a
	Patrik	532 \pm 94a
Způsob pěstování	KONV	493 \pm 67a
	EKO	507 \pm 60a
Lokalita	Praha-Uhřetěves	510 \pm 52a
	České Budějovice	490 \pm 72a

Stejná písmena (a) značí, že mezi vzorky nebyl statisticky průkazný rozdíl na hladině významnosti $\alpha = 0,05$.

Vliv systému produkce na celkový obsah polyfenolů byl analyzován metodou ANOVA, výstup z této analýzy je znázorněn na obrázku číslo 17 v samostatných přílohách. Vyšší obsah vykazují analyzované vzorky z ekologického systému produkce, rozdíl je patrný z grafického znázornění na obrázku 17, průměrná hodnota pro ekologickou produkci je 507 μg ekv. gallové k./g sušiny zrna a pro konvenční produkci 493 μg ekv. gallové k./g sušiny zrna. Tyto rozdíly mohou být způsobeny některými agrotechnickými zásahy v konvenčním principu produkce (např. hnojení dusíkem v konvenčním systému pěstování). Na hladině významnosti $\alpha = 0,05$ však neexistuje rozdíl mezi celkovými obsahy polyfenolů u vzorků z různých pěstebních systémů.

Dále byl zkoumán vliv odrůdy ovsa na celkový obsah polyfenolů. Tento vliv byl zjišťován pomocí metody ANOVA, jejíž grafické výsledky jsou znázorněny na obrázku 18 v samostatných přílohách. Na hladině významnosti $\alpha = 0,05$ neexistuje statisticky významný rozdíl v celkovém obsahu polyfenolů u různých odrůd ovsa, zahrneme-li do hodnocení oba systémy produkce a obě lokality. Hodnoty se pohybují od 468 μg ekv. gallové k./g (odrůda Korok) do 532 μg ekv. gallové k./g sušiny zrna (odrůda Patrik). Obrázek 18 potvrzuje nejvyšší hodnotu pro odrůdu Patrik (532 μg ekv. gallové k./g sušiny zrna), která je jako jediná ze zkoumaných odrůd ovsa nahého.

U vzorků byl analyzován i vliv lokality pěstování na celkový obsah polyfenolů. Tato analýza je graficky znázorněna na obrázku 19 v samostatných přílohách. Z analýzy ANOVA vyplývá, že na hladině významnosti $\alpha = 0,05$ neexistuje statisticky významný rozdíl mezi vzorky z Prahy-Uhřetěvsi a Českých Budějovic. Též je z grafu zřejmé, že vyšší obsah polyfenolických látek byl detekován v Praze-Uhřetěvsi (510 μg ekv. gallové k./g sušiny zrna), hodnota celkového obsahu polyfenolů pro lokalitu České Budějovice je 490 μg ekv. gallové k./g sušiny zrna. Rozdílné hodnoty v lokalitách jsou nejspíše způsobeny různými povětrnostními podmínkami (v Praze-Uhřetěvsi byly přibližně o 20 % vyšší srážkové úhrny během vegetace) nebo rozdílnou nadmořskou výškou (Praha-Uhřetěves: 282 metrů nad mořem, České Budějovice: 381 metrů nad mořem).

Dále byl zkoumán vliv způsobu pěstování na celkový obsah polyfenolů u jednotlivých odrůd ovsa. Tyto hodnoty a analýza jsou uvedeny v tabulce 9.

Tabulka 9: Porovnání celkového obsahu polyfenolů u jednotlivých odrůd a vlivu způsobu pěstování na celkový obsah polyfenolů ve vzorcích.

Lokalita	Odrůda	Způsob pěstování	Celkový obsah polyfenolů (μg ekv. gallové k./g sušiny)
Praha-Uhřetěves	Korok	EKO	452 \pm 12a
		KONV	487 \pm 9a
	Kertag	EKO	446 \pm 12a
		KONV	494 \pm 9a
	Raven	EKO	526 \pm 11a
		KONV	525 \pm 11a
	Seldon	EKO	482 \pm 11a
		KONV	506 \pm 8a
	Patrik	EKO	568 \pm 6a
		KONV	617 \pm 13a
České Budějovice	Korok	EKO	544 \pm 24a
		KONV	389 \pm 10b
	Kertag	EKO	570 \pm 31a
		KONV	445 \pm 23b
	Raven	EKO	560 \pm 53a
		KONV	406 \pm 41b
	Seldon	EKO	525 \pm 11a
		KONV	516 \pm 42a
	Patrik	EKO	398 \pm 3b
		KONV	546 \pm 14a

Stejná písmena (a) značí, že mezi vzorky nebyl statisticky průkazný rozdíl na hladině významnosti $\alpha = 0,05$. Odlišná písmena (a,b) značí, že mezi vzorky byl statisticky průkazný rozdíl na hladině významnosti $\alpha = 0,05$.

Způsob pěstování měl vliv na celkový obsah polyfenolů u čtyřech odrůd pěstovaných v oblasti České Budějovice. U odrůd Korok, Kertag, Raven a Patrik byl statisticky prokazatelný rozdíl (na hladině významnosti $\alpha = 0,05$) v celkovém obsahu polyfenolů u vzorků z různých způsobů pěstování. Průměrný celkový obsah polyfenolů odrůdy ovsa nahého Patrik z konvenční produkce činil 546 μg ekv. gallové k./g sušiny zrna, vzorek této odrůdy z ekologického režimu měl celkový obsah polyfenolů 398 μg ekv. gallové k./g sušiny zrna. Odrůda Patrik je jedinou odrůdou, která vykazovala vyšší celkový obsah polyfenolů u vzorků z konvenčního režimu produkce. Odrůdě Korok z ekologické produkce byla naměřena hodnota 544 μg ekv. gallové k./g sušiny zrna, celkový obsah polyfenolů této odrůdy z produkce konvenční byl stanoven na 389 μg ekv. gallové k./g sušiny zrna. Kertag z ekologické produkce měl celkový obsah polyfenolů 570 μg ekv. gallové k./g sušiny zrna, stejná odrůda z produkce konvenční vykazovala celkový obsah polyfenolů 445 μg ekv. gallové k./g sušiny zrna. Odrůdě Raven z ekologického režimu produkce byl zjištěn celkový obsah polyfenolů 560 μg ekv. gallové k./g sušiny zrna, vzorky ovesné odrůdy Raven z konvenčního zemědělství 406 μg ekv. gallové k./g sušiny zrna. Vzorky z lokality Praha-Uhřetěves nevykazovaly mezi vzorky

statisticky významné rozdíly ($\alpha = 0,05$), stejně tak odrůda Seldon pěstovaná v lokalitě České Budějovice.

Celkový obsah polyfenolů a antioxidační aktivita vzorků byly dále zkoumány v programu Statistica, aby bylo zjištěno, zda existuje závislost mezi těmito dvěma faktory. Pomocí programu Statistica bylo prokázáno, že s 95% pravděpodobností neexistuje závislost mezi celkovým obsahem polyfenolů a antioxidační aktivitou předložených vzorků ovsa (hodnota p byla menší než 0,05).

6 Diskuze

6.1 Stanovení antioxidační aktivity

Průměrná antioxidační aktivita jednotlivých odrůd ovsa klesala v pořadí Seldon > Patrik > Raven > Korok > Kertag (371 > 353 > 343 > 338 > 336 μg ekv. trolox/g sušiny). Průměrná antioxidační aktivita ovesných zrn z ekologické produkce je 353 μg ekv. trolox/g sušiny a zrna z konvenční produkce obsahovala průměrně 333 μg ekv. trolox/g sušiny. Průměrná antioxidační aktivita ovesných zrn z lokality Praha-Uhřetěves je 363 μg ekv. trolox/g sušiny a 323 μg ekv. trolox/g sušiny je průměrná antioxidační aktivita ovesných zrn z lokality České Budějovice. Na hladině významnosti $\alpha = 0,05$ nebyl statisticky prokázán vliv odrůdy, způsobu pěstování a lokality pěstování na antioxidační aktivitu ovesného zrna.

Capouchová et al. (2020) uvádí, že antioxidační aktivita je závislá na odrůdě a povětrnostních podmínkách, studie dále uvádí, že antioxidační aktivita vzorků (byly využity stejné odrůdy jako v našem pokusu, akorát jiný ročník) mezi odrůdami se pohybovala od 427 μg ekv. trolox/g (odrůda Korok) do 475 μg ekv. trolox/g (odrůda Seldon). Z výsledkové části této práce je zřejmé, že odrůda Seldon měla nejvyšší obsah látek s antioxidační aktivitou i tentokrát (naše hodnota byla však o 100 μg ekv. trolox/g sušiny nižší, což je téměř o čtvrtinu), oproti tomu odrůdou s nejnižší naměřenou hodnotou byla odrůda ovsa nahého Patrik (naše hodnota je zde opět o 100 μg ekv. trolox/g sušiny nižší). Tento fakt může z části vysvětlovat studie Emmons et al. (1999), která uvádí, že vyšší antioxidační aktivita byla naměřena u obalových vstev a vnějších částí zrna (přibližně o 20 %) oproti vnitřním částem zrna. Uváděné hodnoty (Capouchová et al. 2020) jsou vyšší (téměř až o čtvrtinu) než hodnoty naměřené v praktické části této práce, tyto rozdíly jsou nejspíše způsobeny povětrnostními podmínkami. Rok 2021 byl podstatně bohatší na srážky oproti létům 2018 a 2019, dále průměrné teploty v roce 2021 byly nižší než v letech 2018 a 2019, tudíž čím méně srážek a vyšší teploty, tím byla vyšší antioxidační aktivita (to uvádějí i Ibrahim et al. 2020). Vliv pěstebního systému byl v obou případech podobný, vyšší antioxidační aktivitu vždy vykazovaly vzorky z ekologického principu produkce, rozdíl mezi průměry pěstebních systémů není velký (20 μg ekv. trolox/g sušiny zrna) a nejspíše má dva důvody. Prvním z nich je fakt, že je zde zakázáno používat průmyslově vyrobené pesticidy a tím pádem jsou rostliny nuceny si obranné látky produkovat samy, právě tyto obranné látky často mají antioxidační vlastnosti. Druhým důvodem je absence hnojení dusíkatými hnojivy, což má za následek horší dostupnost a zásobení rostlin touto živinou. Výsledkem této situace je opět produkce fytochemikálií s antioxidační aktivitou (Capouchová et al. 2020). Dále byl zkoumán vliv odrůdy ovsa na antioxidační aktivitu, ke stejným poznatkům jako tato práce došel i Chen et al. (2018), kde se potvrdil vliv odrůdy ovsa na výslednou antioxidační aktivitu. Vztah mezi odrůdou a antioxidační aktivitou byl předmětem zkoumání i Emmonse a Petersona (1999), i zde se naměřené hodnoty mezi odrůdami lišily málo, a tudíž na hladině významnosti $\alpha = 0,05$ nebyl prokázán statisticky významný rozdíl v antioxidační aktivitě jednotlivých odrůd. Závislost antioxidační aktivity na odrůdě a prostředí pěstování popisuje i Ibrahim et al. (2020), jejich studie potvrzuje, že variabilita závisí právě na odrůdách ovsa a na povětrnostních podmínkách. Uvádějí, že vyšší obsah látek s antioxidační aktivitou mají zrna, která byla pěstována v teplejších oblastech (průměrná teplota zde byla

přibližně 20 °C a průměrná antioxidační aktivita ovesných zrn zde byla o 55,9 % vyšší než v lokalitě s nižší průměrnou teplotou, která byla přibližně 10 °C). Dále uvádějí, že na antioxidační aktivitu ovesné mouky měl pozitivní vliv vysoký obsah flavonoidů. Významně vyšší obsah flavonoidů měla mouka, která byla jako jediná umleta ze žluté odrůdy ovsa (1057 µg ekv. gallové k./g sušiny zrna).

Oves jako zdroj antioxidantů v lidské stravě popisují i Serea a Barna (2011), zde je zdůrazněna proměnlivost v obsahu biologicky aktivních látek mezi odrůdami (např. odrůda Comun: 5000 µmol ekv. trolox/100 g sušiny zrna, odrůda Mures 3800 µmol ekv. trolox/100 g sušiny zrna), všechny použité komerční odrůdy ovsa byly pluchaté, proto zde nejde porovnat, zda má pluchatost vliv na antioxidační vlastnosti zrna. Antioxidační aktivitu cereálií se zabývali i So et al. (2002). Oves zde vykazoval vyšší antioxidační aktivitu a schopnost inhibovat oxidaci tuků (přibližně o 20 %) oproti všem zkoumaným odrůdám pšenice i oproti většině odrůd ječmene. Ham et al. (2016) zkoumali antioxidační aktivitu ovesných zrn metodou DPPH, naměřené hodnoty v ekvivalentním množství troloxu se pohybují okolo průměru 432 µg ekv. trolox/g sušiny zrna, což je hodnota podobná našim výsledkům (350 µg ekv. trolox/g sušiny zrna, což je přibližně o 15 % méně než v úvodní studii). Ham et al. (2016) dále uvádějí rozdíl v antioxidační aktivitě naměřené u vnějších (obalové vrstvy) a vnitřních částí (endosperm) ovesného zrna. Vnější části zrna měly vyšší antioxidační aktivitu (přibližně o 50 % oproti vnitřním částem zrna), vnitřní obsahovaly větší (přibližně o 20 %) množství látek polyfenolické povahy.

Emmons a Peterson (1999) popisují vztah mezi antioxidační aktivitou a lokalitou pěstování, rozdíly v naměřených hodnotách vzorků ovsa z různých lokalit byly interpretovány jako statisticky významné (hladina významnosti $\alpha = 0,05$). Vzorky pěstované v teplejších oblastech USA měly nižší antioxidační aktivitu než vzorky pěstované v chladnějších oblastech (až o 50 %), rozdíly vysvětlují vyšší mírou stresu rostlin vlivem chladu a vyšším obsahem polyfenolů u rostlin vypěstovaných v chladnějších oblastech.

6.2 Stanovení celkového obsahu polyfenolů

Průměrný celkový obsah polyfenolů jednotlivých odrůd ovsa klesala v pořadí Patrik > Seldon > Raven > Kertag > Korok (532 > 507 > 504 > 489 > 468 µg ekv. gallové k./g sušiny), mezi odrůdami nebyl stanoven statisticky významný rozdíl ($\alpha = 0,05$). Průměrný celkový obsah polyfenolů pro ekologickou produkci je 507 µg ekv. gallové k./g sušiny zrna, produkce konvenční má průměrný celkový obsah polyfenolů 493 µg ekv. gallové k./g sušiny zrna. Vliv systému produkce na celkový obsah polyfenolů nebyl statisticky prokázán na hladině významnosti $\alpha = 0,05$. V lokalitě Praha-Uhřetěves byl stanoven průměrný celkový obsah polyfenolů: 510 µg ekv. gallové k./g sušiny zrna, České Budějovice: 490 µg ekv. gallové k./g sušiny zrna. Vliv lokality na celkový obsah polyfenolů v ovesném zrně nebyl prokázán ($\alpha = 0,05$).

Capouchová et al. (2020) uvádí průměrný celkový obsah polyfenolů pro stejné odrůdy ovsa přibližně o 100 µg ekv. gallové k./g sušiny zrna, tedy přibližně o 15 % vyšší oproti našim výsledkům, to může být způsobeno stejnými činiteli, které byly uvedeny u antioxidační aktivity. Těmito faktory jsou jiné povětrnostní podmínky v letech 2018 a 2019 oproti roku 2021. Konkrétně jsou to nižší úhrn srážek (až o 50 %) a vyšší teplotní průměr o 2-3 °C (2018, 2019).

Zatímco Capouchová et al. (2020) uvádí jako odrůdu s nejnižším obsahem polyfenolů odrůdu pluchatého ovsa Seldon (773 μg ekv. gallové k./g sušiny), dle našich výsledků je odrůdou s nejnižším obsahem Korok (468 μg ekv. gallové k./g sušiny). Odrůdou s nejvyšším celkovým obsahem polyfenolů je v případě našich výsledků i výsledků Capouchové et al. (2020) odrůda ovsa nahého Patrik (532 a 890 μg ekv. gallové k./g sušiny). Obě tyto hodnoty jsou vysoké, jelikož například Horvat et al. (2020) uvádí, že pšenice má obsah polyfenolů oproti ovsu asi poloviční. Oves díky tomuto obsahu může být považován za významný zdroj těchto látek. Podobnou průměrnou hodnotu pro celkový obsah polyfenolů u ovsa z ekologické produkce uvádí Chen et al. (2018), průměrný obsah zde byl 513 μg ekv. gallové k./g sušiny (v našich výsledcích byla naměřena hodnota 507 μg ekv. gallové k./g sušiny) a v obou případech je tato hodnota vyšší než průměr konvenční produkce, autoři též jako důvod uvádějí zvýšenou produkci obranných fytochemikálií. Celkový obsah polyfenolů u odrůd ovsa nahého byl zkoumán ve studii od Tong et al. (2014), kde bylo porovnáváno několik těchto vzorků mezi sebou. Celkový obsah polyfenolů zde byl detekován velmi vysoký (1017 až 1519 μg ekv. ferulové k./g sušiny zrna), což je dvojnásobek až trojnásobek hodnoty u jediné nahé odrůdy (Patrik: 532 μg ekv. gallové k./g sušiny zrna) využitě v praktické části této práce. Ibrahim et al. (2020) též studovali proměnlivost celkového obsahu polyfenolů v různých odrůdách ovsa. Obsah polyfenolů se zde pohyboval od 361 do 1016 μg ekv. gallové k./g sušiny zrna v závislosti na odrůdě, jde o studii, kde rozdíly mezi odrůdami byly velmi variabilní a vysoké. Tento výzkum uvádí i fakt, který potvrzuje naše výsledky výše, a to sice, že většina látek s antioxidační aktivitou se nachází v obalových vrstvách, které obsahují až dvojnásobek těchto látek. Naše výsledky jsou ve shodě i s výzkumem Emmonse a Petersona (1999), kteří stanovovali celkový obsah polyfenolů u různých odrůd ovsa Folin-Ciocalteuovou metodou. I zde nebyl na hladině významnosti $\alpha = 0,05$ statisticky významný rozdíl mezi obsahy polyfenolů u jednotlivých sledovaných odrůd. Obsah mezi odrůdami se pohyboval od 238 do 278 μg ekv. gallové k./g sušiny zrna, což je obsah skoro o polovinu menší než nejvyšší hodnota našich výsledků (odrůda Patrik 532 μg ekv. gallové k./g sušiny).

Hojný výskyt polyfenolů v ovesném zrně potvrzují i Serea a Barna (2011), kteří ve svém výzkumu vyjadřují obsah v ekvivalentech kyseliny ferulové a též potvrzují variabilitu mezi odrůdami. Hodnoty mezi odrůdami se zde pohybují od 1000 do 1600 μg ekv. ferulové k./g sušiny zrna. So et al. (2002) uvádějí studii, kde oves měl celkový obsah polyfenolů na podobné úrovni jako některé odrůdy pšenice (přibližně 270 μg ekv. gallové k./g sušiny zrna pšenice i ovsa), ale antioxidační aktivitu oves vykazoval až dvakrát vyšší (přibližně 500 μg ekv. trolox/g sušiny zrna) než všechny pšeničné odrůdy, protože oves měl vyšší obsah polyfenolů a jiných látek s antioxidační aktivitou.

Emmons a Peterson (2001) se věnovali výzkumu vlivu lokality pěstování na obsah polyfenolických látek v ovesném zrně a mezi lokalitami pěstování v jejich případě existoval statisticky významný rozdíl, dle našich výsledků však lokalita pěstování neměla vliv na obsah polyfenolů. Rostliny pěstované na spraši v prašných půdách měly výrazně nižší (okolo 300 μg ekv. gallové k./g sušiny zrna) obsah látek s polyfenolickou povahou (o polovinu nižší oproti půdám hlinitým). Na půdách hlinitých byly vypěstovány rostliny s vyšším obsahem kyseliny kumarové (okolo 20 mg/kg čerstvé hmoty) oproti jiným půdním typům. Hlinité půdy zde celkově byly určeny jako nejvhodnější pro pěstování ovsa s vysokým obsahem polyfenolů. Dle našich výsledků nebyl efekt pozorován nejspíše kvůli půdním typům v obou lokalitách

(podzolové půdy; hnědozem). Dalším důvodem může být fakt, jak Emmons a Peterson (2001) uvádějí, že u zkoumaných lokalit jsou větší rozdíly v nadmořských výškách jednotlivých lokalit, než je rozdíl mezi Prahou-Uhřetěvesí a Českými Budějovicemi, dále uvádějí, že lokalita s nejvyšším identifikovaným obsahem polyfenolů měla průměrnou denní teplotu velmi nízkou (přibližná roční teplota: 2-4 °C), což je též odlišné od lokalit využitých v praktické části této práce (průměrná roční teplota obou našich lokalit byla přibližně 15 °C). Ovšem obsahy polyfenolů v zrnech se v těchto dvou případech příliš neliší (nejvyšší obsah Emmons a Peterson: 520 µg ekv. kyseliny gallové/g sušiny; odrůda ovsa nahého Patrik využitá pro analýzu této práce: 532 µg ekv. gallové k./g sušiny zrna). Vysoké hodnoty obsahu polyfenolů dle Žilic et al. (2011) vykazuje především oves nahý (až 1000 µg ekv. gallové k./g sušiny zrna), což je dvojnásobek hodnoty celkového obsahu polyfenolů jediné odrůdy ovsa nahého využitého v našem pokusu (Patrik 532 µg ekv. gallové k./g sušiny zrna).

Multari et al. (2018) zdůrazňuje oves jako nutričně významný zdroj polyfenolů s antioxidační aktivitou. Dle jeho studie antioxidační aktivita a nutriční benefity konzumace ovesných výrobků jsou výsledkem především výskytu avenanthramidů. Dle Tong et al. (2014) má obsah polyfenolů i negativum, a to sice nižší obsah bílkovin v ovesných zrnech s vysokým obsahem kyseliny ferulové.

Porovnání jednotlivých běžně konzumovaných cereálií mezi sebou je komplikované kvůli různosti výsledků jednotlivých výzkumů. Ve většině případů je však obsah polyfenolů a antioxidační aktivita závislá na odrůdách a podmínkách pěstování (Emmons a Peterson 1999; Ragaee et al. 2006; Chen et al. 2018). Ve většině případů je však antioxidační aktivita pluchatého ovesného zrna dvojnásobně vyšší (okolo 600 µg ekv. trolox/g sušiny zrna) než antioxidační aktivita zrn ječmene (okolo 300 µg ekv. trolox/g sušiny zrna) a pšenice seté (okolo 250 µg ekv. trolox/g sušiny zrna). V případě pšenice tvrdé jsou hodnoty s ovsem podobné (pšenice tvrdá vykazuje antioxidační aktivitu přibližně 450 µg ekv. trolox/g sušiny zrna). Antioxidační aktivita ovsa nahého je o polovinu nižší (okolo 300 µg ekv. trolox/g sušiny zrna) než u pšenice tvrdé a ječmene (ta se pohybuje okolo 500 µg ekv. trolox/g sušiny zrna) (Sreeramulu 2009; Djordjevic et al. 2011).

Horvat et al. (2020) uvádějí, že dle Pearsonova korelačního koeficientu existuje závislost mezi antioxidační aktivitou naměřenou metodou DPPH a celkovým obsahem polyfenolů stanoveným Folin-Ciocalteuovou metodou. Závislost byla prokázána u pšenice ($r = 0,598$), ječmene ozimého ($r = 0,836$) i jarního ($r = 0,735$). U vzorků ovsa využitých v praktické části tato závislost na hladině významnosti $\alpha = 0,05$ prokázána nebyla. Vliv celkového obsahu polyfenolů na antioxidační aktivitu byl však potvrzen, výzkum Emmons et al. (1999) prokázal obsah polyfenolických látek v jednotlivých částech ovesného zrna a jejich vliv na antioxidační aktivitu, odrůda Belle s nejvyšším obsahem polyfenolů (278 µg ekv. gallové k./g sušiny zrna) měla i nejvyšší antioxidační aktivitu (300 µg ekv. trolox/g sušiny zrna). Závislost antioxidační aktivity ovesného zrna na celkovém obsahu polyfenolů potvrzuje i Ibrahim et al. (2020), Tong et al. (2014) a Chen et al. (2018). Serea a Barna (2011) uvádějí, že celkový obsah polyfenolů je v přímé úměře s antioxidační aktivitou stanovenou metodou DPPH. Naproti tomu So et al. (2002) takovou závislost neprokázali, namísto toho celkovou antioxidační aktivitu cereálií přisuzují především jiným obsaženým látkám, jako například tokolům.

7 Závěr

- Oves spolu s žitem mají největší potenciál být velice prospěšnou součástí lidské stravy, protože mají vysoký obsah vlákniny a antioxidantů.
- Ovesné zrno je významným zdrojem polysacharidů beta-glukanů, které jsou součástí vlákniny. Mají prebiotický účinek, zrychlují průchod potravy trávicím traktem, váží na sebe vodu a cholesterol z potravy. Pokud je vlákniny konzumován dostatek (denní doporučené množství pro dospělé osoby je 25-30 g), tak snižuje riziko rozvoje kardiovaskulárních chorob a vzniku diabetu II. typu. Ovesné beta-glukany se účastní řízení procesu udržování tělesné hmotnosti, posilují imunitní systém a zvyšují tím odolnost proti infekcím. Oves je zdrojem mnoha sloučenin s antioxidační aktivitou, které se vyskytují především v obalových vrstvách zrna. Mezi ně patří především tokoly a fenolické sloučeniny. Ovesné avenanthramidy jsou látky polyfenolické povahy a mají též antioxidační vlastnosti. Dále mají i další pozitivní účinky na lidské zdraví: snižují hladinu LDL cholesterolu v krvi, snižují riziko vzniku kardiovaskulárních onemocnění, karcinomu tlustého střeva a konečníku, mají protizánětlivé účinky a navíc zřejmě pozitivně působí i na funkci imunitního systému.
- Výrobky z ovsy mají ve většině případů vyšší energetickou hodnotu než výrobky například z pšenice, proto by jejich zařazení do jídelníčku mohlo být vhodnější. Vysokou energetickou hodnotu má oves díky vyššímu obsahu tuků (dvojnásobek oproti pšenici), sacharidů a proteinů. Navíc oves může být konzumován i větší částí celiaků. Negativum ovsy je, že ovesná mouka oproti pšeničné špatně kysne, tudíž je oves vhodný spíše na přípravu kaší a pečení sušenek.
- Oves má vyšší obsah polyfenolů a antioxidační aktivitu oproti ostatním obilovinám. Tím je potvrzena první z hypotéz této práce: „Zrno ovsy z ekologického systému produkce se vyznačuje vyšším obsahem fenolických látek oproti zrnu pocházejícímu z produkce konvenční.“. Vysoká antioxidační aktivita určuje ovsu schopnost inhibice oxidace tuků a zastavení řetězových radikálových reakcí. Oves je tedy prospěšný pro lidský organismus i ovesné výrobky, kterým je antioxidanty prodlužována trvanlivost. Antioxidační aktivita je z velké části určena odrůdou, proto by další šlechtění nových odrůd mělo být zaměřeno i na tento faktor. Obsah polyfenolů je vyšší u odrůd nahých, ale i odrůdy pluchaté mají jejich obsah vysoký a pro lidskou výživu významný. Látky polyfenolické povahy zabraňují oxidačnímu stresu a pomáhají předcházet neurodegenerativním onemocněním.
- Druhá hypotéza této práce: „Zrno ovsy se vyznačuje vyšší antioxidační aktivitou oproti jiným běžně konzumovaným obilovinám.“ potvrzena nebyla, způsob produkce nemá významný vliv na obsah polyfenolů v ovesném zrnu. Zrna z ekologické produkce sice měla mírně vyšší obsah polyfenolů a vyšší antioxidační aktivitu, ale rozdíl oproti konvenční produkci nebyl statisticky významný. Tyto rozdíly mohou být způsobeny agrotechnickými zásahy konvenčního zemědělství.

8 Literatura

- Adebo OA, Gabriela Medina-Meza I, Zechner E, Jaeger H, Schoenlechner R. 2020. Impact of Fermentation on the Phenolic Compounds and Antioxidant Activity of Whole Cereal Grains: A Mini Review. *Molecules* **25**: 26-31. DOI: 10.3390/molecules25040927.
- Adlercreutz H. 2007. Lignans and Human Health. *Critical Reviews in Clinical Laboratory Sciences* **44**: 483-525. DOI: 10.1080/10408360701612942.
- Anderson OD, Candela H. 2014. The Spectrum of Major Seed Storage Genes and Proteins in Oats (*Avena sativa*). *PLoS ONE* **9**. DOI: 10.1371/journal.pone.0083569.
- Andersson AAM et al. 2008. Phytochemical and Dietary Fiber Components in Barley Varieties in the HEALTHGRAIN Diversity Screen. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **56**: 9767-9776. DOI: 10.1021/jf802037f.
- Andrzejewska J, Contreras-Govea FE, Pastuszka A, Kotwica K, Albrecht KA. 2019. Performance of oat (*Avena sativa* L.) sown in late summer for autumn forage production in Central Europe. *Grass Forage Science*. **74**: 97-103. DOI: 10.1111/gfs.12400.
- Antolovich M, Prenzler PD, Patsalides E, McDonald S, Robards K. 2001. Methods for testing antioxidant activity. *The Analyst* **127**: 183-198. DOI: 10.1039/b009171p.
- Aparicio-García N, Martínez-Villaluenga C, Frias J, Peñas E. 2021. Sprouted oat as a potential gluten-free ingredient with enhanced nutritional and bioactive properties. *Food Chemistry* **338**. DOI: 10.1016/j.foodchem.2020.127972.
- Arendt E, Zannini E. 2013. *Cereal grains for the food and beverage industries*. Woodhead Publishing, Cambridge.
- Attard E. 2013. A rapid microtitre plate Folin-Ciocalteu method for the assessment of polyphenols. *Open Life Sciences* **8**: 48-53. DOI: 10.2478/s11535-012-0107-3.
- Bei Q, Wu Z, Chen G, Luo X, Li Y, Li J, Li Y, Chen Z. 2020. Dynamic changes in the phenolic composition and antioxidant activity of oats during simultaneous hydrolysis and fermentation. *Food Chemistry* **305**: 260-267. DOI: 10.1016/j.foodchem.2019.125269.
- Blainski A, Lopes G, de Mello J. 2013. Application and Analysis of the Folin Ciocalteu Method for the Determination of the Total Phenolic Content from *Limonium Brasiliense* L. *Molecules* **18**: 6852-6865. DOI: 10.3390/molecules18066852.
- Blechl A, Lin J, Nguyen S, Chan R, Anderson OD, Dupont FM. 2007. Transgenic wheats with elevated levels of Dx5 and/or Dy10 high-molecular-weight glutenin subunits yield doughs with increased mixing strength and tolerance. *Journal of Cereal Science* **45**: 172-183. DOI: 10.1016/j.jcs.2006.07.009.

- Boeck T, D'Amico S, Zechner E, Jaeger H, Schoenlechner R. 2018. Nutritional properties of various oat and naked oat cultivars. *Die Bodenkultur: Journal of Land Management, Food and Environment* **69**: 215-226. DOI: 10.2478/boku-2018-0018.
- Bulková V. 2011. *Rostlinné potraviny. Národní centrum ošetrovatelství a nelékařských zdravotnických oborů*, Brno.
- 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**: 327-333. DOI: 10.17221/212/2020-PSE.
- Comino I, Real A, de Lorenzo L, Cornell H, Lopez-Casado MA, Barro F, Lorite P, Torres MI, Cebolla A, Sousa C. 2011. Diversity in oat potential immunogenicity: basis for the selection of oat varieties with no toxicity in coeliac disease. *Gut* **60**: 915-922. DOI: 10.1136/gut.2010.225268.
- Dacic M, Gojak-Salimovic S. 2016. The effect of chlorogenic acid on the Briggs-Rauscher oscillating reaction. *Bulletin of the Chemist* **46**: 51-54.
- Daou C, Zhang H, de Lorenzo L, Cornell H, Lopez-Casado MA, Barro F, Lorite P, Torres MI, Cebolla A, Sousa C. 2012. Oat Beta-Glucan: Its Role in Health Promotion and Prevention of Diseases. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* **11**: 355-365. DOI: 10.1111/j.1541-4337.2012.00189.x.
- Djordjevic TM, Šiler-Marinkovic SS, Dimitrijevic-Brankovic SI, McDonald S, Robards K. 2011. Antioxidant Activity and Total Phenolic Content in Some Cereals and Legumes. *International Journal of Food Properties* **14**: 175-184. DOI: 10.1080/10942910903160364.
- Donald WL. 2003. Organic Agriculture. *Journal of Sustainable Agriculture* **21**: 59-128, DOI: 10.1300/J064v21n04_06.
- Dvořáčková O. 2018. Doporučené odrůdy ovsa. *Úroda* **2**: 32-34.
- Dykes L, Rooney L. 2007. Phenolic Compounds in Cereal Grains and Their Health Benefits. *Cereal Foods World* **9**: 52-59. DOI: 10.1094/CFW-52-3-0105.
- Eliášová M, Paznocht L. 2017. Total phenolic content and antioxidant activity of tritordeum wheat and barely. *Agronomy research* **15**: 1287-1294.
- Emmons CL, Peterson DM. 1999. Antioxidant Activity and Phenolic Contents of Oat Groats and Hulls. *Cereal Chemistry Journal* **76**: 902-906. DOI: 10.1094/CCHEM.1999.76.6.902.
- Emmons CL, Peterson DM, Paul GL. 1999. Antioxidant capacity of oat (*Avena sativa* L.) Extracts. 2. In vitro Antioxidant activity and contents of phenolic and tocol antioxidants. *Journal of agricultural and food chemistry* **47**: 4894-4898.

- Emmons CL, Peterson DM. 2001. Antioxidant Activity and Phenolic Content of Oat as Affected by Cultivar and Location. *Crop Science* **41**: 1676-1681. DOI: 10.2135/cropsci2001.1676.
- Eicher A. 2003. Organic farming. Eureka. University of California, South Brodway.
- Fardet A, Rock E, Rémésy C, Mehfuza H. 2008. Is the in vitro antioxidant potential of whole-grain cereals and cereal products well reflected in vivo? *Journal of Cereal Science* **48**: 258-276. DOI: 10.1016/j.jcs.2008.01.002.
- Finaud J, Lac G, Filaire E. 2006. Oxidative Stress. *Sports Medicine* **36**: 327-358. DOI: 10.2165/00007256-200636040-00004.
- Gajdošová A, Šturdík E. 2004. Biologické, chemické a nutrično-zdravotné charakteristiky pekářských cereálií. *Nova bioechnologica* **10**: 133-154.
- Gallardo C, Jimenez L, García a Conesa M. 2006. Hydroxycinnamic acid composition and in vitro antioxidant activity of selected grain fractions. *Food Chemistry* **99**: 455-463.
- Gomiero T, Pimentel D, Paoletti MG. 2011. Environmental Impact of Different Agricultural Management Practices: Conventional vs. Organic Agriculture. *Critical Reviews in Plant Sciences*. **30**: 1-2, 95-124. DOI: 10.1080/07352689.2011.554355.
- Ham H, Woo KS, Park J-Y, Lee B, Choi HS, Choi Y-H, Lee J, Lee Y-Y. 2016. Antioxidant Compounds and Antioxidant Activities of Methanolic Extracts from Milling Fractions of Oat. *Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition* **45**: 1681-1684. DOI: 10.3746/jkfn.2016.45.11.1681.
- Harland J. 2015. Authorised EU health claims for oat and barley grain fibre. *Food Science* **2**: 97-108. DOI: 10.1016/B978-1-78242-382-9.00005-0.
- Heleno SA, Martins A, Queiroz MJRP, Ferreira ICFR. 2015. Bioactivity of phenolic acids: Metabolites versus parent compounds. *Food Chemistry* **173**: 501-513. DOI: 10.1016/j.foodchem.2014.10.057.
- Hoffmanová I, Sánchez D, Szczepanková A, Tlaskalová-Hogenová H. 2019. The Pros and Cons of Using Oat in a Gluten-Free Diet for Celiac Patients. *Nutrients* **11**. DOI: 10.3390/nu11102345.
- Horáková V, Dvořáčková O, Mezlík T. 2015. Seznam doporučených odrůd 2015. Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský Brno.
- Horvat D, Šimić G, Drezner G, Lalić A, Ledenčan T, Tucak M, Plavšić H, Andrić L, Zdunić Z. 2020. Phenolic Acid Profiles and Antioxidant Activity of Major Cereal Crops. *Antioxidants* **9**: 175-184. DOI: 10.3390/antiox9060527.

- Chappell A, Scott KP, Griffiths IA, Cowan AA, Hawes C, Wishart J, Martin P. 2017. The agronomic performance and nutritional content of oat and barley varieties grown in a northern maritime environment depends on variety and growing conditions. *Journal of Cereal Science* **74**: 1-10. DOI: 10.1016/j.jcs.2017.01.005.
- Chen C, Wang L, Wang R, Luo X, Li Y, Li J, Li Y, Chen Z. 2018. Phenolic contents, cellular antioxidant activity and antiproliferative capacity of different varieties of oats. *Food Chemistry* **239**: 260-267. DOI: 10.1016/j.foodchem.2017.06.104.
- Ibrahim MS, Ahmad A, Sohail A, Asad MJ, Pazderů K, Konvalina P, Satranský M, Dvořáček V. 2020. Nutritional and functional characterization of different oat (*Avena sativa* L.) cultivars. *International Journal of Food Properties* **23**: 1373-1385. DOI: 10.1080/10942912.2020.1806297.
- Jonsson K et al. 2018. Rye and health - Where do we stand and where do we go?. *Trends in Food Science & Technology* **79**: 78-87. DOI: 10.1016/j.tifs.2018.06.018.
- Khan FA, Maalik A, Murtaza G. 2016. Inhibitory mechanism against oxidative stress of caffeic acid. *Journal of Food and Drug Analysis* **24**: 695-702. DOI: 10.1016/j.jfda.2016.05.003.
- Kouřimská L, Pokhrel K, Božik M, Tilami SK, Horčíčka P. 2021. Fat content and fatty acid profiles of recently registered varieties of naked and hulled oats with and without husks. *Journal of Cereal Science* **99**. DOI: 10.1016/j.jcs.2021.103216.
- Liu Q, Qiu Y, Beta T, Chan R, Anderson OD, Dupont FM. 2010. Comparison of Antioxidant Activities of Different Colored Wheat Grains and Analysis of Phenolic Compounds. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **58**: 9235-9241. DOI: 10.1021/jf101700s.
- Li Y-C, Luo Y, Meng F-B, Li J, Chen W-J, Liu D-Y, Zou L-H, Zhou L. 2022. Preparation and characterization of feruloylated oat β -glucan with antioxidant activity and colon-targeted delivery. *Carbohydrate Polymers* **279**: 1035-1042. DOI: 10.1016/j.carbpol.2021.119002.
- Loskutov IG, Khlestkina EK, Szczepanková A, Tlaskalová-Hogenová H. 2021. Wheat, Barley, and Oat Breeding for Health Benefit Components in Grain. *Plants* **10**: 86. DOI: 10.3390/plants10010086.
- Lu Z, Nie G, Belton PS, Tang H, Zhao B. 2006. Structure–activity relationship analysis of antioxidant ability and neuroprotective effect of gallic acid derivatives. *Neurochemistry International* **48**: 263-274. DOI: 10.1016/j.neuint.2005.10.010.
- Mattila P, Pihlava J-matti, Hellström J. 2005. Contents of Phenolic Acids, Alkyl- and Alkenylresorcinols, and Avenanthramides in Commercial Grain Products. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **53**: 8290-8295. DOI: 10.1021/jf051437z.

- Milbury PE, Chen C-Y, Dolnikowski GG, Blumberg JB. 2006. Determination of Flavonoids and Phenolics and Their Distribution in Almonds: Metabolites versus parent compounds. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **54**: 5027-5033. DOI: 10.1021/jf0603937.
- 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**: 2900-2908. DOI: 10.1021/acs.jafc.7b05726.
- Mushtaq A, Gul-Zaffar ZAD, Mehfuza H. 2014. A review on Oat (*Avena sativa* L.) as a dual-purpose crop. *Scientific Research and Essays* **9**: 52-59. DOI: 10.5897/SRE2014.5820.
- Moharram HA, Youssef MM. 2014. Methods for determining the antioxidant activity: A review. *Food science and technology* **11**: 31-42.
- Moure A, Cruz M, Franco D, Domínguez M, Sineiro J, Domínguez H, ParajóC. 2001. Natural antioxidants from residual sources, *Food Chemistry*: **72**: 145-171.
- Olszowy M. 2019. What is responsible for antioxidant properties of polyphenolic compounds from plants? *Plant Physiology and Biochemistry* **144**: 135-143. DOI: 10.1016/j.plaphy.2019.09.039.
- Paulová H, Bochořáková H, Táborská E. 2004. Metody stanovení antioxidační aktivity přírodních látek *in vitro*. *Chemické Listy. Biochemický ústav Lékařské fakulty Masarykovy university* **98**: 174-179.
- Petr J. 2008. Žito a tritikale: biologie, pěstování, kvalita a využití. ProfiPress.
- Pietta P-G. 2000. Flavonoids as Antioxidants. *Journal of Natural Products* **63**: 1035-1042. DOI: 10.1021/np9904509.
- Prugar J. 2008. Kvalita rostlinných produktů na prahu 3. tisíciletí. Výzkumný ústav pivovarský a sladařský ve spolupráci s komisí jakosti rostlinných produktů ČAZV, Praha.
- Ragaa S, Abdel-Aal ES, Noaman M. 2006. Antioxidant activity and nutrient composition of selected cereals for food use. *Food Chemistry* **98**: 32-38.
- Rajinder Singh DS, Belkheir A. 2013. *Avena sativa* (Oat), A Potential Nutraceutical and Therapeutic Agent. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* **53/2**: 126-144. DOI: 10.1080/10408398.2010.526725.
- Rauf M, Yoon H, Lee S, Shin M-J, Ko H-C, Lee M-C, Oh S, Hyun D-Y, Hur O, Choi YM. 2019. Evaluation of Major Dietary Ingredients in Diverse Oats (*Avena sativa* L.) Germplasm. *Journal of Crop Science and Biotechnology* **22**: 495-507. DOI: 10.1007/s12892-019-0274-0.

- Real A et al. 2012. Molecular and Immunological Characterization of Gluten Proteins Isolated from Oat Cultivars That Differ in Toxicity for Celiac Disease. *PLoS ONE* **7**. DOI: 10.1371/journal.pone.0048365.
- Santolaria S, Montoro-Huguet M. 2015. Celiac disease, gluten-free diet and health-related quality of life. *Revista española de enfermedades digestivas* **107**: 193-195.
- Schrama M, de Haan JJ, Kroonen M, Verstegen H, Van der Putten WH. 2018. Crop yield gap and stability in organic and conventional farming systems **256**: 123-130. DOI: 10.1016/j.agee.2017.12.023.
- Selgen.cz. Available at <https://selgen.cz/oves-sety/> (accessed February 11, 2022).
- Serea C, Barna O. 2011. Phenolic content and antioxidant activity in oat. *Food science and technology* **12**: 164-168.
- Shahidi F, Zhong Y. 2015. Measurement of antioxidant activity. *Journal of Functional Foods* **18**: 757-781. DOI: 10.1016/j.jff.2015.01.047.
- Shen Y, Jin L, Xiao P, Lu Y, Bao J. 2009. Total phenolics, flavonoids, antioxidant capacity in rice grain and their relations to grain color, size and weight. *Journal of Cereal Science* **49**: 106-111. DOI: 10.1016/j.jcs.2008.07.010.
- Shewry PR. 2009. The HEALTHGRAIN programme opens new opportunities for improving wheat for nutrition and health. *Nutrition bulletin* **34**: 225-231. DOI: 10.1111/j.1467-3010.2009.01747.x.
- Smulders MJM, van de Wiel CCM, van den Broeck HC, van der Meer IM, Israel-Hoevelaken TPM, Timmer RD, van Dinter B-J, Braun S, Gilissen LJWJ. 2018. Oats in healthy gluten-free and regular diets: A perspective. *Food Research International* **110**: 3-10. DOI: 10.1016/j.foodres.2017.11.031.
- So YB, Woong BJ, Dong SK, Hwa YH, Yong WS. 2002. Antioxidant activity and total phenolic compounds in grain extracts of wheat, barely and oat. *Korean journal of crop science* **47**: 102-107.
- Sun L, Jin H-yu, Tian R-tao, Wang M-juan, Liu L-na, Ye L-ping, Zuo T-tian, Ma S-cheng. 2017. A simple method for HPLC retention time prediction: linear calibration using two reference substances. *Chinese Medicine* **12**: 106-111. DOI: 10.1186/s13020-017-0137-x.
- Sreeramulu D, Reddy CVK, Raghunath M. 2009. Antioxidant activity of commonly consumed cereals, millets, pulses and legumes in India. *Indian journal of biochemistry and biophysics* **46**: 112-115.
- Šarapatka B, Urban J. 2006. *Ekologické zemědělství v praxi*. Šumperk.

Šulc M, Lachman J, Hamouz K, Orsák M, Dvořák P, Horáčková V. 2007. Výběr a hodnocení vhodných metod pro stanovení antioxidační aktivity červených a fialových brambor. *Chemické listy* **101**: 584-591.

Tong L-tao, Liu L-ya, Zhong K, Wang Y, Guo L-na, Zhou S-mei. 2014. Effects of Cultivar on Phenolic Content and Antioxidant Activity of Naked Oat in China. *Journal of Integrative Agriculture* **13**: 1809-1816. DOI: 10.1016/S2095-3119(13)60626-7.

Vasanthan T, Gaosong J, Yeung J, Li J, Anderson OD, Dupont FM. 2002. Dietary fiber profile of barley flour as affected by extrusion cooking. *Food Chemistry* **77**: 35-40. DOI: 10.1016/S0308-8146(01)00318-1.

Významné hospodářské vlastnosti doporučených odrůd ovsa setého. 2017. ÚKZUZ, Praha. Available at https://eagri.cz/public/web/file/521512/Oves_sety_2017.pdf (accessed January 25, 2022).

Walters M, Lima Ribeiro AP, Hosseinian F, Tsopmo A. 2018. Phenolic acids, avenanthramides, and antioxidant activity of oats defatted with hexane or supercritical fluid. *Journal of Cereal Science* **79**: 21-26. DOI: 10.1016/j.jcs.2017.09.010.

Waraho T, McClements DJ, Decker EA. 2011. Mechanisms of lipid oxidation in food dispersions. *Trends in Food Science & Technology* **22**: 3-13. DOI: 10.1016/j.tifs.2010.11.003.

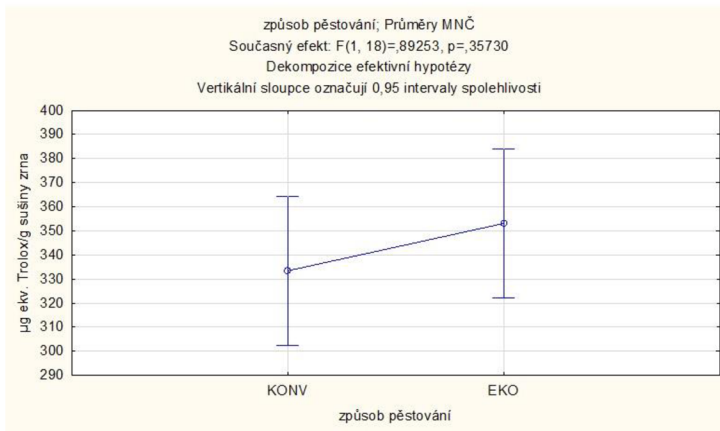
Wieser H, Koehler P, Nguyen S, Chan R, Anderson OD, Dupont FM. 2008. The Biochemical Basis of Celiac Disease. *Cereal Chemistry Journal* **85**: 1-13. DOI: 10.1094/CCHEM-85-1-0001.

Wieser H, Lin J, Nguyen S, Chan R, Anderson OD, Dupont FM. 2007. Chemistry of gluten proteins. *Food Microbiology* **24**: 115-119. DOI: 10.1016/j.fm.2006.07.004.

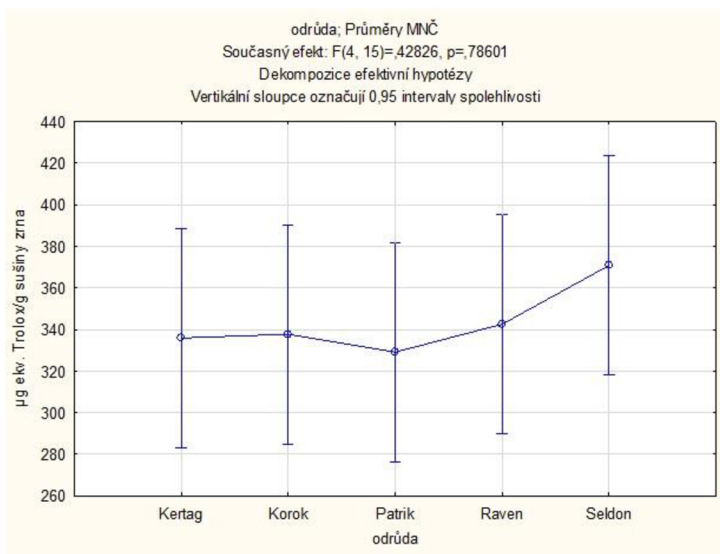
Yan Y, Zhang Q, Feng F, Wang M-juan, Liu L-na, Ye L-ping, Zuo T-tian, Ma S-cheng. 2016. HPLC-TOF-MS and HPLC-MS/MS combined with multivariate analysis for the characterization and discrimination of phenolic profiles in nonfumigated and sulfur-fumigated rhubarb: linear calibration using two reference substances. *Journal of Separation Science* **39**: 2667-2677. DOI: 10.1002/jssc.201501382.

Žilic S, Šukalovič VHT, Dodig D, Maksimovic V, Maksimovic M. 2011. Antioxidant activity of small grain cereals caused by phenolics and lipid soluble antioxidants. *Journal of Cereal Science* **54**: 417-424.

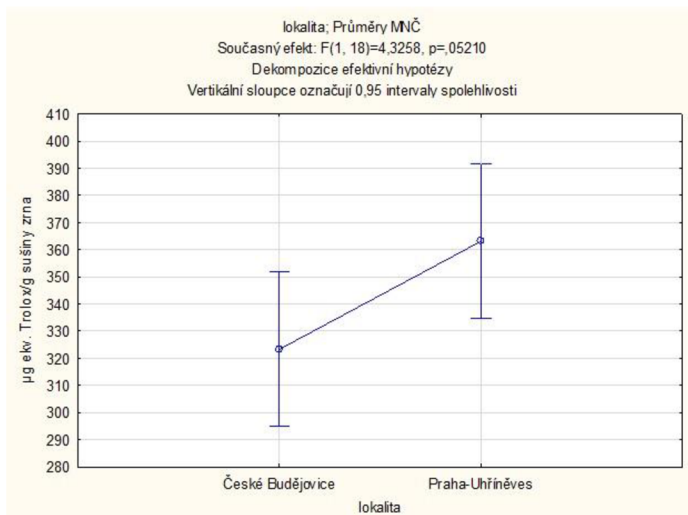
9 Samostatné přílohy



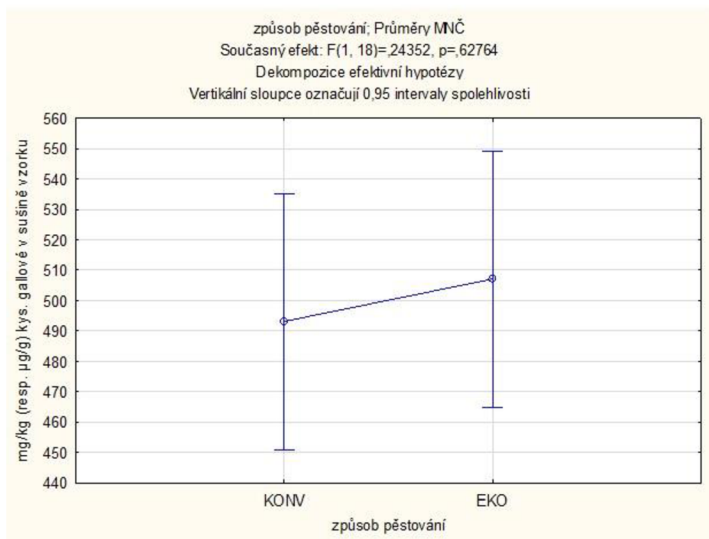
Obrázek 14: Vliv systému produkce na antioxidační aktivitu vzorků (výstup ANOVA). Mezi vzorky neexistuje statisticky významný rozdíl na hladině významnosti $\alpha = 0,05$.



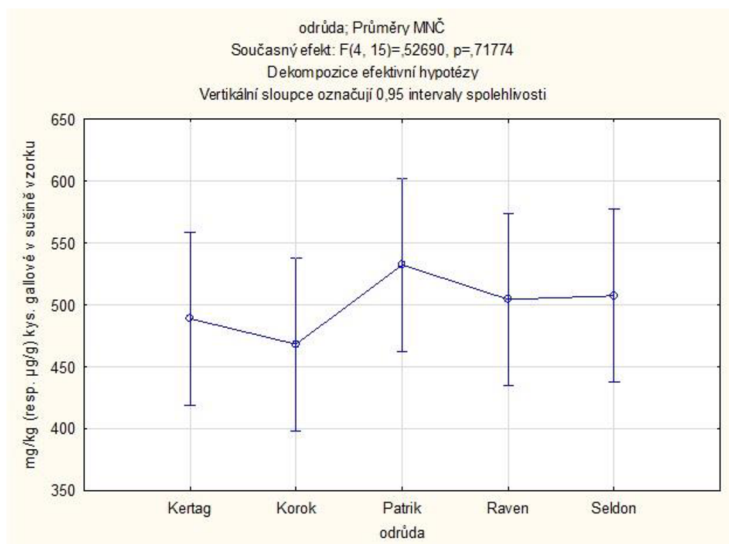
Obrázek 15: Vliv odrůdy ovsa na antioxidační aktivitu zrna (výstup ANOVA), mezi vzorky neexistuje statisticky významný rozdíl na hladině významnosti $\alpha = 0,05$.



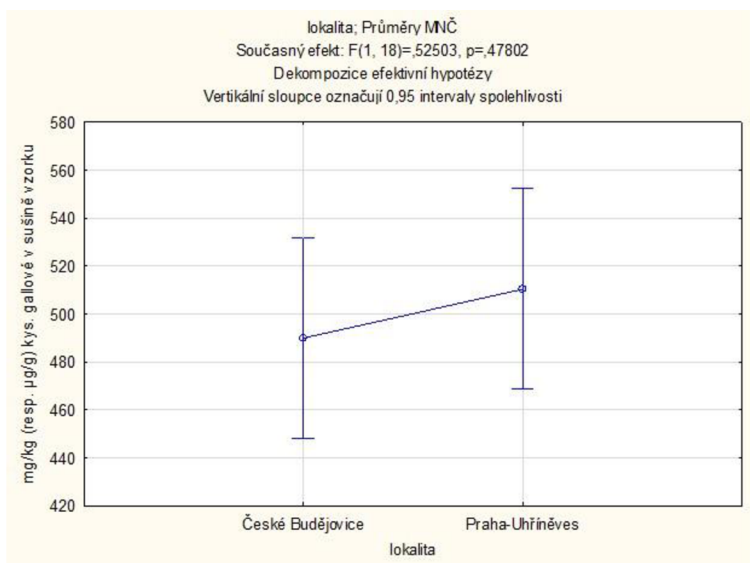
Obrázek 16: Vliv lokality pěstování na antioxidační aktivitu vzorků (výstup ANOVA), mezi vzorky neexistuje statisticky významný rozdíl na hladině významnosti $\alpha = 0,05$.



Obrázek 17: Vliv způsobu pěstování na celkový obsah polyfenolů (výstup ANOVA), mezi vzorky neexistuje statisticky významný rozdíl na hladině významnosti $\alpha = 0,05$.



Obrázek 18: Vliv odrůdy na celkový obsah polyfenolů (výstup ANOVA), mezi vzorky neexistuje statisticky významný rozdíl na hladině významnosti $\alpha = 0,05$.



Obrázek 19: Vliv lokality pěstování na celkový obsah polyfenolů ve vzorcích (výstup ANOVA), mezi vzorky neexistuje na hladině významnosti $\alpha = 0,05$ statisticky významný rozdíl.