

**Česká zemědělská univerzita v Praze**  
**Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů**  
**Katedra chemie**



**Obsah tokolů v zrně ovsa pěstovaného v konvenčním  
a ekologickém zemědělském systému**

**Diplomová práce**

**Autor práce: Bc. Vendula Benediktová**

**Obor studia: Výživa a potraviny**

**Vedoucí práce: Ing. Zora Kotíková, Ph.D.**

## **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "Obsah tokolů v zrně ovsa pěstovaného v konvenčním a ekologickém zemědělském systému" 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 \_\_\_\_\_

## **Poděkování**

Ráda bych touto cestou poděkovala Ing. Zoře Kotíkové, Ph.D. za ochotu, pomoc, vstřícný přístup a odborné vedení mé diplomové práce. Dále bych ráda poděkovala Ing. Barboře Burešové za odbornou pomoc a konzultaci při laboratorních pracích k metodické části mé diplomové práce a také své rodině a přátelům za podporu během celého studia.

# Obsah tokolů v zrně ovsa pěstovaného v konvenčním a ekologickém zemědělském systému

## Souhrn

Tato práce se zabývá zemědělskou plodinou ovsem, jakožto bohatým zdrojem nutričních, zdraví prospěšných látek, včetně tokolů. V literární části práce byly sepsány vědecké poznatky o ovsu setém (*Avena sativa* L.), byla detailně probrána skupina látek „tokoly“ včetně jejich antioxidační aktivity a v neposlední řadě byla věnována pozornost vlivům podmínek prostředí a pěstebních technologií na obsah sekundárních metabolitů v rostlinách.

Cílem diplomové práce bylo stanovit obsah a zastoupení jednotlivých forem tokolů ve čtyřech odrůdách ovsa setého (Kertag, Korok, Seldon, Raven) a jedné odrůdě ovsa nahého (Patrik) a zhodnotit vliv produkčních systémů (ekologický vs. konvenční), genotypových a environmentálních faktorů (lokality a rok pěstování) na obsah a složení tokolů v zrně ovsa. Pro stanovení obsahu tokolů ve vzorcích ovsa byla použita metoda kapalinové chromatografie s fluorescenční detekcí (HPLC/FLD). Dosažené výsledky byly statisticky vyhodnoceny pomocí faktoriální ANOVY a Tukeyova HSD testu.

V ovsu byly detekovány pouze  $\alpha$ - a  $\beta$ -formy tokolů. Z výsledků analýzy bylo zjištěno, že největší obsah ve všech zkoumaných genotypech zaujímaly  $\alpha$ -tokotrienoly s průměrným obsahem 81,24  $\mu\text{g/g}$ , následované  $\alpha$ -tokoferoly s průměrem 31,43  $\mu\text{g/g}$  sušiny zrna.  $\beta$ -formy tokolů se ve všech odrůdách vyskytovaly jen v malém množství (4,96  $\mu\text{g}$   $\beta$ -tokotrienolů/g a 1,52  $\mu\text{g}$   $\beta$ -tokoferolů/g sušiny). Vliv odrůdy na celkový obsah tokolů nebyl významný. Statisticky významné rozdíly byly nalezeny pouze u minoritních  $\beta$ -forem tokolů u odrůd Korok a Seldon. Bylo zjištěno, že největší vliv na obsah tokolů v ovsu měl rok pěstování, a to jak u celkových tokolů, tak u jednotlivých forem. Významně více tokolů bylo naměřeno v roce 2019 a největší rozdíl byl patrný u celkového obsahu tokolů (143,35  $\mu\text{g/g}$  v roce 2019; 94,94  $\mu\text{g/g}$  sušiny pro rok 2020), kde činil téměř 50  $\mu\text{g/g}$  sušiny a dále u  $\alpha$ -tokotrienolů (98,32  $\mu\text{g/g}$  pro rok 2019; 64,15  $\mu\text{g/g}$  sušiny v roce 2020), kde byl zjištěn rozdíl necelých 35  $\mu\text{g/g}$  sušiny. Produkční systém také ovlivňoval obsah tokolů v zrně ovsa, přičemž rostliny pěstované v ekologickém systému (EKO) vykazovaly zvýšenou tvorbu tokolů v ovesném zrně oproti systému konvenčnímu (KON). Jako statisticky významné však byly zjištěny opět pouze rozdíly mezi  $\beta$ -formami tokolů (5,30  $\mu\text{g/g}$   $\beta$ -tokotrienolů a 1,61  $\mu\text{g/g}$   $\beta$ -tokoferolů v EKO; 4,63  $\mu\text{g/g}$   $\beta$ -tokotrienolů a 1,44  $\mu\text{g/g}$   $\beta$ -tokoferolů v KON). Vliv lokality pěstování nebyl sledován jako statisticky významný u žádné formy tokolů.

**Klíčová slova:** oves setý, tokotrienoly, tokoferoly, HPLC-FLD, genotypové faktory, environmentální faktory, produkční systém

# Content of tocopherols in oat grain grown in conventional and organic farming systems

## Summary

This diploma thesis is focused on the agricultural crop oat, as a rich source of nutritional, health-promoting compounds, including tocopherols. The literature review of this thesis includes scientific knowledge about oats (*Avena sativa* L.), the group of "tocopherols" substances including their antioxidant activity was discussed in detail and last but not least, the attention was paid to the effects of environmental conditions and cultivation technologies on the content of secondary metabolites in plants.

The aim of the diploma thesis was to determine the content and composition of individual forms of tocopherols in four varieties of oats (Kertag, Korok, Seldon, Raven) and one variety of naked oats (Patrik) and to evaluate the influence of production systems (organic vs. conventional), genotypic and environmental factors (location and year of cultivation) on the content and composition of tocopherols in oat grain. For the determination of the tocopherol content in oat samples there was used the analytical method of liquid chromatography with fluorescence detection (HPLC/FLD). The obtained results were statistically evaluated by using factorial ANOVA and Tukey's HSD test.

Only  $\alpha$ - and  $\beta$ -forms of tocopherol were detected and determined in oats. The results of the analysis showed that the highest content in all examined genotypes was occupied by  $\alpha$ -tocotrienols with an average content of 81.24  $\mu\text{g/g}$ , followed by  $\alpha$ -tocopherols with an average of 31.43  $\mu\text{g/g}$  dry matter of grain.  $\beta$ -forms of tocopherols were present in all varieties only in small amounts (4.96  $\mu\text{g}$   $\beta$ -tocotrienols/g and 1.52  $\mu\text{g}$   $\beta$ -tocopherols/g dry matter). The effect of variety on the total tocopherol content was not significant. Statistically significant differences were found only in the minor  $\beta$ -forms of tocopherols in Korok and Seldon varieties. It was found that the year of cultivation had the greatest effect on the content of tocopherols in oats, both for total tocopherol and for individual forms. Significantly higher content of tocopherols was measured in 2019 and the largest difference was evident in the total tocopherol content (143.35  $\mu\text{g/g}$  in 2019; 94.94  $\mu\text{g/g}$  dry matter in 2020), which was almost 50  $\mu\text{g/g}$  dry matter and next in  $\alpha$ -tocotrienols (98.32  $\mu\text{g/g}$  in 2019; 64.15  $\mu\text{g/g}$  dry matter in 2020), where the difference was found less than 35  $\mu\text{g/g}$  dry matter. The farming system also influenced the tocopherol content in oat grain, with plants grown in the ecological system (ECO) showing increased production of tocopherols in oat grain compared to the conventional system (CON). However, only differences between  $\beta$ -forms of tocopherols were found to be statistically significant (5.30  $\mu\text{g/g}$   $\beta$ -tocotrienols and 1.61  $\mu\text{g/g}$   $\beta$ -tocopherols in ECO; 4.63  $\mu\text{g/g}$   $\beta$ -tocotrienols and 1.44  $\mu\text{g/g}$   $\beta$ -tocopherols in CON) again. The effect of the cultivation location was not found to be statistically significant for any form of tocopherol.

**Keywords:** *Avena sativa*, tocotrienols, tocopherols, HPLC-FLD, genotype factors, environmental factors, production system

# Obsah

1 Úvod.....	8
2 Vědecké hypotézy a cíle práce .....	9
3 Literární rešerše .....	10
<b>3.1 Oves setý (<i>Avena sativa</i>).....</b>	<b>10</b>
3.1.1 Stavba zrna.....	11
3.1.2 Chemické složení a nutriční hodnota ovesného zrna.....	12
3.1.2.1 Složení základních živin .....	13
3.1.2.2 Biologicky aktivní látky .....	15
3.1.2.3 Srovnání s jinými obilovinami.....	16
3.1.3 Pěstování ovsa – podmínky prostředí a pěstební technologie .....	17
<b>3.2 Tokoly (vitamin E).....</b>	<b>18</b>
3.2.1 Tokoferoly .....	20
3.2.2 Tokotrienoly .....	20
3.2.3 Biosyntéza tokolů .....	20
3.2.4 Tokoly v rostlinách.....	23
3.2.4.1 Tokoly v cereáliích .....	24
3.2.4.2 Obsah tokolů v ovesném znu.....	24
3.2.5 Biodostupnost a nutriční význam tokolů pro člověka .....	25
3.2.5.1 Trávení, rozpustnost a absorpce tokolů .....	25
3.2.5.2 Vliv na fyziologické procesy v těle člověka.....	26
3.2.5.3 Dostupnost v potravě .....	28
3.2.5.4 Doporučení pro příjem vitamínu E .....	30
3.2.6 Antioxidační aktivita tokolů .....	32
<b>3.3 Vliv podmínek prostředí a pěstebních technologií na obsah sekundárních metabolitů v rostlinách .....</b>	<b>35</b>
3.3.1 Podmínky prostředí.....	36
3.3.2 Pěstební technologie – konvenční a ekologické systémy hospodaření ....	37
4 Metodika.....	39
<b>4.1 Analyzované vzorky ovsa .....</b>	<b>39</b>
<b>4.2 Základní údaje o pokusech s ovsem .....</b>	<b>39</b>
4.2.1 Charakteristika pěstovaných lokalit.....	40
4.2.1.1 ČZU Praha-Uhřetěves .....	40
4.2.1.2 JU České Budějovice .....	40
4.2.2 Rok 2019.....	40
4.2.2.1 Agrotechnika: Praha – Uhřetěves .....	40

4.2.2.2	Agrotechnika: České Budějovice .....	40
4.2.2.3	Přírodní podmínky .....	41
4.2.3	Rok 2020 .....	42
4.2.3.1	Agrotechnika: Praha – Uhřetěves .....	42
4.2.3.2	Agrotechnika: České Budějovice .....	42
4.2.3.3	Přírodní podmínky .....	43
<b>4.3</b>	<b>Analýza obsahu tokolů v zrnech ovsa.....</b>	<b>44</b>
4.3.1	Použité přístroje, pomůcky, chemikálie.....	44
4.3.1.1	Přístroje .....	44
4.3.1.2	Pomůcky.....	44
4.3.1.3	Chemikálie .....	45
4.3.2	Příprava vzorku pro stanovení tokolů v obilninách .....	45
4.3.3	HPLC/FLD analýza .....	46
4.3.4	Statistické zhodnocení dat .....	46
<b>5</b>	<b>Výsledky.....</b>	<b>47</b>
<b>5.1</b>	<b>Vliv odrůdy ovsa na obsah tokolů.....</b>	<b>48</b>
<b>5.2</b>	<b>Vliv lokality pěstování na obsah tokolů .....</b>	<b>49</b>
<b>5.3</b>	<b>Vliv roku pěstování na obsah tokolů .....</b>	<b>50</b>
<b>5.4</b>	<b>Vliv typu pěstebního systému.....</b>	<b>51</b>
<b>6</b>	<b>Diskuze.....</b>	<b>53</b>
<b>7</b>	<b>Závěr .....</b>	<b>56</b>
<b>8</b>	<b>Literatura.....</b>	<b>57</b>
<b>9</b>	<b>Seznam použitých zkratk a symbolů .....</b>	<b>66</b>
<b>10</b>	<b>Samostatné přílohy .....</b>	<b>68</b>

# 1 Úvod

Oves je vedlejší, ale i tak velmi cenná plodina, která je pěstována především v chladnějších evropských a severoamerických oblastech s lehce vyššími nadmořskými výškami. Nejpěstovanějším druhem je oves setý (*Avena sativa* L.) a mezi další známé odrůdy s menším regionálním významem patří např. oves nahý (*Avena nuda* L.) (Capouchová et al. 2020).

Přestože má oves vysokou nutriční hodnotu, jeho pěstování a využívání v lidské stravě bylo v posledních 70 letech, oproti jiným obilovinám, nízké. V současné době se však zájem o oves jakožto zdravou potravinu opět zvyšuje (Tiwari & Cummins 2009; Kouřimská et al. 2018). Obilniny, včetně ovsa, byly uznány jako funkční potraviny, protože působí příznivě na zdraví spotřebitele a snižují riziko různých onemocnění. Cenné fyziologické a nutriční vlastnosti ovesných  $\beta$ -glukanů a dalších složek vlákniny, vysoký obsah tokolů a úroveň přirozených antioxidantů vyvolávají zvýšenou poptávku po ovsu v lidské výživě (Sterna et al. 2016).

Jedny z významných biologicky aktivních látek ovsa jsou tokoly, známé také pod souhrnným názvem vitamin E (Zempleni et al. 2014). Konkrétně se v ovsu vyskytují  $\alpha$ - a  $\beta$ -tokoferoly a  $\alpha$ - a  $\beta$ -tokotrienoly. Jejich nejvýznamnější funkcí je antioxidační aktivita. Přestože v jiných rostlinách obsahujících tokoly bývají nejhojněji se vyskytující formou tokoferoly, u ovsa jsou to tokotrienoly. Tokoly jsou syntetizovány rostlinami pro ochranu před oxidačním stresem, pro vychytávání volných radikálů a k ochraně před peroxidací lipidů v buněčných membránách. Koncentrace tokolů v ovsu se pohybuje cca v rozmezí 13–36 mg/kg sušiny a jejich distribuce v zrna je nerovnoměrná (Tiwari & Cummins 2009). Lidský organismus získává tokoly z potravy, mimo jiné i z konzumace ovsa. Hlavním významem tokolů pro člověka jsou jejich antioxidační schopnosti. Mezi další pozitivní účinky patří např. snižování hladiny cholesterolu v krvi, podpora regenerace tkání, zpevnování buněčných membrán a vykazují také antiatherogenní a antiangiogenní účinky (Zempleni et al. 2014).

Celkový obsah tokolů (ale i jiných sekundárních metabolitů) v rostlinách a zastoupení jejich jednotlivých forem se může za různých podmínek výrazně měnit. Rozdíly mohou způsobovat jak genotypové, tak i různé environmentální faktory (srážky, teplota, sucho, délka světla, složení půdy aj.) (Fritsche et al. 2017). Důležitým, ovlivnitelným faktorem je způsob hospodaření, tedy výběr pěstebního systému. Nejčastěji se při pěstování plodin v České republice využívá konvenčního systému hospodaření. Oves, jako vedlejší plodina, je pěstován spíše v ekologickém systému hospodaření (Cristache et al. 2018). Jak činnosti abiotické, tak činnosti biotické mohou mít významný vliv na rostlinné metabolismy, na nižší či vyšší tvorbu sekundárních metabolitů, a tím i na výsledné složení biologicky aktivních látek potravin (Isah 2019).



## **2 Vědecké hypotézy a cíle práce**

### **Hypotézy**

1. Obsah tokolů v zrně ovsa byl závislý na odrůdě, ročníku a lokalitě pěstování
2. Rostliny pěstované ekologickým způsobem obsahovaly více tokolů oproti rostlinám pěstovaným konvenčně.

### **Cíle práce**

1. Stanovit obsah jednotlivých forem tokolů v zrně vybraných odrůd ovsa, pěstovaných na odlišných lokalitách v různých typech zemědělských systémů.
2. Vyhodnotit vliv genotypových a environmentálních faktorů na obsah a složení tokolů v ovse.
3. Vyhodnotit vliv zemědělského systému (ekologický vs. konvenční) na obsah a složení tokolů v ovse.

## 3 Literární rešerše

### 3.1 Oves setý (*Avena sativa*)

Obiloviny se řadí mezi krytosemenné jednoděložné rostliny z řádu lipnicovitých (*Poaceae*). Kromě ovsa mezi ně patří pšenice, ječmen, žito, triticales, kukuřice, rýže aj. (Badea et al. 2018). Obiloviny představují z ekonomického a agronomického hlediska nejdůležitější skupinu plodin pro rostlinnou výrobu. Jsou konzumovány ve velkém měřítku a jsou cenným zdrojem živin v lidské stravě (Čurná & Lacko-Bartošová 2017). Celosvětově se konzumace obilovin odhaduje na 60–70 % z celkové stravy lidí (Bajerová et al. 2016).

Pěstování ovsa (*Avena spp.* L.) začalo kolem roku 1000 před naším letopočtem na přelomu doby bronzové a doby železné (Kouřimská et al. 2018). Oves je minoritní, ale i přesto velmi cenná pěstovaná plodina zejména v chladnějších evropských a severoamerických regionech (Capouchová et al. 2020). Rod *Avena* zahrnuje přibližně 70 druhů. Nejpěstovanějším druhem je oves setý (*Avena sativa* L.) (viz obrázek č. 1) s loupaným zrnem, který lze v závislosti na barvě slupky rozdělit na bílé, žluté a černé odrůdy (Kouřimská et al. 2018). Mezi další pěstované druhy s menším regionálním významem patří *Avena abyssinica* Hochst. (oves etiopský), *Avena strigosa* Schreb. (známý pod několika běžnými názvy, např. jako lopsid, štětina, písek nebo černý oves) a *Avena nuda* L. (oves nahý neboli bezpluchatý). Oves nahý je málo rozšířeným druhem a pěstuje se převážně ve vysokých nadmořských výškách v Číně (Gorash et al. 2017).

Přestože pozitivní účinky ovsa na lidské zdraví jsou všeobecně známé, jeho využívání v lidské stravě se během posledních 70 let snížilo, a to především ku prospěchu pšenice seté (*Triticum aestivum* L.) (van der Broeck et al. 2016). Nicméně v dnešní době zájem o produkci ovsa a jeho spotřeba opět pomalu roste. Je tomu tak zejména díky zvýšenému zájmu lidí o zdravou výživu, a tedy i většímu povědomí o zdraví prospěšných vlastnostech ovsa a jeho bioaktivních sloučeninách ( $\beta$ -glukany, příznivé složení aminokyselin, vitaminy, antioxidanty, nenasycené mastné kyseliny, vysoký obsah rozpustné vlákniny atd.) (Tiwari & Cummins 2009; Martínez-Villaluenga & Peñas 2017).

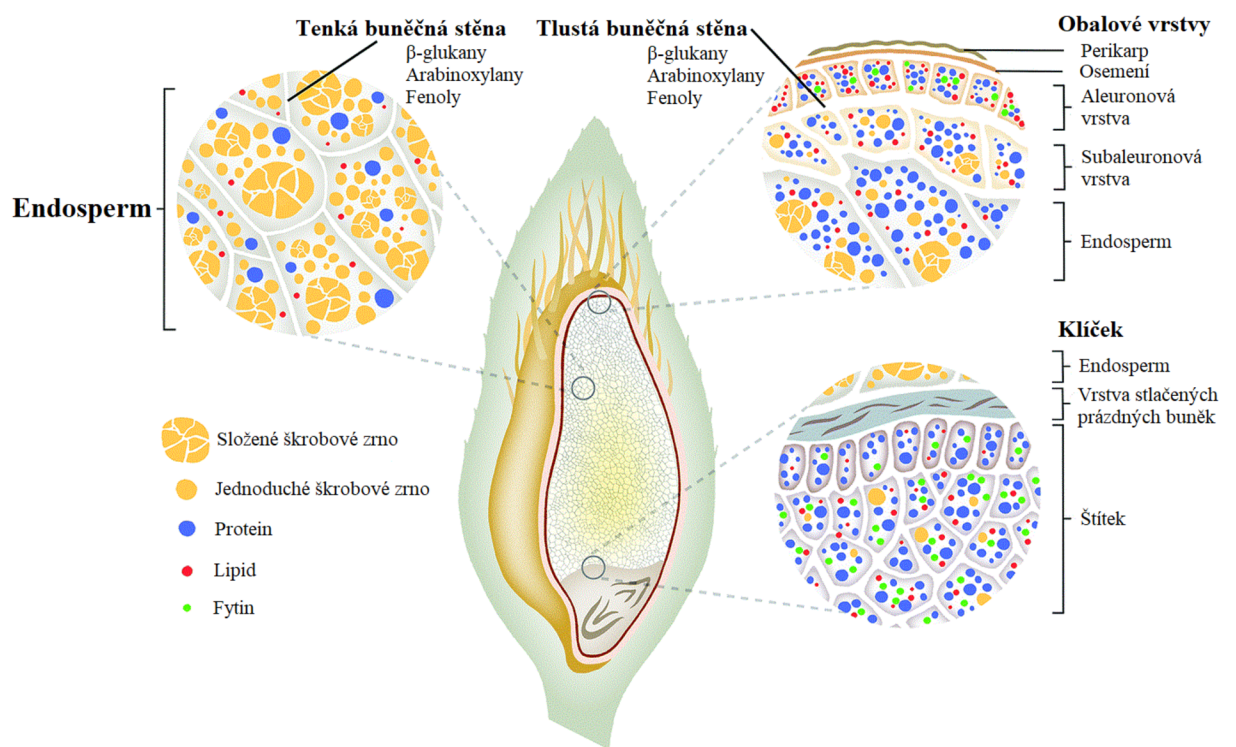


**Obrázek č. 1.** Oves setý (Vobořil 2008)

### 3.1.1 Stavba zrna

Obilka je složena z 3 základních částí: obalových vrstev, endospermu a klíčku (Grundy et al. 2017). Morfologická stavba obilky je podrobněji uvedena na obrázku č. 2).

Obal zahrnuje vrchní vrstvu – oplodí (perikarp), tvořeno převážně celulózu, a vnitřní vrstvu – osemení (testa), které obsahuje barviva dodávající zrně barevný vzhled. Obalové vrstvy jsou bohaté na minerální látky, vitamíny a polysacharidy (zejména na celulózu, arabinoxylany a  $\beta$ -glukany). Celkově zaujímají přibližně 8-20 % hmotnosti zrna a vytváří jeho pevnou ochrannou obalovou vrstvu. Pluchaté odrůdy ovsa mají obilku navíc ještě obalenou pluchou a pluškou, avšak tyto vrstvy se ze zrna pro potravinářské účely odstraňují (Butt et al. 2008; Bulková 2011; Grundy et al. 2017).



**Obrázek č. 2:** Struktura zrna ovsa a distribuce živin v jednotlivých částech (Grundy et al. 2017)

Pod obalovými vrstvami se nacházejí aleuronová a subaleuronová vrstva připojené k endospermu. Aleuronové a subaleuronové buňky jsou obklopeny silnými buněčnými stěnami odolnými vůči trávení, zatímco buňky endospermu mají tenčí buněčné stěny bohaté na  $\beta$ -glukany. Koncentrace ovesných proteinů a lipidů se zvyšuje od vnitřku k okraji endospermu, zatímco koncentrace škrobu se naopak zvyšuje od subaleuronové vrstvy do středu endospermu. Struktura a složení bílkovin (globulinů, albuminů, prolaminů (avenin) a glutelinů) se liší v závislosti na části zrna, ve které se nacházejí. V endospermu existují dva typy škrobových zrn: složená a jednoduchá. Poměry amylozy a amylopektinu a velikost škrobových zrn se liší podle různých ovesných druhů (Grundy et al. 2017).

Ovesný klíček se skládá ze štítku, apikální části a bazální části. Obsahuje největší podíl lipidů z celého zrna a také významný obsah lipofilních vitaminů, antioxidantů a minerálních látek (Grundy et al. 2017).

### 3.1.2 Chemické složení a nutriční hodnota ovesného zrna

Historicky se produkce ovsa zaměřovala hlavně na trh s krmivem pro hospodářská zvířata. V současné době se ve světovém měřítku asi 75 % ovesných zrn stále využívá ke krmení zvířat. Jedinečné nutriční hodnoty a výhody ovsa pro lidskou spotřebu byly potvrzeny v posledních desetiletích a v nedávné době zájem o oves pro mlynářský průmysl a produkci funkčních potravin velmi vzrostl. Hlavní hnací silou pro další rozvoj šlechtění ovsa, jeho vědecký výzkum a zvýšení jeho pěstování a spotřeby bude záviset na vývoji nových kultivarů, které budou splňovat požadavky mlynářů a spotřebitelů (Gorash et al. 2017). Oves je v dnešní době pro člověka významnou plodinou využívanou především jako surovinu pro výrobu velkého množství potravin, nebo také pro výrobu farmaceutických produktů a biomateriálů (Kouřimská et al. 2018).

Bylo zdokumentováno velké a stále rostoucí množství literatury o dietních přínosech ovsa pro lidské zdraví a jeho terapeutickém potenciálu (Biel et al. 2009; Daou & Zhang 2012; Clemens & van Klinken 2014). Je dobře známo z mnoha zdrojů, že lze oves využívat jako prevenci nebo i léčbu různých onemocnění, jako např. ischemické choroby srdeční (Mellen et al. 2008; Thies et al. 2014a; Nwachukwu et al. 2015; Schuster et al. 2015) prostřednictvím snížení cholesterolu v séru a kontroly obezity (Chen et al. 2006; Zdunczyk et al. 2006; Chang et al. 2013; Shebini et al. 2014; Whitehead et al. 2014; Nwachukwu et al. 2015). Konzumace ovsa může pomoci také při léčbě diabetu II. typu stabilizací hladiny cukru v krvi (Tapola et al. 2005; Priebe et al. 2008; Zhang et al. 2014; Ho 2015; Hou et al. 2015), anebo také určitých druhů rakoviny (Egeberg et al. 2010; Boffetta et al. 2014; Clemens & van Klinken 2014; Thies et al. 2014b).

Využití ovsa pro výživu člověka je dáno především vysokou nutriční hodnotou ovesných zrn (Kouřimská et al. 2018). Oves má vynikající a jedinečné kombinace živin. Kromě škrobu obsahuje také vysoký podíl bílkovin s příznivým složením aminokyselin, rozpustné a nerozpustné vlákniny a vysoké procento tuku. Co se týče druhových rozdílů ovsa, oves nahý má ve srovnání s pluchatým ovsem (loupaným) vyšší obsah živin, jako jsou bílkoviny, tuky, vláknina, polynenasycené mastné kyseliny, antioxidanty a další, ale na druhou stranu nižší procento škrobu (viz Tabulka č. 1) (Gorash et al. 2017).

V průmyslu mohou být izolovány samostatné ovesné živiny, jako škrob a protein pro využití v kosmetice,  $\beta$ -glukany a antioxidanty jako doplňky pro lidskou výživu a lipidy pro farmaceutické a potravinové doplňky. Proto mohou být pro konkrétní aplikace vyvinuty speciální ovesné kultivary s „vylepšenými“ vlastnostmi (Gorash et al. 2017).

**Tabulka č. 1.** Biochemické složení zrn pluchatého a nahého ovsa (Sterna et al. 2016).

Komponenty	Pluchatý oves	Nahý oves
Bílkoviny (%)	10,6	15,7
Tuky (%)	5,2	9,7
Škrob (%)	48,1	31,6
Celková vláknina (%)	17,6	23
Rozpustná vláknina (%)	14,3	17,6
$\beta$ -glukany (g/100 g)	3,2	3,3
Vitamin E (mg/kg)	7,8	9,5

### 3.1.2.1 Složení základních živin

Jak již bylo částečně zmíněno v předešlé kapitole, vysoká nutriční a energetická hodnota ovesného zrna vyplývá z vysokého obsahu tuku, bílkovin, rozpustné vlákniny, z příznivého složení sacharidů a v neposlední řadě přítomných vitaminů, minerálních látek a dalších bioaktivních sloučenin (Prugar 2008).

#### Sacharidy a vláknina

V největším množství jsou sacharidy v obilce přítomny ve formě škrobu. Škrob je důležitým zásobním polysacharidem v obilovinách, skládá se z lineárních řetězců amylozy a rozvětvených řetězců amylopektinu (Zamaratskaia et al. 2021). Škrob v ovsu je pomalu, ale zcela odbouratelný s vyrovnávacím účinkem postprandiální (objevující se po jídle) hladiny glukózy v krvi, což je užitečné u pacientů s cukrovkou. Tento účinek je spojen vysokými hladinami přítomných  $\beta$ -glukanů (van den Broeck et al. 2016).

Oves je obilovina s nejvyšším obsahem rozpustné vlákniny, kterou zauímají hlavně  $\beta$ -glukany. Průměrný celkový obsah vlákniny v ovsu je 10,3 %, z toho 3,8 % je rozpustných (van den Broeck et al. 2016). Konzumace dietní vlákniny má velký potenciál pro zlepšení výživy a zdraví. Bylo prokázáno, že zvýšená konzumace vlákniny přispívá k prevenci srdečních chorob, cukrovky, některých forem rakoviny a také zlepšuje funkci jak krátkodobé, tak dlouhodobé paměti. Světová zdravotnická organizace (WHO) doporučuje příjem vlákniny ve stravě minimálně 25 g denně. Průměrný příjem u lidí je 12–18 g v USA, 15–20 g v Evropě a 40–60 g v Africe (Sterna et al. 2016).

## **Bílkoviny**

Obilné bílkoviny jsou považovány za méně „kvalitní“ v porovnání s bílkovinami z živočišných zdrojů vzhledem k jejich méně optimálnímu aminokyselinovému profilu a nižší vstřebatelnosti. I přesto jsou obilné bílkoviny významnou součástí zdravé a vyvážené stravy. Obsah bílkovin v zrně je dán především genetickými faktory, avšak z velké části je ovlivněn i faktory vnějšími, jako jsou například hnojení nebo přírodní podmínky (Zamaratskaia et al. 2021).

Kvalita bílkovin je dána množstvím a poměrem esenciálních aminokyselin, které si lidské tělo nedokáže syntetizovat a musí je proto získávat ze stravy (Zamaratskaia et al. 2021). Jednou ze zásadních aminokyselin je lysin, který hraje klíčovou roli v biosyntéze proteinů (Kim et al. 2021). Hlavními zásobními proteiny v ovsu jsou globuliny, které tvoří přibližně 55 % celkového množství bílkovin, následované prolaminami (konkrétně aveniny), zaujímajícími cca 10–13 %. U aveninů bylo popsáno, že neobsahují antigenní vazebná místa spojená s celiakií, na rozdíl od prolaminů pšenice, žita a ječmene. Oves tedy může být vhodnou alternativou pro některé osoby trpící celiakií, tedy nesnášenlivostí lepku. Ovesné proteiny mají celkově vyšší obsah aminokyseliny lysinu a nižší obsah glutaminu a prolinu ve srovnání s jinými obilovinami. Tyto proteiny velmi dobře odpovídají lidské a zvířecí potřebě aminokyselin v potravinách a krmivech (van den Broeck et al. 2016).

## **Tuky**

Obilka ovsu má významnou schopnost akumulovat velké množství oleje v endospermu ve srovnání s jinými obilovinami. Proto má oves poměrně vysoký obsah celkových lipidů. Celkový obsah tuku a schopnost akumulovat lipidy v endospermu jsou silně ovlivněny genotypem. Některé komerční kultivary ovsu mohou akumulovat 10 % tuku a jiné až 18 % po opakovaném fenotypovém výběru (Kouřimská et al. 2018).

Hlavní mastné kyseliny ovsu, konkrétně kyselina palmitová, olejová a linolová, představují 90–95 % všech mastných kyselin (MK). Podíl nenasycených MK (olejové, linolové a linolenové) v ovsu je asi 75 % všech MK. Ovesný olej je považován za dobrý zdroj polynenasycených esenciálních mastných kyselin. Prostředí a genetika mohou hrát hlavní roli nejen v obsahu tuku, ale také ve složení mastných kyselin (Kouřimská et al. 2018). Vysoký obsah tuku v zrně, a tedy i v ovesných výrobcích, může být v potravinářství i nežádoucím aspektem, poněvadž je zde zvýšená možnost žluknutí výrobků a tím i zkrácení doby jejich trvanlivosti (Gorash et al. 2017).

## **Minerální látky**

Pro lidské zdraví je důležitý dostatečný příjem minerálních látek. V obilovinách jsou velké rozdíly v obsahu minerálních látek. Je však třeba poznamenat, že obiloviny obsahují fytáty a určité proteiny, které narušují minerální absorpci a snižují jejich biologickou dostupnost pro člověka. Vyšší obsah minerálů v zrně nemusí tedy nutně znamenat lepší příjem nebo dostupnost. Je třeba také poznamenat, že obiloviny a výrobky z nich mohou obsahovat

toxické kovy, jako je kadmium a olovo (Zamaratskaia et al. 2021). Obsah vybraných minerálních látek ovsa je znázorněn v Tabulkách č. 2 a 3.

**Tabulka č. 2.** Obsah makronutrientů v zrnu ovsa (mg/g) (Poonia et al. 2022; Alemayehu et al. 2021; Welch 1995)

Ca	Mg	K	Na	Cl	P celkem / anorganický	S
0,4–2,6	0,6–1,3	2,4–4,5	0,15	0,9	3,8 / 0,39	1,7

**Tabulka č. 3.** Obsah mikronutrientů v zrnu ovsa (mg/100 g) (Poonia et al. 2022; Alemayehu et al. 2021; Welch 1995)

Fe	Zn	Mn	Cu	I	Mo	Se
2,5–3,0	1,6–4,9	4,2	0,2–0,9	0,01	0,05	0,01

### 3.1.2.2 Biologicky aktivní látky

Obilniny, včetně ovsa, byly uznány jako funkční potraviny, protože mají příznivé působení na zdraví spotřebitele a snižují riziko různých onemocnění. Cenné fyziologické a nutriční vlastnosti ovesných  $\beta$ -glukanů a dalších složek vlákniny, vysoký obsah tokoferolu a úroveň přirozených antioxidantů vyvolávají zvýšenou poptávku po ovsu v lidské výživě (Sterna et al. 2016).

Obiloviny jsou obecně bohaté na bioaktivní sloučeniny, které se koncentrují převážně ve vnějších vrstvách zrna (Zamaratskaia et al. 2021). Mezi fyziologicky aktivní složky ovsa patří vitamin E, karotenoidy, antokyany, lignany, kyselina fytová, fenoly, fytosteroly atd. Tyto složky jsou sekundárními metabolity produkovanými jakožto obranné mechanismy během růstu rostlin a působí jako antioxidanty, které kontrolují poškození buněk oxidativním stresem odstraňováním reaktivních forem kyslíku v lidském těle (Kim et al. 2021).

Mezi bioaktivními sloučeninami přitahují značnou pozornost fenolické sloučeniny (fenolové kyseliny a flavonoidy) pro své zdraví prospěšné vlastnosti. Ve vyšší míře se v zrnu vyskytují např. kyselina kávová, kumarová, galová, hydroxybenzoová, protokatechová, syringová a vanilová (Kim et al. 2021). Potenciální biologická dostupnost fenolických sloučenin je negativně spojena s vyššími hladinami vlákniny (Zamaratskaia et al. 2021).

Vitamin E, o kterém bude podrobněji psáno v dalších kapitolách, je také významným sekundárním metabolitem ovsa (Zamaratskaia et al. 2021). Aktivitu vitaminu E zajišťují tokoferoly a tokotrienoly, které nesou společný název tokoly (Sterna et al. 2016). Tokoly jsou

koncentrovány v oplodí, klíčku, aleuronové vrstvě a v menší míře také v endospermu obilných zrn. Vykazují antioxidační aktivitu a chrání mono- a polynenasycené mastné kyseliny před oxidací (Zamaratskaia et al. 2021).  $\alpha$ -Tokoferol, hlavní antioxidační složka ovsu (Sterna et al. 2016), se vyskytuje převážně v klíčku, zatímco  $\alpha$ -tokotrienol je lokalizovaný hlavně v endospermu (van den Broeck et al. 2016).

Další velmi důležitou bioaktivní složkou ovsu jsou  $\beta$ -glukany. Jak již bylo řečeno, jsou velmi důležitou součástí rozpustné vlákniny. Prospěšných vlastností  $\beta$ -glukanů pro člověka je spousta. Souvisejí s přirozenou obranou proti infekcím způsobených virem, bakteriemi nebo plísněmi a dále také se snižováním hladiny glukózy a cholesterolu v krvi (Gorash et al. 2017). Schopnost snižování hladiny cholesterolu v krvi byla prokázána v několika klinických studiích (Othman et al. 2011; Wolever et al. 2011; Charlton et al. 2012) a toto zdravotní tvrzení bylo také schváleno americkým Úřadem pro kontrolu potravin a léčiv (FDA) a Evropským úřadem pro bezpečnost potravin (EFSA). Dále mají  $\beta$ -glukany schopnost stimulovat imunitní systém a pozitivně ovlivňovat fungování lidské střevní mikrobioty (van den Broeck et al. 2016).

Důležitými bioaktivními sloučeninami jsou i samostatné mastné kyseliny, které mají také různorodý vliv na lidské zdraví. Mnoho studií poukazuje na přínosné účinky polynenasycených (PUFA) a mononenasycených mastných kyselin (MUFA) (Sterna et al. 2016), jako je například prevence demence, antioxidační aktivita nebo schopnost snižování hladiny cholesterolu v krvi (Kim et al. 2021).

Dosud nezmiňované bioaktivní sloučeniny v ovsu jsou také alkaloidy, mezi které patří například avenanthramidy (Kim et al. 2021). Oves obsahuje i určité antinutriční sloučeniny, mezi které patří např. kyselina fytová, některé polyfenolické sloučeniny, saponiny, oxaláty a taniny (Poonia et al. 2022).

### 3.1.2.3 Srovnání s jinými obilovinami

Obilná zrna jsou popisována jako základní složky stravy v některých rozvojových zemích poskytující podstatné množství živin včetně vitaminů, dietní vlákniny, minerálů, bílkovin a komplexních sacharidů pro lidskou, ale i zvířecí výživu. Zdravotní přínosy nutričního složení těchto zrn pro lidskou spotřebu jsou z důvodu jejich celosvětově velké konzumace velmi důležité. Mezi nejrozšířenější obiloviny se řadí kukuřice, pšenice, rýže, žito, oves, ječmen, čirok nebo také proso (Gorash et al. 2017).

Bylo provedeno mnoho studií s cílem určit rozdíly v chemickém složení a fyzikálních vlastnostech u různých druhů obilných zrn. Odchylky můžeme nalézt například v koncentracích základních živin, škrobu, aminokyselin, vlákniny, minerálních látek, vitaminů, a tedy i v celkové energetické hodnotě zrn (viz Tabulka č. 4) (Rodehutsord et al. 2016).

Oves se od ostatních obilovin liší například svou rozdílnou skladbou bílkovinných frakcí. Obsahuje vyšší podíl globulinových proteinů, zatímco většina ostatních obilovin obsahuje více prolaminů. Konkrétně oves obsahuje okolo 10–15 % prolaminů z celkového množství



proteinu, zatímco pšenice 40–50 %, žito 30–50 % a ječmen 35–45 %. Zároveň ovesný protein poskytuje lepší složení esenciálních aminokyselin důležitých pro člověka (Prugar 2008; Gorash et al. 2017). Dalším významným rozdílem oproti ostatním obilovinám je významně vyšší obsah tuku a jeho rozličná distribuce. Většina tuku v ovesném zrně je uložena v endospermu, zatímco u ostatních obilovin je tuk ukládán hlavně v klíčku a zárodečných frakcích. Také má oves vyšší obsah vlákniny a s tím související vyšší obsah  $\beta$ -glukanů v zrně. Na úkor těchto zvýšených hodnot u několika živin má oves snížený obsah zásobního škrobu, a to až o polovinu oproti některým jiným obilným druhům (Kim et al. 2021).

**Tabulka č. 4.** Rozdíly biochemického složení ovsa, ječmene, pšenice a bílé rýže (Kim et al. 2021).

Komponenty	Oves	Ječmen	Pšenice	Bílá rýže
Bílkoviny (%)	9–17	14,2	7–22	6,3
Tuky (%)	5–12	2,4	2,5	0,7
Škrob (%)	27–50	54,2	68	80,1
$\beta$ -glukany (g/100 g)	3–8	2–20	0,5–1	0,13
Celková vláknina (%)	13–30	13,1	11,5–15,5	1

Na rozdílné složení zrn u obilovin mají vliv dominantně genetické faktory, ale v menší míře také faktory environmentální, jako jsou rok sklizně, srážky, teplota prostředí, půdní podmínky, hnojení, podmínky sklizně, skladování atd. Dále také v důsledku pokroku ve šlechtění obilných zrn jsou časté změny zejména v obsahu hrubého proteinu a složení aminokyselin (Rodehutsord et al. 2016).

### 3.1.3 Pěstování ovsa – podmínky prostředí a pěstební technologie

Rostoucí zájem o produkci ovsa je zároveň spojen s potřebou nižších vstupů, včetně nižších požadavků na hnojení a pesticidy, a také s vyšší odolností vůči chorobám ve srovnání s jinými obilovinami. Známý je také pozitivní vliv ovsa na vlastnosti půdy v rámci střídání plodin. Výhody ovsa ohledně zmíněných agronomických dopadů mohou být dalším důvodem jeho širšího využití. Vzhledem k tomu, že podmínky prostředí, ve kterém se obiloviny pěstují, mohou velmi silně ovlivnit chemické složení zrn (včetně sekundárních metabolitů), je třeba věnovat zvýšenou pozornost nejen genotypovým rozdílům, ale také zkoumání vlivu různých faktorů prostředí, včetně teplot a srážek (sucho/záplavy), které mohou působit jako abiotické

stresory na kvalitu a produkci ovsa a také na obsah sekundárních metabolitů v zru (Capouchová et al. 2020).

Oves je prezentován jako bezpečná potravina pěstovaná za podmínek nízkých vstupů, minimálně zatížená rezidui pesticidů. Jedná se o téměř ideální plodinu z hlediska výživových doporučení, s vysokou biologickou hodnotou a celou řadou dalších pozitivních vlastností. Využití těchto vlastností může přispět k zefektivnění jeho produkce a udržitelnému hospodaření. Tyto aspekty poukazují na vhodnost ovsa jakožto plodiny pro produkční systémy s omezenými vstupy (ekologické zemědělství, low input systémy) i environmentálně citlivé oblasti. V Česku je oves v ekologickém zemědělství mnohem více doceněn než v zemědělství konvenčním. Spolu s pšenicí setou patří oves v ekologickém zemědělství k nejvíce pěstovaným obilninám (Konvalina et al. 2014).

Oves je oproti jiným obilovinám tolerantní k nepříznivějším klimatickým a půdním podmínkám. Je ceněn pro svou nenáročnost na teplo, ale vyžaduje dostatek vláhy. Proto se ideálně hodí pro pěstování v podhorských a horských oblastech. Co se týče agroekologických požadavků, je oves nahý náročnější než pluchaté odrůdy. Oblasti s ideálními klimatickými podmínkami pro pěstování ovsa splňují požadavky na dostatek zimní vláhy, dostatek srážek, relativně nízké teploty v květnu a červenci, a naopak méně srážek v době dozrávání začátkem srpna. Optimální půdy pro pěstování ovsa jsou středně těžké až těžké humózní půdy s dostatečnou jímavostí vody, zabezpečující dostupnost vláhy v kritických obdobích. Oves má ve srovnání s ostatními obilovinami lepší schopnost přijímat živiny z půdy, a to díky morfologii i vlastnostem svého kořenového systému. Dobře snáší kyselé půdy, ale je citlivý na nevyváženou koncentraci živin. Zvýšené požadavky oves klade na obsah hořčíku a draslíku v půdě (Konvalina et al. 2014).

### **3.2 Tokoly (vitamin E)**

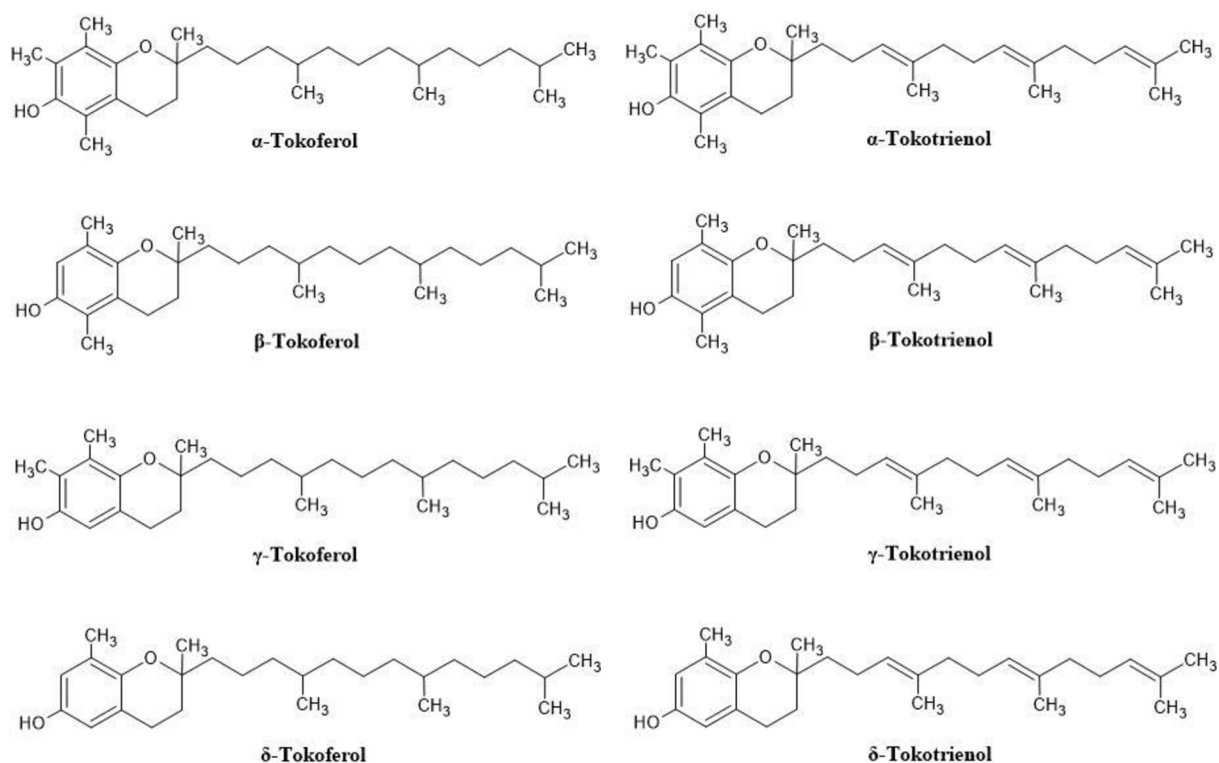
Vitamin E je esenciální živina, jejíž nejvýznamnější funkcí je její antioxidační účinek v biologických systémech člověka, zvířat i rostlin. Byl objeven na počátku dvacátých let 19. století H. M. Evansem a K. S. Bishopem jako živina potřebná pro normální reprodukci samice krysy (Vodrážka 2002). Následně bylo zjištěno, že nedostatek vitamínu může způsobit různé negativní fyziologické projevy (degeneraci varlat, svalovou dystrofií, anémií, encefalomalacií a další). Funkce vitamínu E jakožto buněčného antioxidantu a jeho chemická struktura byly definovány velmi brzy po jeho izolaci v roce 1935. Za nejdůležitější v tucích rozpustný biologický antioxidant v těle člověka byl však vitamin E uznán až o 50 let později, kdy jeho schopnost zachycovat volné radikály skrze svůj antioxidační účinek byla uznána jako jeho primární biochemická funkce. V nedávné době byla zdokumentována jeho úloha při posilování imunitní odpovědi a odolnosti vůči chorobám u různých živočišných druhů (Azzi 2019).

Termín vitamin E je souhrnný název pro molekuly s antioxidační aktivitou, zahrnující všechny deriváty skupiny tokoferolů a tokotrienolů (Zempleni et al. 2014). Tyto skupiny mají společnou chemickou strukturu odvozenou od tokochromanolů – zkráceně tokolů. Tokol je

složen z chromanového jádra a uhlovodíkového postranního řetězce (Tiwari & Cummins 2009). Tokoferoly a tokotrienoly se od sebe liší v počtu a pozicích methylových skupin na svém chromanovém kruhu a v nepřítomnosti či přítomnosti dvojných vazeb v postranním řetězci (obrázek č. 3) (Watson 2014). Charakteristické je, že tokotrienoly mají oproti tokoferolům nenasycený postranní řetězec obsahující tři dvojné vazby v polohách 3', 7' a 11' (Azzi 2019).

Existují čtyři hlavní formy u obou skupin vitamínu E, jmenovitě  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  a  $\delta$ . Odlišují se přítomností methylových skupin v pozicích 5, 7 nebo 8 chromanového kruhu (obrázek č. 3).  $\alpha$ -Tokoferol je forma s největší biologickou aktivitou (Azzi 2019). V roce 2000 americká rada pro potraviny a výživu (Food and Nutrition Board) definovala  $\alpha$ -tokoferol jako jedinou formu, která splňuje požadavky na „lidský“ vitamin E. Bylo totiž prokázáno, že pouze tato forma odvrací příznaky nedostatku vitamínu E u člověka. Na rozdíl od většiny ostatních vitamínů není chemický  $\alpha$ -tokoferol, syntetizovaný kondenzací trimethylhydrochinonu s isofytolem, totožný s přirozeně se vyskytující formou RRR- $\alpha$ -tokoferolem (Zempleni et al. 2014).

Všechny tokoly jsou amfipatické molekuly, což znamená, že ve své struktuře obsahují jak polární (hydrofilní), tak nepolární (hydrofobní) část. V buněčných membránách lipofilní postranní řetězec interaguje s lipidy v membráně a polární hydrochinonové jádro je vystaveno povrchu membrány, kde interaguje s okolním prostředím (Hofius & Sonnewald 2003).



**Obrázek č. 3.** Chemické struktury tokoferolů a tokotrienolů (upraveno dle Azzi 2019)

### 3.2.1 Tokoferoly

Tokoferoly (T) jsou látky rozpustné v tucích, olejích, ve většině organických rozpouštědlech a nerozpustné ve vodě. Jsou přítomné hlavně v rostlinách (klíčky obilovin, rostlinné oleje, zelenina, luštěniny, ořechy atd.), ale i v másle a vejcích. Na rozdíl od vitaminů A a D nejsou přítomné v rybím tuku. V surové formě se vyskytují jako světle žluté viskózní oleje a při teplotách pod bodem mrazu mohou i krystalizovat. Teplota tání  $\alpha$ -tokoferolu je 2,5–3,5 °C. Každý tokoferol obsahuje tři asymetrické atomy uhlíku, což umožňuje vznik celkem osmi optických isomerů (Woollard & Indyk 2003). Obecně jakékoli strukturální modifikace  $\alpha$ -T, včetně nenasycení postranního řetězce, změny délky postranního řetězce, oxidace chromanového kruhu a ztráty jakékoli methylové skupiny, výrazně snižují jeho biologickou aktivitu.  $\beta$ - a  $\gamma$ -tokoferolové izomery (respektive 5,8- a 7,8-dimethyltokoly) mají sníženou biologickou aktivitu na 30 % a 12 % a  $\delta$ -T (8-methyltokol) vykazuje pouze 1% biologickou aktivitu oproti  $\alpha$ -T. Jejich účinnost tedy klesá v pořadí  $\alpha$ - >  $\beta$ - >  $\gamma$ - >  $\delta$ -tokoferol. Je známo, že se vyskytují i jiné mono- a di- methyltokoly, buď jako minoritní přírodní složky nebo jako syntetické vedlejší produkty. Ty však nejsou klasifikovány jako E-vitaminy, protože nemají žádnou měřitelnou fyziologickou odezvu (Vodrážka 2002; Woollard, & Indyk 2003; Polin et al. 2017).

### 3.2.2 Tokotrienoly

Tokotrienoly (T3) mají obdobné chemické vlastnosti jako tokoferoly. Stejně jako u jedlých olejů s vysokým obsahem polynenasycených mastných kyselin, dává i tokotrienolům přítomnost dvojných vazeb větší tekutost a usnadňuje i jejich začlenění do buněčných membrán. V přírodě nejrozšířenější vyskytující se formou tokotrienolu je  $\alpha$ -tokotrienol (5,7,8-trimethyltokotrienol), následovaný  $\gamma$ -tokotrienolem (7,8-dimethyltokotrienol),  $\delta$ -tokotrienolem (8-methyltokotrienol) a v neposlední řadě  $\beta$ -tokotrienolem (5,8-dimethyltokotrienolem). Tokotrienoly mají sníženou biologickou aktivitu vzhledem k  $\alpha$ -tokoferolu:  $\alpha$ -T3 má biologickou aktivitu 25 %,  $\beta$ -T3 5 %,  $\gamma$ -T3 a  $\delta$ -T3 méně než 1 % (Watson 2014).

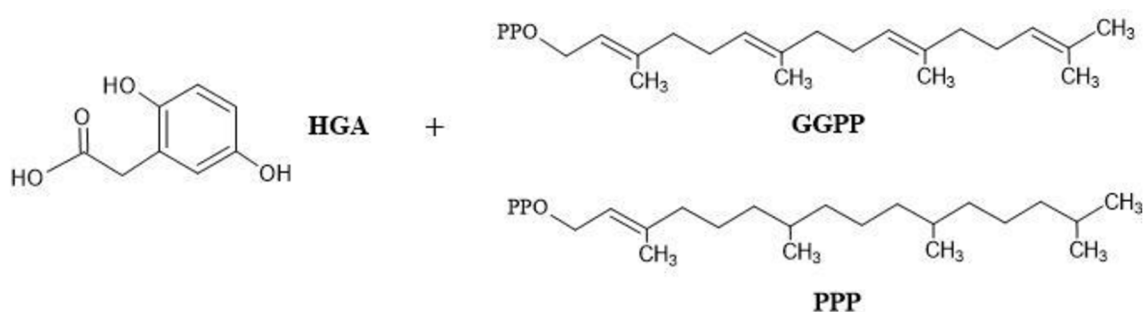
Tokotrienoly jsou přítomny v rostlinných olejích, jako je například palmový olej nebo olej z rýžových otrub. Ječmenné, ovesné, palmové a rýžové otruby obsahují více než 70 % vitaminu E ve formě tokotrienolů (Watson 2014). V dnešní době probíhá mnoho výzkumů zaměřených na tokotrienoly a jejich antihyperlipidemické (snižujících koncentraci plazmatických lipidů), antidiabetické, protizánětlivé, antikarcinogenní a imunitně podpůrné účinky. Ve studiích na lidech a zvířatech bylo prokázáno, že tokotrienoly snižují pravděpodobnost vzniku cukrovky nebo jejích příznaků a utlumují neuropatickou bolest (bolest, vznikající v důsledku poškození centrálního nebo periferního nervového systému) (Rakel 2018).

### 3.2.3 Biosyntéza tokolů

Tokoly jsou syntetizovány zejména rostlinami, řasami, sinicemi nebo různými fotosyntetizujícími mikroorganismy (Hofius & Sonnewald 2003). Existují však i výjimky,

jako je například parazit *Plasmodium falciparum* způsobující malárii, který není fotosyntetickým organismem, ale i přesto syntetizuje jak  $\alpha$ -, tak  $\gamma$ -tokoferoly během svých intraerythrocytických fází (fází množení se v lidských červených krvinkách) z důvodu zabránění oxidačnímu stresu (Mène-Saffrané 2018).

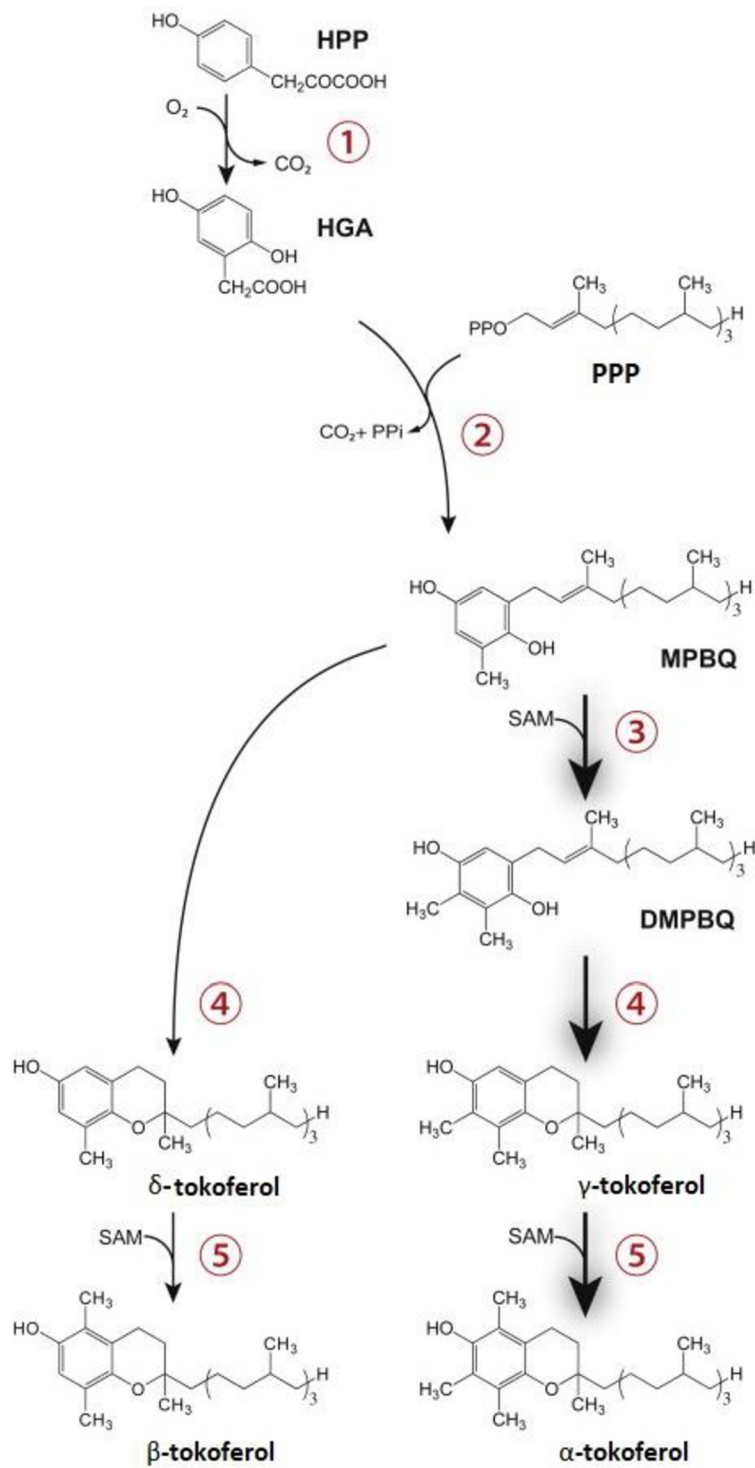
Biosyntéza tokolů je zahájena v cytoplazmě rostliny. Všechny další kroky jejich biosyntézy probíhají v plastidech, kde jsou k dispozici potřebné enzymy lokalizované ve vnitřní membráně nebo v globulárních útvarech obsahujících lipidy - plastoglobulech (Fritsche et al. 2017). Tokoly vznikají kondenzací dvou biosyntetických prekurzorů: polární kyseliny homogentisové (HGA) a lipofilního polyprenyldifosfátu odvozeného od isopentyldifosfátu (IPP) (viz obrázek č. 4). IPP je prekurzorem ftyldifosfátu (PPP) a geranylgeranyldifosfátu (GGPP), z nichž jsou odvozeny postranní řetězce tokoferolů a tokotrienolů. (Mène-Saffrané & DellaPenna 2010; Fritsche et al. 2017).



**Obrázek č. 4.** Prekurzory syntézy tokolů (upraveno dle Pellaud & Saffrané 2017 a Kimura et al. 2018)

Syntéza všech tokolů je zahájena přeměnou kyseliny p-hydroxyfenylpyruvové (HPP) na HGA katalyzovanou enzymem HPP dioxygenázou (HPPD). Reakce spočívá v oxidační dekarboxylaci postranního řetězce 2-oxokyseliny, poté následuje přesun acetylů do polohy 2 aromatického kruhu a hydroxylace v poloze 1, čímž vzniká HGA (obrázek č. 5, reakce 1). Biosyntetická dráha tokoferolů a tokotrienolů se liší v kroku, ve kterém je polyprenylový postranní řetězec navázán na HGA, podle toho, zda se váže PPP nebo GGPP. Kondenzací HGA a PPP (obrázek č. 5, reakce 2) vznikne 2-methyl-6-fytyl-1,4-benzochinon (MPBQ), meziproduct všech tokoferolů. Tato reakce je katalyzována enzymem ftyltransferázou kyseliny homogentisové. V následujícím kroku dochází buď k přímé cyklizaci MPBQ za pomoci tokoferolcyklázy (TC) a tím k vytvoření  $\delta$ -tokoferolu (obrázek č. 5, reakce 4), nebo k methylaci MPBQ v poloze C-3 chromanového kruhu za pomoci MPBQ methyltransferázy na 2,3-dimethyl-6-fytyl-1,4-benzochinon (DMPBQ; obrázek č. 5, reakce 3). Ten je poté za pomoci TC cyklizován na  $\gamma$ -tokoferol (obrázek č. 5, reakce 4). Enzymatickou reakcí, katalyzovanou  $\gamma$ -tokoferol methyltransferázou, jsou  $\delta$ - a  $\gamma$ -tokoferoly methylovány v poloze C-5 za vzniku  $\beta$ - a  $\alpha$ -tokoferolů (obrázek č. 5, reakce 5) (Mène-Saffrané & DellaPenna 2010; Fritsche et al. 2017).

Biosyntéza tokotrienolů zahrnuje reakce obdobné reakcím při biosyntéze tokoferolů. Jediný rozdíl je v tom, že během reakce č. 2 dojde k navázání nenasyceného GGPP, jakožto postranního řetězce, namísto PPP (Yang et al. 2011).



**Obrázek č. 5.** Biosyntéza vitamínu E (Mène-Saffrané & DellaPenna 2010)

### 3.2.4 Tokoly v rostlinách

Tokoly jsou syntetizovány převážně fotosyntetickými organismy, jako jsou rostliny, řasy a sinice. Obsahy a formy tokolů jsou u jednotlivých druhů rostlin a jejich tkání značně odlišné. Například extrémně nízké hladiny jsou v hlízách brambor a velmi vysoké hladiny nalezneme v olejnatých semenech. Rostliny hromadí tokoly hlavně v olejnatých semenech a plodech nebo v mladých tkáních, které podléhají intenzivnímu dělení buněk. Listy akumulují jen nízké hladiny tokolů, zatímco semena jich dokáží nahromadit 10× až 20× více (Hofius & Sonnewald 2003; Trela & Szymańska 2019). Celkový obsah vitamínu E u rostlin a zastoupení jeho jednotlivých forem se za různých podmínek silně mění. Vliv má například oxidační stres rostlin, úroveň a délka světla, zasolení půdy, sucho nebo nízké teploty. Také růst a vývoj rostlin ovlivňují koncentraci a zastoupení tokolů, jež se mění například během stárnutí, přeměny chloroplastů na chromoplasty, zrání plodů a vývoje semen (Fritsche et al. 2017).

Z tokoferolů zastává  $\alpha$ -tokoferol převládající formu ve fotosyntetických tkáních, konkrétněji je lokalizován hlavně v plastidech. Mezi vnitřní chloroplastovou obálkou (kde se vyskytuje několik enzymů biosyntézy vitamínu E), granálními thylakoidy (kde působí  $\alpha$ -tokoferol jako antioxidant a chrání fotosyntetický aparát) a plastoglobuli (kde se  $\alpha$ -tokoferol akumuluje), dochází k nepřetržité výměně vitamínu E.  $\alpha$ -Tokoferol se v rostlině hromadí v reakci na řadu environmentálních stresů. Obohacení chloroplastových membrán o tokoferoly pravděpodobně souvisí převážně s jejich schopností potlačit nebo zachytit reaktivní kyslíkové formy a lipidové peroxidové radikály. Tímto způsobem může být fotosyntetický proces rostlin chráněn před kyslíkovou toxicitou a peroxidací lipidů (Hofius & Sonnewald 2003; Muñoz & Munné-Bosch 2019; Trela & Szymańska 2019).

Ačkoli jsou tokoly spojovány především s fotosyntetickými tkáněmi, k hromadění tokoferolů a tokotrienolů dochází i v několika nefotosyntetických tkáních. V těchto nefotosyntetických orgánech bylo identifikováno několik genů souvisejících s vitamínem E, a to zejména v semenech, kde byla popsána téměř celá jeho biosyntetická dráha. Stále však existují určité otázky týkající se toho, jak mohou být formy vitamínu E nebo jejich prekurzory syntetizovány v jiných než chloroplastových tkáních a několik pokusů o biofortifikaci vitamínu E v těchto tkáních selhalo kvůli fyziologickým omezením. V nefotosyntetických tkáních často převládá zastoupení  $\gamma$ -tokoferolu, který se podílí například na prevenci autooxidace polynenasycených mastných kyselin. Tokotrienoly jsou méně rozšířené než tokoferoly a vyskytují se většinou v semenech konkrétních druhů rostlin, a to především u rostlin jednoděložných. V některých tkáních, např. v endospermu semen pšenice nebo rýže, mohou tokotrienoly tvořit až polovinu celkového množství vitamínu E (Hofius & Sonnewald 2003; Muñoz & Munné-Bosch 2019; Trela & Szymańska 2019).

Amfipatická molekulární struktura tokoferolů a tokotrienolů je ideální k fúzi v lipidových dvojrstvách na rozhraní voda-lipid, kde hrají tokoly velmi důležitou roli při udržování integrity a stability membrány. Jak už bylo řečeno, jednou z hlavních funkcí vitamínu E u rostlin je jeho ochranný účinek proti peroxidaci lipidů v membráně darováním protonu z hydroxyly jeho chromanolového kruhu (viz kapitola 3.2.6 Antioxidační aktivita tokolů).

Vitamin E touto reakcí dokáže zamezit šíření peroxidace lipidů. Bez této reakce by lipidové peroxylové radikály mohly velmi rychle oxidovat i jiné mastné kyseliny (Muñoz & Munné-Bosch 2019).

Další funkcí, která souvisí s místem ukládání vitamínu E v rostlinách, je detekování a signalizace stresu. Různé stresové faktory z vnějšího prostředí jsou v rostlině signalizovány pomocí intracelulární komunikace mezi chloroplastem a jádrem buněk prostřednictvím signálů vycházejících z chloroplastů. Aktivní obrana rostlin, která omezuje negativní dopad stresorů, vede ke spuštění řetězce změn, označovaných jako stresové reakce. Tato schopnost může být spojena s jeho rolí ve fotoprotekci rostlin a v zabraňování peroxidaci lipidů v tylakoidních membránách (Ehrenbergerová et al. 2011; Muñoz & Munné-Bosch 2019).

#### **3.2.4.1 Tokoly v cereáliích**

Vitamin E, ve formě tokoferolů a tokotrienolů, se vyskytuje v obilovinách v mírných hladinách, mnohem nižších, než jsou například u zeleniny nebo jiných rostlin. Jeho zastoupení v obilovinách je však velmi důležité, protože se konzumují celosvětově ve velmi velkém množství (Badea et al. 2018). Na světě existuje mnoho druhů obilovin s vyššími či nižšími obsahy tokolů. Kromě ovsa se vyskytují také například v pšenici, ječmeni, žitu, triticale, kukuřici, prosu nebo rýži (Bajerová et al. 2016).

V obilovinách patří tokoly (spolu s karotenoidy) mezi hlavní lipofilní sekundární metabolity s antioxidačními vlastnostmi. Jejich největší koncentrace najdeme v zrnech. Obiloviny většinou obsahují všech osm izomerů vitamínu E, přičemž  $\alpha$ -formy jsou dominantní. U malozrnných obilovin, jako je oves, ječmen a některé druhy pšenic, jsou tokotrienoly dominantní formou vitamínu E a jejich koncentrace se pohybují mezi 40 a 60 mg/kg suché hmotnosti (SH), v závislosti na druhu a odrůdě obilovin (Ehrenbergerová et al. 2011; Lachman et al. 2018). Obsahy tokolů v obilovinách se při zkoumání v různých letech často velmi liší, což je nejspíše zapříčiněno proměnlivými nejednotnými podmínkami pěstování, rozdíly v genomu jednotlivých výsadeb nebo vlivy environmentálními (Bajerová et al. 2016).

V obilných zrnech jsou tokoferoly přítomny hlavně v zárodečných částech – v klíčku, zatímco tokotrienoly jsou přítomny převážně ve frakcích perikarpu (oplodí), v aleuronové vrstvě a endospermu (viz obrázek č. 2, kapitola 3.1.1) (Ehrenbergerová et al. 2011; Lachman et al. 2018), kde se hromadí během vývoje zrna. Úroveň akumulace tokolů v zrně je ovlivněna genotypem, prostředím, agronomickými vstupy a vzájemnou interakcí těchto faktorů (Tiwari & Cummins 2009).

#### **3.2.4.2 Obsah tokolů v ovesném zrně**

Koncentrace tokolů v ovsu je uváděna v rozmezí od 13,6 do 36,1 mg/kg SH a jejich distribuce v zrně je nerovnoměrná. Důležité je, že se oves obecně konzumuje především ve formě celých zrn (například jako mačkané ovesné vločky) a nedochází tedy ke ztrátě výrazného podílu vitamínu E například zbavováním otrub, jak je tomu u jiných obilovin (před zpracováním např. na mouky). Na rozdíl od ječmene nebo pšenice obsahuje oves pouze



tokoly ve formách  $\alpha$ - a  $\beta$ -, přičemž  $\alpha$ -tokotrienol převládá. V celkovém podílu tokolů zaujímá 57–69 % (Tiwari & Cummins 2009).

### **3.2.5 Biodostupnost a nutriční význam tokolů pro člověka**

#### **3.2.5.1 Trávení, rozpustnost a absorpce tokolů**

Vitamin E je díky své lipofilní struktuře v potravě vázán v tucích. Jeho osud v organismu je tedy úzce spjatý s procesy nezbytnými pro trávení tuků (Combs & McClung 2017).

Primárním místem absorpce tokolů je střední část tenkého střeva (jejunum) (Combs & McClung 2017). Jejich absorpce ze střevního lumenu do střevních epiteliálních buněk (enterocytů) je závislá na procesech trávení lipidů. Tokoly jsou pomocí pankreatické lipázy spolu s tuky hydrolyzovány a poté pomocí žlučových kyselin emulgovány do micel. Tvorba micel je nezbytná pro jejich následnou absorpci do enterocytů. Tokoly jsou do enterocytů absorbovány buď pasivní difuzí, anebo pomocí specifických transportních proteinů přítomných na membráně buněk (Kiyose 2021). Je zřejmé, že střevní absorpce vitamínu E závisí na přiměřené absorpci lipidů. Proces vyžaduje přítomnost tuku v lumen střeva, jakož i sekreci pankreatických esteráz pro uvolňování mastných kyselin z potravinových triacylglycerolů, žlučových kyselin pro tvorbu smíšených micel a esteráz pro hydrolytické štěpení tokoferylacetátu. Vždy záleží na typu konzumované formy tokolů (Combs & McClung 2017).

Vyšší příjem tokolů, bez ohledu na jejich formu, vede k vyšším rychlostem absolutní absorpce, ale zároveň k absorpci s nižší účinností = frakční absorpce. Při nutričně významných příjmech byly zjištěny různé absorpční účinnosti (obecně 20–70 %), přičemž velká část požitého vitamínu E se objevila ve stolici. Většina studií neprokázala rozdíly v absorpci různých forem tokoferolů a tokotrienolů (Zempleni et al. 2014; Combs & McClung 2017).

V enterocytech jsou tokoly buď začleněny do chylomikronů, což je hlavní cesta absorpce vitamínu E, nebo v menší míře do HDL (lipoprotein s vysokou hustotou) pomocí ATP-vazebného transportéru. Pomocí nich jsou dále transportovány lymfou do krevního řečiště a distribuovány do periferních tkání (Kiyose 2021). Prostup  $\alpha$ -tokoferolu do krve vykazuje dominanci ve srovnání s ostatními typy vitamínu E. V krvi tokoly přesně sledují transportní cestu lipidů a jsou transportovány do depotního tuku, svalů, nadledvin, dělohy, varlat nebo do jater. V nejvyšších koncentracích se v lidských tkáních nachází  $\alpha$ -tokoferol, následuje  $\gamma$ -tokoferol, zatímco tokotrienoly se v tkáních obvykle nenalézají vůbec (Anwar et al. 2007; Zempleni et al. 2014; Combs & McClung 2017; Galli et al. 2017).

Většina chylomikronů je z krve vychytávána v játrech. Tam tokoly prochází několika třídícími kroky, které směřují různé formy vitamínu E různými cestami. Buď se jednotlivé tokoly vydají katabolickou cestou a následně jsou vylučovány z organismu žlučí, močí nebo jinými cestami, anebo dojde prostřednictvím různých mechanismů k jejich navázání na lipoproteiny (především na lipoproteiny s velmi nízkou hustotou – VLDL).  $\alpha$ -Tokoferolový

transportní protein ( $\alpha$ -TTP), jaterní cytosolický protein usnadňující přesun  $\alpha$ -tokoferolu do játry sekretovaných plazmatických lipoproteinů, upřednostňuje mezi různými formami tokolů právě  $\alpha$ -tokoferol. Chrání ho před nadměrným katabolismem a vylučováním. Příčinou upřednostňování  $\alpha$ -tokoferolu jsou rozdílné relativní vazebné afinity  $\alpha$ -TTP pro různé formy tokoferolů ( $\alpha$ -tokoferol vykazuje 100% afinitu,  $\beta$ -tokoferol 38%,  $\gamma$ -tokoferol 9% a  $\delta$ -tokoferol 2%) (Zemleni et al. 2014; Galli et al. 2017). Ostatní formy tokolů jsou mnohem hůře zadržovány a jsou tudíž katabolizovány a vylučovány z těla (Flohé et al. 2002).

Vitamin E navázaný v VLDL je z jater opět vylučován do plazmy a následně distribuován k tkáním celého těla (VIVO Pathophysiology 2021). Na rozdíl od jiných vitaminů rozpustných v tucích, které mají specifické plazmatické transportní proteiny, se vitamin E v plazmě přenáší nespecificky v lipoproteinech. Jeho koncentrace v plazmě převážně závisí právě na zmíněné sekreci  $\alpha$ -tokoferolu z jater. Více než 90 % přijímaného  $\alpha$ -tokoferolu se v lidském těle váže v tukové tkáni. Analýza obsahu  $\alpha$ -tokoferolu v tukové tkáni je proto velmi užitečným odhadem dlouhodobého stavu vitamínu E. Za určitých metabolických podmínek, jako je například při těžkém popálení kůže, tuková tkáň může uvolňovat a poskytovat vitamin E vzhledem k jeho zvýšeným nárokům (Zemleni et al. 2014).

Metabolizovaný vitamin E může být, podobně jako xenobiotika, sulfatován nebo glukuronizován a poté vyloučen močí nebo žlučí. Hlavní cestou vylučování požitých nemetabolizovaných tokolů je vylučování stolicí. Touto cestou je vyloučeno asi 60-70 % přijatého vitamínu. Na rozdíl od jiných druhů vitaminů je vitamin E v těle uchováván jen po krátkou dobu, stejně jako vitaminy B a C. Jeho množství i aktivita se vyjadřuje v mezinárodních jednotkách I.U., kdy jedna I.U. odpovídá 1 mg vitamínu (Mindell 2004).

### 3.2.5.2 Vliv na fyziologické procesy v těle člověka

Hlavní význam mají tokoly v našem organismu jako antioxidanty. Jejich schopností vychytávání volných radikálů, chrání lipidy našeho organismu před oxidací a dalšími nepříznivými reakcemi. Kromě samotné antioxidační funkce (viz kapitola 3.2.6 Antioxidační aktivita tokolů) mají tokoly i další pozitivní účinky na lidský organismus. Snižují pravděpodobnost vzniku degenerativních onemocnění jako je rakovina, různých kardiovaskulárních onemocnění a také snižují hladinu cholesterolu v krvi. Dále hrají důležitou roli v regeneraci tkání (hlavně kůže) a zpevňují membrány buněk (Zemleni et al. 2014).

Různé typy vitamínu E mají odlišné účinky na lidský organismus.  $\alpha$ -Tokoferol má, kromě antioxidačního účinku, například vliv na signální transdukci, transkripční regulaci, dráhy apoptózy (buněčné smrti) a na geny spojené s regulací buněčného cyklu u T-lymfocytů ve slezině. Také může potlačovat cholesterogenezi (syntézu cholesterolu). Tokoferoly  $\alpha$ - a  $\gamma$ -, lišící se pouze methylovou skupinou na chromanovém kruhu, mají v zásadě stejné antioxidační vlastnosti, ale na každý reagují přednostně jiné geny.  $\gamma$ -Tokoferol oproti  $\alpha$ -tokoferolu vykazuje protizánětlivé, protinádorové a další účinky.  $\beta$ -Tokoferol má také podobné antioxidační vlastnosti, ale je 10× méně aktivní než  $\alpha$ -tokoferol v inhibici aktivity proteinkinázy C, neinhibuje buněčnou proliferaci (bujení buněk) ani genovou expresi.  $\delta$ -Tokoferol je odpovědný za protizánětlivé reakce podněcované reaktivními druhy kyslíku,

zabraňuje vývoji rakoviny prsu závislé na hormonech, karcinogenezi tlustého střeva, růstu plicních tumorů a nádorových buněk při rakovině prostaty. Dále má antiangiogenní účinky (potlačování tvorby nádorových cév) a snižuje agregaci (hromadění) tuků v organismu (Galli et al. 2017; Azzi 2019).

Co se týče tokotrienolů, ty prokazují hlavně antikarcinogenní účinky (většinou v důsledku potlačení angiogeneze), pomáhají proti vzniku kardiovaskulárních chorob a proti neurodegenerativním onemocněním (zpoždění stárnutí mozku, snížení rizika rozvoje Alzheimerovy choroby).  $\alpha$ -Tokotrienol působí především neuroprotektivně, zatímco  $\delta$ - a  $\gamma$ -tokotrienoly antikarcinogenně (Galli et al. 2017; Azzi 2019). Tokotrienoly se také využívají v potravinářském průmyslu, kosmetické a klinické dermatologii, a to díky jejich fotoprotektivním a antioxidačním vlastnostem (Trela & Szymańska 2019).

Jedním z významných účinků tokolů je zvyšování uspořádanosti lipidových vrstev membrán, což způsobuje jejich těsnější strukturu a tím zároveň i větší stabilitu buňky. Tokoly jsou také nezbytné pro udržení správné homeostázy kosterního svalstva. Díky zásobování myocytů (svalových buněk)  $\alpha$ -tokoferolem jsou snadněji a účinněji opravovány jejich plazmatické membrány. To je velmi důležité, protože membránové fosfolipidy jsou významnými cíli oxidantů a tokoly (především  $\alpha$ -tokoferol), poté co se naváží na membránu, dokáží účinně bránit jejich účinku peroxidace těchto lipidů. Naopak, v nedostatečném  $\alpha$ -tokoferolovém zásobení membrán, působení oxidantů na buňky výrazně inhibuje jejich schopnost opravy. Tokoly tedy podporují membránovou opravu tím, že brání tvorbě oxidovaných fosfolipidů, které by teoreticky mohly zasahovat do správných fúzních membránových procesů (Rizvi et al. 2014).

Dále bylo také zjištěno, že zvýšená koncentrace  $\alpha$ -tokoferolu v endoteliálních buňkách inhibuje agregaci trombocytů a uvolňuje prostacyklin z endotelu (Rizvi et al. 2014). Prostacyklin je látka ze skupiny prostaglandinů tvořená cévními stěnami, která rozšiřuje cévy, brání shlukování krevních destiček, jejich přilnutí ke stěnám cév a tím i srážení krve, čímž brání ve vzniku trombózy. Můžeme tedy říci, že  $\alpha$ -tokoferol má příznivý vliv na srážení a průtok krve (Zoppo 2007; Rizvi et al. 2014).

Kardiovaskulární komplikace vznikají v zásadě v důsledku oxidace LDL přítomných v těle a následného zánětu cévních stěn. Tokoferoly zlepšují kardiovaskulární funkce svou antioxidační funkcí a také zvýšením aktivity enzymu syntázy oxidu dusnatého (NO), který produkuje NO způsobující vazodilataci. Tokoferoly zachycují molekuly reaktivních dusíkatých látek, čímž se zlepšují endoteliální funkce. Bylo zjištěno, že doplňováním  $\gamma$ -tokoferolu 100 mg denně vede ke snížení několika rizikových faktorů pro průtok krve cévami, jako je agregace trombocytů nebo cholesterolu. Kromě tokoferolů mají na cévní systém pozitivní vliv také tokotrienoly, které inhibují biosyntézu cholesterolu potlačením funkce enzymu 3-hydroxy-3-methylglutaryl-CoA (HMG-CoA) reduktázy, což má za následek sníženou produkci cholesterolu jaterními buňkami (Rizvi et al. 2014).

Tokoly vykazují příznivé účinky rovněž v souvislosti s imunitním systémem. Stimulují obranyschopnost organismu, zvyšují humorální a buněčné imunitní reakce a zvyšují

fagocytární funkce. Mají výrazný účinek u infekčních nemocí, kterým se tělo brání imunitní fagocytózou. Bylo zjištěno, že zvýšený denní příjem vitamínu E zlepšuje protilátkovou odpověď organismu na různé vakcíny a také zvyšuje odolnost vůči virovým onemocněním (Rizvi et al. 2014).

### 3.2.5.3 Dostupnost v potravě

Vitamin E je jedna z mnoha esenciálních živin, kterou přijímáme v potravě a je nepostradatelná pro správnou funkci našeho organismu (Vodrážka 2002). Tokoly dokážou syntetizovat, s pár výjimkami, pouze fotosyntetické organismy. Předpokládá se, že u těchto organismů tokoly fungují jako ochranné antioxidanty při klíčení, adaptaci na sucho a chlad. Všechny vyšší rostliny obsahují  $\alpha$ -tokoferol, a to převážně v listech a jiných zelených částech. Díky tomu, že je  $\alpha$ -tokoferol obsažen hlavně v chloroplastech rostlinných buněk (zatímco  $\beta$ -,  $\gamma$ - a  $\delta$ -tokoferoly se obvykle nacházejí mimo tyto orgány), mívají zelené rostliny vyšší obsah tokolů než rostliny se žlutým zbarvením listů (Combs & McClung 2017). Tokotrienoly se ve srovnání s tokoferoly v rostlinách objevují v mnohem menší míře. Nachází se převážně v semenech jednoděložných rostlin a jejich přítomnost ve fotosyntetických částech rostlin je velmi vzácná (Mène-Saffrané & DellaPenna 2010).

Nejaktivnější forma vitamínu E, tedy  $\alpha$ -tokoferol, je zároveň i nejpotřebnější forma tokolu v lidské stravě. Obecně se vyskytuje ve vysokých koncentracích v rostlinných olejích, jako je slunečnicový, sójový, pšeničný, světlicový nebo řepkový olej, anebo v jiných zdrojích s vysokým obsahem tuků, jako jsou ořechy, různá semena nebo zrna. Potravinářský kanolový olej nebo řepkový olej typu 00 mají vysoce kvalitní nutriční složení podobné složení olivového oleje a tokoferoly jsou jednou z hlavních nutričně významných složek. Přes velký význam tokolů v lidské stravě dietetické studie ukazují, že doporučený denní příjem se často nepodaří dodržet. Proto je kladen důraz na zlepšení jeho množství a složení při šlechtění konzumovaných plodin (Fritsche et al. 2017).

Bez ohledu na to, jakou formu tokolu konzumujeme, dominantní zastoupení v tkáních má  $\alpha$ -tokoferol. Živočišné tkáně mají tendenci zadržovat malá množství  $\alpha$ -tokoferolu, přičemž nejvyšší hladiny se vyskytují v tukových tkáních. Tyto hladiny se liší podle velikosti obsahu přijímaného vitamínu v potravě. Protože se vitamin E přirozeně vyskytuje v tucích a olejích, lze očekávat, že při jejich snížené konzumaci se může snížit i příjem vitamínu E. Dominantními dietními formami tokolů jsou  $\alpha$ -tokoferol (v Evropě) a  $\gamma$ -tokoferol (v Americe) (Combs & McClung 2017).

Nejvýznamnějšími zdroji tokolů v lidské stravě jsou rostlinné oleje. Pšeničné, slunečnicové a světlicové oleje jsou bohaté na  $\alpha$ -tokoferol, zatímco oleje kukuřičné a sójové obsahují převážně  $\gamma$ -tokoferol. Některé rostlinné tkáně, zejména otruby a klíčky, obsahují vitamin E převážně ve formě tokotrienolů. Na rozdíl od tokoferolů, které existují pouze jako volné alkoholy, tokotrienoly mohou být v rostlinách přítomny i v esterifikované formě (Combs & McClung 2017).

Pšeničný olej je nejbohatším zdrojem  $\alpha$ -tokoferolu ze všech olejů, a to s koncentrací 0,9–1,3 mg/g, tj. cca 60 % z celkového obsahu tokoferolů. Největší množství tokotrienolů je přítomno

v rýžovém otrubovém oleji, se zastoupením vyšším než 80 %, a poté v palmovém oleji, kde tvoří 70 % z celkového množství tokolů. V obilninách jsou tokotrienoly většinou přítomny jen v malých koncentracích. Potravinové zdroje vitamínu E a jejich obsahy jsou podrobněji znázorněny v Tabulce č. 5 (Combs & McClung 2017).

**Tabulka č. 5:** Potravinové zdroje tokoferolů a tokotrienolů (Miyazawa et al. 2011)

	Tokotrienoly (mg/kg)				Tokoferoly (mg/kg)			
	$\alpha$ -	$\beta$ -	$\gamma$ -	$\delta$ -	$\alpha$ -	$\beta$ -	$\gamma$ -	$\delta$ -
Cereálie	0,61	1,22	1,11	0,11	4,78	1,36	6,52	1,07
Brambory	0,07	–	–	–	7,32	0,59	–	–
Ořechy a semena	0,76	0,10	0,38	0,20	42,83	1,21	91,28	2,08
Zelenina	0,20	–	–	–	10,2	0,23	5,94	0,05
Ovoce	0,19	–	0,03	0,03	6,16	0,07	1,21	–
Algea (mořská řasa)	0,09	0,03	–	–	10,44	0,11	–	–
Mořské plody	0,54	–	–	–	13,65	0,17	2,25	0,04
Maso	0,28	–	0,03	–	6,83	–	0,54	–
Večce	–	–	–	–	18,11	–	1,67	–
Mléčné výrobky	0,51	–	–	–	6,26	–	0,29	0,02

Potraviny s obsahem rostlinných olejů (např. margaríny, pečené výrobky) se značně liší v obsahu vitamínu E v důsledku rozdílných typů použitých olejů a teplotní stability přítomných forem tokolů. Technologické zpracování potravin může odstranit výrazné množství vitamínu. Ztráty mohou nastat v důsledku vystavení tokolů peroxidovaným lipidům (vznikajícím při oxidačním žluknutí tuků) a jiným oxidačním podmínkám, jako je sušení za přítomnosti slunečního záření a vzduchu, přidávání organických kyselin, ozáření anebo konzervování. Během mletí obilovin může například dojít ke snížení obsahu tokolů odstraněním otrub a zárodečných frakcí bohatých na tokoly. Některé potraviny (např. mléko a mléčné výrobky) vykazují výrazné sezónní výkyvy v obsahu tokolů, což má souvislost se změnami ve složení krmných dávek hospodářských zvířat (příjem vitamínu E je největší při

konzumaci čerstvého krmiva nebo jaderného krmiva s vyšším obsahem tuku) (Combs & McClung 2017).

Mimo jiné můžeme vitamin E přijímat i v synteticky vyráběné formě. Buďto ho konzumujeme přidávaný jako aditivum do některých potravin, anebo jako doplněk stravy ve formě tablet (používá se forma  $\alpha$ -tokoferol). Synteticky vyráběný vitamin E je připravovaný ze směsi všech osmi diastereoisomerů, tj. vitamerů, častěji označovaných s předponou all-rac- v neesterifikovaných (all-rac- $\alpha$ -tokoferol) a esterifikovaných (all-rac- $\alpha$ -tokoferylacétát) formách. Další komerčně používané formy mohou být all-rac- $\alpha$ -tokoferylsukcinát a all-rac- $\alpha$ -tokoferyl polyethylenglykol-sukcinát (Combs & McClung 2017).

#### **3.2.5.4 Doporučení pro příjem vitaminu E**

Vitamin E je pro člověka nezbytnou mikroživinou a při dosažení jeho optimálního příjmu se předpokládá zvýšení příznivých zdravotních výsledků. Doporučení pro příjem vitaminu E v potravě jsou stanovena v mnoha zemích po celém světě a vztahují se k jeho důležité úloze jako antioxidantu k zachování integrity buněčných membrán. Současná doporučení týkající se příjmu tokolů se v různých zemích liší v závislosti na věku osoby v rozmezí 3 až 15 mg/den. V USA je doporučený denní příjem (DDP) pro vitamin E 15 mg  $\alpha$ -tokoferolu u mužů i žen s minimálním věkem 14 let. Vědeckým panelem pro dietetické výrobky, výživu a alergie (NDA Panel) Evropského úřadu pro bezpečnost potravin byl nahrazen DDP pro vitamin E nově definovaným přiměřeným příjmem (PP), kde je doporučeno množství 13 mg/den pro muže, 11 mg/den pro ženy a 5–13 mg/den pro kojence/děti (v závislosti na věku). Tento přístup, založený na hodnocení příjmu tokolů v populacích EU bez zjevného nedostatku  $\alpha$ -tokoferolu, však nezohledňuje různé požadavky na vitamin E v závislosti na věku, na relativním množství tělesného tuku u žen nebo na skutečnosti, že jiné formy tokolů než je  $\alpha$ -tokoferol nejsou tak dobře rozeznávány pomocí  $\alpha$ -TTP v játrech. Další typ hodnocení při určování optimálního příjmu a stavu vitaminů vychází z jejich koncentrace v séru. Koncentrace  $\alpha$ -tokoferolu v séru 30  $\mu\text{mol/l}$  nebo vyšší má prokazatelné příznivé účinky na lidské zdraví a koncentrace pod 12  $\mu\text{mol/l}$  séra se označuje jako deficit (EFSA 2015; Galli et al. 2017).

Vitamin E je silně závislý na vitaminu C, vitaminu B3, selenu a glutathionu, a to (mimo jiné) v souvislosti s jejich regeneračními účinky (viz kapitola 3.2.6 Antioxidační aktivita tokolů). Strava s vysokým obsahem tokolů nemůže mít optimální účinek, pokud není také bohatá na potraviny, které poskytují tyto další živiny. Interakce byly také nalezeny mezi thioley, tokoferoly a jinými sloučeninami, které zvyšují účinnost buněčných antioxidačních obranných systémů (Rizvi et al. 2014).

#### **Projevy nedostatku/nadbytku**

Ačkoli jsou tokoly přítomny ve velkém množství rostlinných potravinářských produktů, jejich příjem je obecně nízký ve všech regionech po celém světě. Podle nedávného systematického přehledu je příjem  $\alpha$ -tokoferolu a jiných forem vitaminu E u velké části populace nižší, než je DDP a nutriční průzkumy prováděné v chudých zemích ukázaly, že významná část populace vykazuje až velmi závažné nedostatky, způsobující převážně u těhotných žen zdravotní

problémy. Ukázalo se například, že 23 % metropolitní populace v Soulu vykazuje plazmatické koncentrace  $\alpha$ -tokoferolu pod 12  $\mu\text{mol/l}$  séra. Dalším příkladem je venkovský Nepál, kde asi 1/3 těhotných žen trpí závažným nedostatkem vitamínu E ( $< 10 \mu\text{mol/l}$ ), což může mít negativní vliv na plod. Situace je ještě horší v Bangladéši, kde nedostatkem trpí téměř 2/3 žen v časném těhotenství ( $< 9,3 \mu\text{mol/l}$ ) (Galli et al. 2017; Hofius & Sonnewald 2003; Shamim et al. 2015).

Nejčastějším důvodem hypovitaminózy bývá malnutrice (převážně v rozvojových zemích) a dále různé fyziologické poruchy, jako je geneticky podmíněná abnormalita transportní bílkoviny pro  $\alpha$ -tokoferol, nebo snížená schopnost absorpce tuků (Fajfrová & Pavlík 2013). Typickými znaky nedostatku jsou: periferní neuropatie (mravenčení končetin), ataxie (porucha koordinace pohybů), poruchy imunitní odpovědi, výskyt stařeckých skvrn na ruce, mastné vlasy, vyčerpání po lehčí fyzické námaze, tvorba oparů, snadná tvorba modřin a poruchy zraku u dětí narozených s nízkou porodní hmotností. Mezi závažnější projevy se řadí neplodnost (především u žen), neurologická onemocnění, poruchy krevního oběhu, svalové dystrofie, hemolytická anémie, krvácení do sítnice a může docházet i k inhibici protizánětlivých reakcí organismu při infekci (NIH 2021).

Bylo prokázáno, že nízká koncentrace plazmatického vitamínu E je silně spojena s potratem během prvního trimestru těhotenství ženy. V souvislosti s tím bylo zjištěno, že doplňování stravy vitamínem E snížilo potratovost těhotných žen přibližně o 50 %. Souhrnně tyto výsledky poukazují na důležitost adekvátního příjmu tokolů pro správnou reprodukci. Klinické příznaky hypovitaminózy se projevují také například u dětí s nízkou porodní váhou, u kterých se může nedostatek vitamínu projevit neurologickým onemocněním, svalovou dystrofií, hemolytickou anémií nebo krvácením (Hofius & Sonnewald 2003; Fajfrová & Pavlík 2013; Shamim et al. 2015; Galli et al. 2017; Mène-Saffrané 2018).

Nedostatek tokolů ve stravě také může vést ke zvýšenému poškození lipidů peroxidací, neboť v těle není dostatečné množství antioxidantů, které tomu zabraňují. Dále může docházet k inhibici protizánětlivé reakce organismu na infekci (Hofius & Sonnewald 2003; Fajfrová & Pavlík 2013; Shamim et al. 2015; Galli et al. 2017; Mène-Saffrané 2018). To se může následně projevit například aterosklerózou, při které dochází k nadměrné oxidaci LDL cholesterolu v krvi, který se dále hromadí na stěnách cév a způsobuje kornatění tepen (NIH 2021). Užíváním výživových doplňků vitamínu E v terapeutických dávkách (tj. 100 až 1 000 mezinárodních jednotek, I.U.) se může předejít nepříznivým vlivům hypovitaminózy na lidské zdraví, nebo je i částečně léčit. Tyto hladiny tokolů však výrazně překračují doporučené denní dávky ( $\sim 40 \text{ I.U.}$ ) a nelze je získat z běžné rostlinné stravy. Proto je v současné době zaměřeno velké úsilí na identifikaci genů zapojených do biosyntézy tokoferolů za účelem zlepšení hladin tokolů v kulturách rostlin metabolickým inženýrstvím (Hofius & Sonnewald 2003; Fajfrová & Pavlík 2013; Shamim et al. 2015; Galli et al. 2017; Mène-Saffrané 2018). Pouze  $\alpha$ -tokoferolová forma vitamínu E dokáže zvýšeným příjmem ochránit tělo člověka před deficitem vitamínu E (Azzi 2019).

I nadměrný přísun tokolů však u některých osob může způsobovat zdravotní problémy. Studie *in vitro* prováděné na lidských buněčných kulturách a zvířecích modelech naznačují, že příliš

vysoký příjem vitamínu E může zvýšit jaterní produkci cytochromu P450, enzymatického systému zodpovědného za přeměny cizorodých látek (například léčiv) v organismu. Větší produkce cytochromu P450 indukovaná vitamínem E by mohla potenciálně snížit účinnost jakéhokoli léku metabolizovaného právě tímto cytochromem (Clarke 2008).

Nadbytek se ojediněle může vyskytovat při předávkování vitamínovými přípravky, ale nebyly zjištěny žádné závažné toxické účinky na organismus. Předávkování se může projevit hemolýzou, bolestmi hlavy nebo průjmem. Dále může hypervitaminóza vykazovat nepříznivý účinek na krevní tlak u vysoce rizikových populací, jako jsou staří a/nebo nemocní lidé (Clarke 2008). V séru se vyskytuje zvýšená koncentrace tokolů např. při selhání ledvin, těhotenství, hyperlipidemii nebo obstrukčních jaterních onemocněních. Nejlepším způsobem, jak zabránit „toxické“ tokolů, je udržovat denní příjem vitamínu E (jak z doplňků stravy, tak z potravin) pod tolerovatelnou hladinu příjmu 1 000 mg denně. Je nepravděpodobné, že by mohlo dojít k předávkování vitamínem E pouze z konzumace samotných potravin bohatých na tokoly (NIH 2021).

### 3.2.6 Antioxidační aktivita tokolů

Všechny aerobní organismy včetně živočichů a člověka jsou neustále ohrožovány oxidačním stresem. Oxidační stres je definován jako nerovnováha mezi tvorbou reaktivního kyslíku (volných radikálů), vznikajícího jakožto vedlejší produkt látkové výměny a okysličování, a schopností organismu rychle detoxikovat a odbourávat reaktivní meziproducty. Po miliardy let v průběhu evoluce byla vyvinuta účinná obranná síť proti účinkům oxidačního stresu. Přestože jsou reaktivní formy kyslíku (RFK) a dusíku (RFD) *in vivo* vytvářeny přirozenými buněčnými procesy, může náhodná a nadměrná produkce RFK a RFD oxidací způsobovat modifikaci biologických molekul, což může vést k různým poruchám a onemocněním. Lidé jsou chráněni před oxidačním stresem pravděpodobně nejpropracovanějším antioxidačním systémem, díky čemuž mohou žít až sto let (na vzduchu při okolní teplotě). Oxidačně mohou být ovlivňovány také například potraviny, které, přestože se skládají z podobných molekul jako živé organismy, jsou oxidačně znehodnoceny již během několika dní. (Weber et al. 2019).

RFK a RFD jsou v těle vytvářeny přirozenými buněčnými procesy. RFK vznikají v důsledku oxidativní fosforylace, ke které dochází v mitochondriích. Konkrétně se jedná o peroxidy, superoxidy, hydroxylové radikály a singletový kyslík. RFD vznikají činností buněk imunitního systému, jako jsou např. makrofágy. Ty produkují oxid dusíku, který reaguje se superoxidy za vzniku peroxydusitanu, který může následně poškozovat buněčné membrány, bílkoviny nebo DNA. Tyto negativní účinky radikálů jsou vyrovnávány přítomností antioxidačních enzymů, jako jsou katalázy, laktoperoxidázy, superoxidodismutázy nebo glutathionperoxidázy, a také některými antioxidačními molekulami (vitamin C, E, kyselina močová, bilirubin, syntetický glutathion atd.) (Anghel et al. 2019).

Antioxidanty jsou látky, které mají schopnost vychytávat (vázat na sebe) volné radikály. Jsou-li přítomny ve správných koncentracích ve srovnání s koncentracemi oxidovatelného substrátu, významně zpomalují nebo inhibují oxidaci tohoto substrátu. Antioxidanty mohou



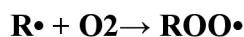
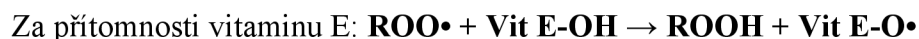
být hydrofilního či hydrofóbního typu. Jsou tedy lokalizovány buď ve vodné fázi, nebo v lipofilním prostředí. Některé lipofilní antioxidanty jsou lokalizovány na povrchu buněčných membrán a lipoproteinů, zatímco jiné jsou uvnitř membrán nebo lipoproteinového jádra. U tokolů se předpokládá, že jejich fenolická O–H vazba je umístěna na povrchu membrány, což umožňuje vychytávat volné radikály napadající membránové lipidy zvenčí (Weber et al. 2019).

Vitamin E je účinný „vychytávač“ volných kyslíkových radikálů, čímž chrání primárně polynenasycené mastné kyseliny ve fosfolipidech biologických membrán a v plasmatických lipoproteinech (Zempleni et al. 2014). Tokoferoly jsou jedny z nejcennějších antioxidantů díky jejich pozoruhodnému chemickému způsobu působení. Interagují s polynenasycenými acylovými skupinami a chrání PUFA před peroxidací lipidů odstraňováním lipidových peroxylových radikálů a deaktivací (zhášením) vysoce reaktivního singletového kyslíku ( $^1\text{O}_2$ ), které jsou produkovány např. fotosystémem II anebo během peroxidace lipidů v membráně. Během tohoto procesu tokoferoly darují svůj fenolický vodík peroxylovým radikálům, čímž neutralizují radikál, ukončují autokatalytické procesy peroxidace lipidů a chrání buněčné membrány. Výsledné tokoferolylové radikály jsou stabilnější a méně reaktivní (Fritsche et al. 2017). Vychytáváním volných radikálů přispívá vitamin E také k udržování tekutosti buněčných membrán (Anghel et al. 2019).

Při reakci dochází k darování atomu vodíku z tokolového hydroxylového kruhu vysoce reaktivnímu peroxyradikálu PUFA, čímž jej převede na mnohem méně reaktivní hydroperoxid PUFA a přeruší řetězovou reakci peroxidace lipidů zprostředkovanou radikály. Výsledný tokoferolylový radikál je stabilnější a má delší životnost než peroxyradikály PUFA a lze jej recyklovat zpět na odpovídající tokol reakcí s jiným buněčným redukčním činidlem (např. kys. askorbová, ubichinon nebo plastochinon). Vitamin C může regenerovat vitamin E přímo a thiolové antioxidanty, jako jsou glutathion a kyselina lipoová, regenerují vitamin E nepřímo prostřednictvím vitaminu C. To umožňuje jedné molekule tokolu podílet se na odhadovaném počtu 120 případů narušení řetězce peroxidace lipidů, než dojde k její degradaci (Weber et al. 2019).

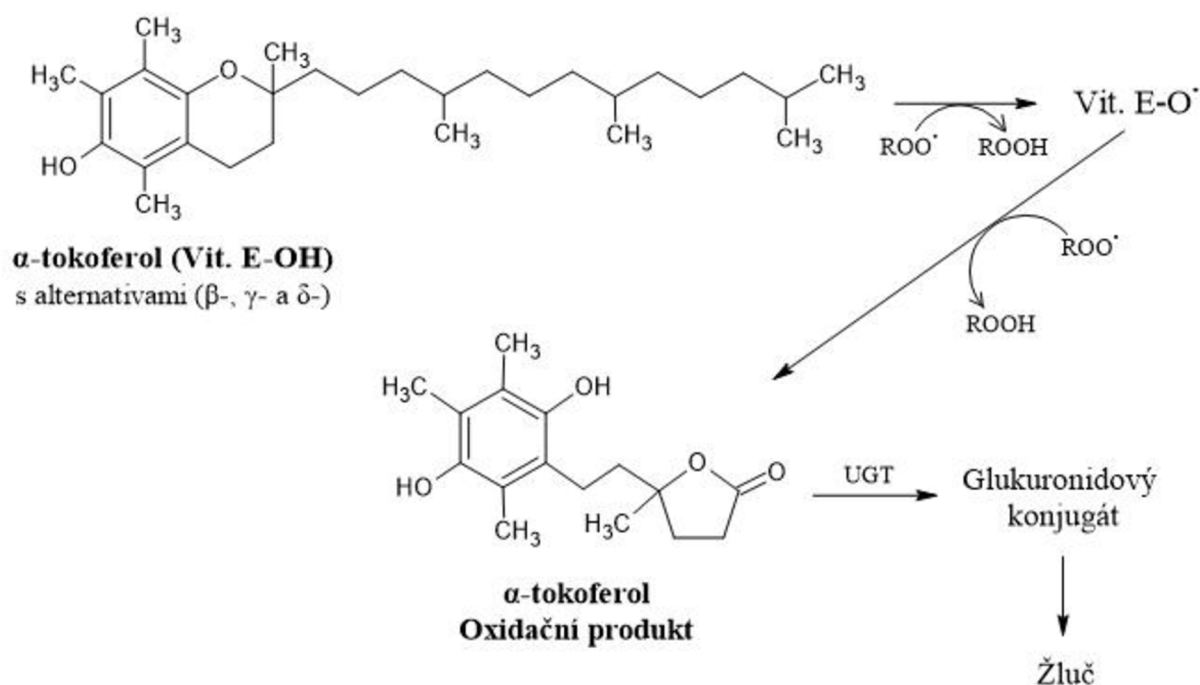
Tento jev, kdy je vitamin E obnovován jinými antioxidanty, je také nazýván jako „recyklace vitaminu E“. Souhrnně tyto vlastnosti činí tokoferoly jako antioxidanty vysoce účinné (Fritsche et al. 2017).

Peroxylové radikály ( $\text{ROO}^\bullet$ ) vznikající při oxidaci lipidů, reagují 1000× rychleji s tokly (Vit E-OH) než s PUFA (RH). Chromanová hydroxylová skupina reaguje s peroxylovým radikálem za vzniku hydroperoxidu a  $\alpha$ -tokoferolylového radikálu (Vit E-O $\bullet$ ):



Touto schopností přenášet vodík fenolové skupiny na volný peroxylový radikál peroxidované polynenasycené mastné kyseliny působí tokoly jako přerušovače řetězové reakce peroxidace lipidů (obrázek č. 6).  $\alpha$ -Tokoferoxylový radikál může následně reagovat s dalším peroxylovým radikálem za vzniku  $\alpha$ -tokoferyl chinonu, zbaveného nepárového elektronu, který může být po redukci na hydrochinon konjugován s glukuronidem. Glukuronid může být vylučován žlučí nebo dále degradován v ledvinách na kyselinu  $\alpha$ -tokoferolovou, která je vyloučena močí. Byly také popsány další oxidační produkty, včetně dimerů, trimerů a dalších (Zempleni et al. 2014).

Protože  $\alpha$ -tokoferoxylový radikál lze snadno redukovat na  $\alpha$ -tokoferol, je množství recyklovaného vitamínu E pravděpodobně mnohem větší než množství, které je dále oxidováno (Zempleni et al. 2014).



**Obrázek č. 6:** Antioxidační funkce vitamínu E při peroxidaci lipidů (upraveno dle Engelking 2015)

Druhým ochranným mechanismem tokolů je fyzikální nebo chemické zhasení singletového kyslíku ( $^1\text{O}_2$ ), vysoce reaktivní látky, která může poškozovat většinu biologických molekul, jako jsou membránové lipidy, proteiny, aminokyseliny, nukleové kyseliny, nukleotidy a sacharidy, včetně PUFA (Fritsche et al. 2017; Weber et al. 2019). K fyzikálnímu zhasení singletového kyslíku dochází vysoce účinným mechanismem přenosu náboje a tepelným rozptylem, který vrací kyslík do základního stavu, aniž by došlo k poškození tokolů. Chemické zhasení singletového kyslíku (a i dalších reaktivních forem kyslíku), má za následek otevření chromanolového kruhu tokolu a vznik příslušného tokoferolchinonu, který se také může účastnit reakcí přenosu elektronů v organismech rostlin i zvířat. Protože fotosystém II je hlavním zdrojem singletového kyslíku v rostlinách, tyto mechanismy pro

omezení potenciálního poškození singletovým kyslíkem budou pravděpodobně hrát důležitější roli u rostlin než u zvířat (Weber et al. 2019). Chemická reakce tokoferolů s  $^1\text{O}_2$  vede k odpovídajícím tokoferolovým chinonům (a dalším derivátům), z nichž některé se ukázaly jako silné antioxidanty (Fritsche et al. 2017).

### **3.3 Vliv podmínek prostředí a pěstebních technologií na obsah sekundárních metabolitů v rostlinách**

Rostliny reagují na změny ve svém prostředí, které mohou být výsledkem biotických nebo abiotických činností (Prinsloo & Nogemane 2018). V přirozených podmínkách jsou rostliny obvykle obklopeny řadou potenciálních „nepřátel“, proto si vytvořily strategie obrany proti patogenům a útokům býložravců, což umožnilo jejich přežití během evoluce. Tyto obranné mechanismy jsou úzce spojeny se syntézou sekundárních metabolitů, které jsou rovněž celosvětově využívány v několika oblastech průmyslu (Olivoto et al. 2017). Typ a koncentrace sekundárních metabolitů produkovaných rostlinou jsou určeny druhem, genotypem, fyziologií, vývojovým stádiem a faktory prostředí během růstu rostlin. To naznačuje fyziologické adaptivní reakce používané různými taxonomickými skupinami rostlin při zvládnutí stresových a obranných podnětů (Isah 2019). Poškození rostlin býložravci nebo patogeny, vliv teplot, hladiny  $\text{CO}_2$ , slunečního záření, záplav nebo sucha jsou hlavní environmentální faktory, které vykazují nejvýznamnější známky inhibice nebo syntézy sekundárních metabolitů rostlin (Olivoto et al. 2017).

Je všeobecně známo, že abiotické i biotické faktory ovlivňují chemické složení rostlin. Účinek abiotických faktorů, jako jsou podmínky růstu, teplota, světlo, živiny, voda atd., byl dobře studován, aby byl určen dopad na profil sekundárních metabolitů. Rostliny mají složitý, komplexní systém metabolických drah (primární a sekundární metabolismus), který je zodpovědný za přežití rostliny. Každá z různých metabolických drah je zodpovědná za produkci určitých skupin sekundárních metabolitů. Sekundární metabolity, jako jsou např. fenolové sloučeniny, kyselina askorbová a další, jsou známé pro své ochranné a pro člověka často prospěšné účinky. Tyto chemikálie jsou produkovány rostlinami k ochraně a prevenci poškození rostlinných tkání a zhašení volných radikálů prostřednictvím enzymatických i neenzymatických reakcí (Prinsloo & Nogemane 2018).

Četné studie zkoumaly účinky abiotického stresu na rostliny a jeho vliv na primární i sekundární metabolismus. Obecně je uznáván fakt, že rostliny reagují na environmentální stres zvýšením syntézy sekundárních metabolitů. Toto je však velmi široké a zjednodušené vysvětlení a často také nepřesné. Jsou známy různé případy, kdy rostliny reagovaly částečně pozitivně a částečně také negativně na sezónní výkyvy počasí a dostupnost vody, což mělo za následek snížení koncentrace určitých sekundárních metabolitů za současného zvýšení metabolitů jiných. Navíc rozdílné druhy, kultivary a interakce dalších faktorů prostředí, jako je teplota, komplikují jednoduchý závěr o vlivu environmentálního stresu na rostliny. Rozdílná exprese genů u různých druhů a v různých metabolických drahách zajišťuje komplexní a velmi specifickou reakci každé rostliny na environmentální stres (Prinsloo & Nogemane 2018).

### 3.3.1 Podmínky prostředí

Vliv ročního období na chemické složení rostlin a tím i jejich bioaktivitu lze přičíst klimatickým změnám, jako je teplota, vlhkost půdy, dále zasolení půd, srážkám anebo také různým fázím metabolismu rostlin (Prinsloo & Nogemane 2018).

Sucho, typicky spojené s vysokou fotoinhibicí a teplotním stresem, patří mezi abiotické stresy, které mají velký vliv na růst a vývoj rostlin. Dochází k němu v důsledku nedostatku vody, kdy se její dostupnost snížila na kritickou úroveň doprovázenou vysokým slunečním zářením a teplotami. To může způsobit mnoho změn ve fyziologii a biochemii rostlin, včetně zastavení buněčného růstu a fotosyntézy se zvýšeným dýcháním. Může tedy ovlivnit biosyntetické cesty pro produkci rostlinných sekundárních metabolitů. V mnoha nedávných studiích bylo prokázáno, že vystavení rostlin suchu podporuje vyšší produkci různých tříd sekundárních metabolitů, jako jsou např. terpeny, fenolické látky a alkaloidy během růstu *in vivo* i *in vitro* (Isah 2019). Ve studii Howartha et al. 2021 byl například prokázán zvýšený obsah  $\beta$ -glukanů v ovesném zrně v souvislosti s vyššími teplotami a nižšími srážkami během měsíců dozrávání zrn. Ve většině hlášených případů však byl nárůst sekundárních metabolitů doprovázen poklesem produkce biomasy rostlin (Isah 2019).

Co se týče vlivu teplot, tak každý rostlinný druh, kultivar nebo genotyp má specifické optimální teplotní rozsahy pro své fyziologické funkce, které zahrnují i biosyntézu sekundárních metabolitů. Odchytky od těchto rozsahů mohou v některých případech zvyšovat a v jiných snižovat rostlinnou biomasu a biosyntézu sekundárních metabolitů (Isah 2019).

Vliv světla na růst rostlin a sekundární metabolity je mnohostranný a závisí na konkrétních druzích rostlin, jejich růstových fázích a hodnoceném fyziologickém stavu tkáně nebo orgánu. (Isah 2019). Světlo je nepostradatelné pro biosyntetický průběh rostoucí rostliny. Mezi klíčové faktory související se světelným zářením patří fotoperioda, intenzita (kvantita), směr a kvalita (frekvence nebo vlnová délka). V přírodě hraje světlo nezastupitelnou roli při podpoře růstu rostlin a navození nebo regulaci jejich metabolismu. V reakci na světelné záření se rostliny dokážou přizpůsobit změnám okolního prostředí uvolňováním a akumulací různých sekundárních metabolitů včetně fenolických sloučenin, triterpenoidů a flavonoidů a mnohé z nich mají vysokou ekonomickou a užitnou hodnotu díky jejich dobře známým antioxidačním vlastnostem (Yang et al. 2018).

Dalším abiotickým stresem pro rostliny je salinizace půd, tedy akumulace rozpustných solí v horních vrstvách půdy. Vysoká zasolenost půdy a vysoký stupeň nasycení sorpčního komplexu sodíkem mohou významně ovlivnit fyzikálně-chemické, chemické a biologické vlastnosti půdy a tím snižovat její úrodnost. Proces salinizace může být přirozený (např. v přímořských oblastech, aridních oblastech, oblastech solných ložisek), ale také může být způsoben antropogenně nadměrným používáním minerálních hnojiv, různých rozmrazovacích solí nebo intenzivním zavlažováním vodou bohatou na minerály (Pavlů 2018). V celosvětovém měřítku se plocha vysoce zasolených půd zvýšila na více než 800 milionů hektarů. Salinizace může vyvolat složité interakce mezi různými morfologickými, fyziologickými a biochemickými procesy. Může také způsobit oxidační stres v důsledku

vysoké produkce reaktivních forem kyslíku, aby se změnil metabolismus rostlin. Ve skutečnosti rostliny produkují velké množství sekundárních metabolitů k vychytávání reaktivních forem kyslíku nebo k jejich detoxikaci (Yang et al. 2018).

### **3.3.2 Pěstební technologie – konvenční a ekologické systémy hospodaření**

Existují různé přístupy k hospodaření s půdou. Hlavními dvěma způsoby hospodaření jsou konvenční a ekologické zemědělství (Šnobl et al. 2007).

Prioritou konvenčního hospodaření je dosažení co největšího zisku z 1 ha půdy. Aby bylo tohoto cíle dosaženo, využívá se aplikací vysokých dávek agrochemikálií, různých regulátorů růstu atd., kvůli čemuž dochází k narušování ekologicko-biologické rovnováhy přírody a zhoršování životního prostředí. Převládá zde využití jednoduchých osevních postupů a užší specializace pěstovaných plodin. Hnojiva aplikovaná v tomto zemědělském systému jsou převážně anorganická a snadno rozpustná (Šnobl et al. 2007).

Zemědělská činnost se i přes svou úzkou provázanost s životním prostředím a obyvatelstvem stala jedním z nejvýznamnějších zdrojů znečištění životního prostředí s negativním dopadem na zdraví spotřebitelů. Na mikroekonomické úrovni vyvstává hlavní otázka, zda by se zemědělské podniky měly odklonit od konvenčního zemědělství k ekologickému, vzhledem k tomu, že udržitelnost zemědělského sektoru má prvořadý význam pro ekonomický růst a rozvoj země na celém světě. Výběr konkrétního typu hospodaření je ovlivněn technologiemi, dostupným kapitálem a informovaností, stejně jako mentalitou, vzděláním a respektem k přírodě a životnímu prostředí těch, kdo jsou v tomto sektoru zapojeni (Cristache et al. 2018).

Neustálý rozvoj společnosti a nárůst světové populace nutí k intenzivnímu využívání podpůrných látek (více vody, hnojiv, pesticidů) a vyčerpávání přírodních zdrojů, které doprovázejí klimatické změny. Tyto skutečnosti zdůrazňují potřebu procesu přechodu od konvenčního zemědělství, které je založeno na zisku a maximalizaci produkce, směrem k takové formě zemědělství, která klade důraz na tři klíčové ukazatele výkonnosti: klimatický dopad, ekonomickou stabilitu a sociální stabilitu. Kromě toho jsou spotřebitelé stále více nedůvěřiví, pokud jde o bezpečnost potravin, a důvěryhodnost konvenčního zemědělství je na pochybách. Východiskem by mohl být tedy přechod k ekologickému systému zemědělství (Cristache et al. 2018).

Organizace OSN pro výživu a zemědělství (FAO) definuje v „Codex Alimentarius“ ekologické zemědělství jako „holistický systém řízení produkce, který podporuje a zlepšuje zdraví agroekosystému, včetně biologické rozmanitosti, biologických cyklů a biologické aktivity půdy“ (FAO 1999). Nařízení Rady (ES) č. 834/2007 ze dne 28. června 2007 o ekologické produkci a označování ekologických produktů a o zrušení nařízení (EHS) č. 2092/91 navíc definuje ekologickou produkci jako „celkový systém řízení farem a produkce potravin, který spojuje osvědčené postupy v oblasti životního prostředí, vysokou úroveň biologické rozmanitosti, ochranu přírodních zdrojů, uplatňování přísných norem pro dobré životní podmínky zvířat a výrobní metodu v souladu s preferencemi určitých spotřebitelů pro

produkty vyrobené za použití přírodních látek a postupů“ (Gold 2007). Ekologické zemědělství je založeno na minimálním využívání vstupů mimo farmu a manažerských postupech, které pomáhají obnovovat, udržovat a posilovat ekologickou harmonii (Cristache et al. 2018).

Stručně může být ekologické hospodaření popsáno jako systém, zaměřující se na šetření přírodních zdrojů, omezování používání agrochemikálií a postupů zatěžujících životní prostředí a také na chov hospodářských zvířat s ohledem na jejich etologické požadavky. Převažuje zde mnohostranná produkce a využívání pestrých osevních postupů, díky čemuž nedochází k narušení ekologicko-biologické rovnováhy v přírodě. Ke hnojení plodin jsou využívána organická hnojiva. Průmyslová hnojiva spolu s pesticidy se v tomto systému zemědělství nevyužívají (Šnobl et al. 2007).

Udržitelné ekologické zemědělství, které obezřetně využívá přírodní zdroje, je zásadní pro proces výroby potravin a také pro kvalitu života – dnes, zítra i pro příští generace – tím, že poskytuje podmínky pro udržitelný rozvoj. Z tohoto pohledu mohou produkty ekologického zemědělství (bioprodukty, biopotraviny) představovat životaschopné řešení pro zdravější budoucnost. V poslední době se výrazně zvýšil počet zemí, organizací a společností, které podporují ekologické zemědělství (Cristache et al. 2018).

Krom těchto dvou hraničních směrů, existují i různé mezistupně mezi konvenčním a ekologickým zemědělstvím, jako je například integrovaný nebo Low input systém. Integrovaný systém zahrnuje jak ekonomická, tak ekologická hlediska hospodaření a zaměřuje se hlavně na rozšíření druhové skladby pěstovaných plodin, používání kvalitního osiva, řízenou výživu a hnojení plodin atd. Low input systém se snaží o minimalizaci množství používaných agrochemikálií a výnosy i rentabilita jsou zde oproti integrovanému způsobu produkce zpravidla nižší (Šnobl et al. 2007).

Zkoumání vlivů pěstebních systémů na obsah sekundárních metabolitů v rostlinách bylo cílem mnoha studií. Většina z nich souhlasí se závěrem, že plodiny z ekologického zemědělství obvykle obsahují vyšší koncentrace antioxidantních látek ve srovnání s plodinami pěstovanými konvenčně. Jedním z důvodů je pravděpodobně fakt, že v ekologickém zemědělství, kde není možné používat průmyslové pesticidy, mohou být rostliny vystaveny vyššímu napadení škůdci a chorobami. Lze tedy očekávat intenzivnější syntézu antioxidantních látek obrannými systémy rostlin. Dalším důvodem by mohla být možná horší dostupnost některých živin, zejména dusíku, neboť v ekologickém zemědělství nejsou povolena žádná syntetická hnojiva. Tato situace může mít za následek i vyšší syntézu některých fytochemikálií, které jsou součástí obranných systémů rostlin. Nicméně vyšší koncentrace sekundárních metabolitů v obilném zrna z ekologického zemědělství může být spojena také s menší velikostí zrn. Lze tedy předpokládat, že v menších zrnech je nižší podíl endospermu a vyšší podíl vnějších vrstev semen bohatých na antioxidanty (Capouchová et al. 2020).

## 4 Metodika

### 4.1 Analyzované vzorky ovsa

K analýze byly použity vzorky zrna vybraných odrůd ovsa. Vzorky pocházely ze dvou experimentálních lokalit (ČZU Praha – Uhřetěves a JU České Budějovice) ze 2 pěstebních období (roky 2019 a 2020) a byly pěstovány ve dvou typech pěstebních systémů (konvenční a ekologický) (viz Tabulka č. 6). Celkem bylo analyzováno 5 odrůd ovsa ze 2 lokalit pěstování, 2 pěstebních systémů a 2 let sklizně. Všechny varianty byly analyzovány ve třech opakováních, celkem tedy 120 vzorků.

**Tabulka č. 6.** Seznam analyzovaných zrn ovsa

Druh	Odrůda	Ročník sklizně	Lokalita pěstování	Pěstební systém
Oves setý	Kertag	2019	ČZU	EKO
		2020	JU	KON
	Korok	2019	ČZU	EKO
		2020	JU	KON
Seldon	2019	ČZU	EKO	
	2020	JU	KON	
Oves nahý	Patrik	2019	ČZU	EKO
		2020	JU	KON

### 4.2 Základní údaje o pokusech s ovsem

Čtyři odrůdy ovsa setého (Korok, Kertag, Raven, Seldon) a jedna odrůda ovsa nahého (Patrik) byly vysety na experimentálních lokalitách ČZU Praha – Uhřetěves a JU České Budějovice. Pokus byl veden metodou znárodněných bloků, ve třech opakováních. Velikost pokusné parcely činila cca 12 m<sup>2</sup>. Oves byl pěstován jak ekologickým způsobem, na pokusné ploše certifikované pro vedení pokusů v ekologickém systému hospodaření podle pravidel stanovených zákonem č. 242/2000 Sb., o ekologickém zemědělství, vyhláškou č. 16/2006 a podle zásad IFOAM, bez používání průmyslových hnojiv a pesticidů, tak běžným konvenčním způsobem pěstování.

Po sklizni pokusů byly odebrány vzorky zrna ovsa pro jakostní analýzy (zrno ovsa setého bylo nejprve vyloupano na laboratorní loupáče na ŠS Selgen Krukanice).

## **4.2.1 Charakteristika pěstovaných lokalit**

### **4.2.1.1 ČZU Praha – Uhříněves**

Lokalita ČZU Praha – Uhříněves se nachází v nadmořské výšce 295 m n. m. a spadá do výrobní oblasti řepářské. Dlouhodobě průměrné roční teploty se zde pohybují kolem 8,4 °C a dlouhodobě průměrný roční úhrn srážek je zde naměřený 575 mm. Půdním typem je zde hnědozem a půdním druhem jílovitohlinitá půda.

### **4.2.1.2 JU České Budějovice**

Lokalita JU České Budějovice se nachází v nadmořské výšce 388 m n. m. a spadá do výrobní oblasti obilnářské. Dlouhodobě průměrné roční teploty se zde pohybují kolem 8,2 °C a dlouhodobě průměrný roční úhrn srážek je zde naměřený 627 mm. Půdním typem je zde typický pseudoglej a půdním druhem písčitohlinitá půda.

## **4.2.2 Rok 2019**

### **4.2.2.1 Agrotechnika: Praha – Uhříněves**

V roce 2019 ve výzkumné stanici ČZU Katedry agroekologie a rostlinné produkce v Praze – Uhříněvsi bylo pěstováno 5 odrůd ovsa za těchto pěstitelských postupů:

Ekologický systém:

- předplodina – jetel luční
- výsevek ovsa – 5,0 MKS/ha (MKS = miliony klíčivých semen)
- setí – 10. 3. 2019
- vláčení proti plevelům – 11. 4., 10. 5. a 26. 5. 2019
- sklizeň – 5. 8. 2019

Konvenční systém:

- předplodina – jetel luční
- výsevek ovsa – 5,0 MKS/ha
- setí – 12. 3. 2019
- hnojení 60 kg N/ha (dusíkatým hnojivem LAV 27) – 26. 4. 2019
- aplikace herbicidů (Dicopur + Lontrel) – 8. 5. 2019
- sklizeň – 11. 8. 2019

### **4.2.2.2 Agrotechnika: České Budějovice**

V roce 2019 na pokusném stanovišti Zemědělské fakulty Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích bylo pěstováno 5 odrůd ovsa za těchto pěstitelských postupů:



Ekologický systém:

- předplodina – luskovinoobilní směska
- výsevek ovsa – 5,0 MKS/ha
- setí – 28. 3. 2019
- vláčení proti plevelům – 18. 4. 2019
- sklizeň – 15. 8. 2019

Konvenční systém:

- předplodina – luskovinoobilní směska
- výsevek ovsa – 5,0 MKS/ha
- setí – 28. 3. 2019
- hnojení 60 kg N/ha (dusíkatým hnojivem LAV 27) – 30. 4. 2019
- aplikace herbicidu (Mustang) – 23. 5. 2019
- sklizeň – 15. 8. 2019

#### 4.2.2.3 Přírodní podmínky

Vegetační období pěstovaného ovsa probíhalo na obou pokusných lokalitách za vysokých teplot (kromě května, který byl teplotně mírně podprůměrný) a nerovnoměrné distribuce srážek. Srážky byly na lokalitě Praha – Uhřetěves podprůměrné ve všech sledovaných měsících s výjimkou května. Na lokalitě České Budějovice byly srážky podprůměrné především v dubnu a červnu, a naproti tomu červenec byl srážkově nadprůměrný. Teploty a srážky na pokusných lokalitách jsou podrobněji znázorněny v Tabulkách č. 7 a 8.

**Tabulka č. 7.** Průběh povětrnostních podmínek – měsíční údaje za vegetační období (duben–srpen 2019) v Praze – Uhřetěvsi (ČZU)

Měsíc	Teplota vzduchu (°C)			Srážky (mm)		
	Průměr	Dlouhodobý průměr	Rozdíl	Suma	Dlouhodobý průměr	Rozdíl
<b>Duben</b>	10,7	8,2	2,5	38,8	46,1	-7,3
<b>Květen</b>	12,0	13,4	-1,4	66,0	65,2	0,8
<b>Červen</b>	22,0	16,3	5,7	46,4	74,0	-27,6
<b>Červenec</b>	20,3	18,2	2,1	33,0	74,3	-41,3
<b>Srpen</b>	19,5	17,5	2,0	66,6	72,4	-5,8

**Tabulka č. 8.** Průběh povětrnostních podmínek – měsíční údaje za vegetační období (duben–srpen 2019) v Českých Budějovicích (JU)

Měsíc	Teplota vzduchu (°C)			Srážky (mm)		
	Průměr	Dlouhodobý průměr	Rozdíl	Suma	Dlouhodobý průměr	Rozdíl
Duben	10,8	8,1	2,7	10,4	46,5	-36,1
Květen	11,8	12,0	-0,2	80,8	70,1	10,7
Červen	22,3	16,2	6,1	52,5	93,0	-40,5
Červenec	20,7	17,7	3,0	98,5	77,8	20,7
Srpen	20,5	17,1	3,4	77,9	78,8	-0,9

### 4.2.3 Rok 2020

#### 4.2.3.1 Agrotechnika: Praha – Uhřetěves

V roce 2020 ve výzkumné stanici ČZU Katedry agroekologie a rostlinné produkce v Praze – Uhřetěvesi bylo pěstováno 5 odrůd ovsa za těchto pěstitelských postupů:

Ekologický systém:

- předplodina – jetel luční
- výsevek ovsa – 5,0 MKS/ha
- setí – 19. 3. 2020
- vláčení proti plevelům – 22. 4., 18. 5. a 3. 6. 2020
- sklizeň – 12. 8. 2020

Konvenční systém:

- předplodina – jetel luční
- výsevek ovsa – 5,0 MKS/ha
- setí – 22. 3. 2020
- hnojení 60 kg N/ha (dusíkatým hnojivem LAV 27) – 28. 4. 2020
- aplikace herbicidů (Dicopur + Lontrel) – 15. 5. 2020
- sklizeň – 12. 8. 2020

#### 4.2.3.2 Agrotechnika: České Budějovice

V roce 2020 na pokusném stanovišti Zemědělské fakulty Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích bylo pěstováno 5 odrůd ovsa za těchto pěstitelských postupů:

Ekologický systém:

- předplodina – luskovinoobilní směska
- výsevek ovsa – 5,0 MKS/ha
- setí – 16. 3. 2020
- vláčení proti plevelům – 28. 4. 2020
- sklizeň – 28. 8. 2020

Konvenční systém:

- předplodina – luskovinoobilní směska
- výsevek ovsa – 5,0 MKS/ha
- setí – 16. 3. 2020
- hnojení 60 kg N/ha (dusíkatým hnojivem LAV 27) – 29. 4. 2020
- aplikace herbicidů (Mustang) – 20. 5. 2020
- sklizeň – 28. 8. 2020

#### 4.2.3.3 Přírodní podmínky

Vegetační období pěstovaného ovsa probíhalo na obou pokusných lokalitách za nadprůměrných teplot (s výjimkou května na lokalitě Uhříněves, který byl teplotně mírně pod dlouhodobým průměrem). Co se týče úhrnu srážek v průběhu sledovaného období, na lokalitě Praha – Uhříněves byly srážky především v dubnu a červenci podprůměrné, načež v květnu a červnu byly mírně nad dlouhodobým průměrem. Lokalita České Budějovice byla na srážky celkově výrazně bohatší, a to především v květnu a červnu. Podprůměrný úhrn srážek byl zde pozorován pouze v měsíci dubnu. Podrobnější informace jsou uvedeny v Tabulkách č. 9 a 10.

**Tabulka č. 9.** Průběh povětrnostních podmínek – měsíční údaje za vegetační období (duben–srpen 2020) v Praze – Uhříněvsi (ČZU)

Měsíc	Teplota vzduchu (°C)			Srážky (mm)		
	Průměr	Dlouhodobý průměr	Rozdíl	Suma	Dlouhodobý průměr	Rozdíl
<b>Duben</b>	10,9	8,2	2,7	12,8	46,1	-33,3
<b>Květen</b>	12,3	13,4	-1,1	68,0	65,2	2,8
<b>Červen</b>	17,5	16,3	1,2	79,4	74,0	5,4
<b>Červenec</b>	19,7	18,2	1,5	20,8	74,3	-53,5
<b>Srpen</b>	19,9	17,5	2,4	68,1	72,4	-4,3

**Tabulka č. 10.** Průběh povětrnostních podmínek – měsíční údaje za vegetační období (duben–srpen 2020) v Českých Budějovicích (JU)

Měsíc	Teplota vzduchu (°C)			Srážky (mm)		
	Průměr	Dlouhodobý průměr	Rozdíl	Suma	Dlouhodobý průměr	Rozdíl
Duben	11,2	8,1	3,1	29,7	46,5	-16,8
Květen	12,5	12,0	0,5	113,0	70,1	42,9
Červen	17,4	16,2	1,2	170,7	93,0	77,7
Červenec	19,4	17,7	1,7	84,8	77,8	7,0
Srpen	20,1	17,1	3,0	89,9	78,8	11,1

### 4.3 Analýza obsahu tokolů v zrnech ovsa

Analýza vzorků probíhala v laboratorních prostorech Katedry chemie ve 4. patře hlavní budovy FAPPZ ČZU v Praze.

#### 4.3.1 Použité přístroje, pomůcky, chemikálie

##### 4.3.1.1 Přístroje

- laboratorní váha (EG420-3NM, KERN, Německo)
- elektrický mlýnek (A 11 B, IKA Werke, Německo)
- vortex (Basic 3, IKA Werke, Německo)
- třepací vodní lázeň (VLSB12, VWR International, PA, USA)
- třepačka (3006, GFL, Německo)
- odstředivka (5800 R, Eppendorf, Německo)
- kapalinový chromatograf Ultimate 3000 HPLC/FLD (Thermo Fisher Scientific, MA, USA)

##### 4.3.1.2 Pomůcky

- uzavíratelné zkumavky Falcon 50 ml

- lžička
- pipety
- ledové kostky (pro ledovou lázeň)
- skleněné vialky
- nylonový mikrofiltr (PVDF, 0,45 um)
- stojany na zkumavky a vialky

#### 4.3.1.3 Chemikálie

- destilovaná voda
- pyrogallol (p.a., Lachner, ČR)
- chlorid sodný (p.a., Lachner, ČR)
- ethanol (p.a., Lachner, ČR)
- hydroxid draselný (p.a., Lachner, ČR)
- hexan (p.a., Lachner, ČR)
- ethylacetát (p.a., Lachner, ČR)
- methanol (HPLC grade, Lachner, ČR)
- směsný standard tokoferolů a tokotrienolů (ChromaDex, CA, USA)
- Deionizovaná voda připravena pomocí Simplicity UV (Millipore, Německo)

#### 4.3.2 Příprava vzorku pro stanovení tokolů v obilninách

Obsah tokolů (suma  $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ -,  $\delta$ -tokoferolů a  $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ -,  $\delta$ -tokotrienolů) byl stanoven po alkalické hydrolyze vzorku. Do 50 ml plastových zkumavek Falcon se šroubovacím uzávěrem bylo naváženo cca 0,5 g rozemletého, homogenizovaného vzorku. Ke vzorku bylo přidáno 1,25 ml ethanolického roztoku pyrogallolu (6 g/100 ml), 0,5 ml 0,15M NaCl/H<sub>2</sub>O, 0,5 ml 95% ethanolu a 0,5 ml 10M KOH/ H<sub>2</sub>O. Vzorek byl promíchán na vortexu, poté byl vložen na 30 min do třepací vodní lázně (80 °C), přičemž byl každých 10 min promíchán na vortexu. Po vyjmutí z lázně byl vzorek ochlazen v ledové lázni a následně bylo přidáno 3,75 ml 0,15M NaCl/H<sub>2</sub>O a 6,5 ml směsi hexan:ethylacetát (9:1). Následovalo promíchání vzorku na vortexu, protřepání na třepače po dobu 15 min a odstředění po dobu 5 min při 4000 rpm. Organická fáze byla odebrána do skleněných 8 ml vialek. Poté bylo znovu přidáno 6,5 ml směsi hexan:ethylacetát (9:1), vzorek byl opět promíchán na vortexu, protřepán na třepače po dobu 15 min a odstředěn po dobu 5 min při 4000 rpm. Organická fáze byla opět odebrána (13 ml)

a odpařena pod dusíkem. Suchý extrakt byl rekonstituován do 1 ml methanolu (HPLC) a přefiltrován přes 0,45 µm nylonový mikrofiltr do skleněných vialek a ihned analyzován na HPLC/FLD.

### 4.3.3 HPLC/FLD analýza

Analýza vzorků byla provedena pomocí systému Ultimate 3000 HPLC ve spojení s fluorescenčním detektorem. Analyty byly separovány izokratickou elucí na chromatografické koloně Develosil® RP-AQUEOUS C30 (250 × 4,6 mm, velikost částic = 5 µm; Phenomenex, CA, USA). Mobilní fáze se skládala z H<sub>2</sub>O:methanol v poměru 3:97. Podmínky separace byly následující: průtok 1,0 ml/min; teplota kolony 30 °C; teplota autosampleru 10 °C; injekční objem 10 µl; doba analýzy 35 min. Podmínky detekce byly: excitační vlnová délka  $\lambda = 292$  nm, emisní vlnová délka  $\lambda = 330$  nm.

Tokoly byly identifikovány porovnáním retenčních časů s časy analytických standardů. Kvantifikace byla provedena metodou externí kalibrace (rozsah koncentrací standardních roztoků 0,05–50 µg/ml). Limity detekce (signál/šum = 3) vyjádřené v µg/g pro jednotlivé tokoly byly následující: β-tokotrienol 0,02; α-tokotrienol 0,05; β-tokoferol 0,04; α-tokoferol 0,09.

### 4.3.4 Statistické zhodnocení dat

Všechny analýzy byly provedeny třikrát pro každý vzorek a všechny hodnoty uvedené v této diplomové práci jsou průměrem těchto tří opakování vyjádřeným v sušině zrn. Data byla zpracována pomocí Chromeleonu (Thermo Fisher Scientific, MA, USA) a Excelu (Microsoft, WA, USA). Statistické vyhodnocení bylo provedeno pomocí softwaru STATISTICA (StatSoft, OK, USA). Ke zhodnocení vlivu pěstebních systémů, roků pěstování, lokalit pěstování a odrůd ovsa byla použita faktoriální ANOVA (při hladině významnosti  $p < 0,05$ ). K podrobnějšímu vyhodnocení byl využit Tukeyův HSD test.

## 5 Výsledky

Ve výsledcích byly vyhodnocovány a porovnávány vlivy genotypových a environmentálních faktorů na obsah a složení tokolů v zrnech ovsa. Do pokusu bylo zařazeno celkem pět odrůd, čtyři odrůdy ovsa setého (Kertag, Korok, Seldon, Raven) a jedna odrůda ovsa nahého (Patrik). Environmentální faktory zahrnovaly rozdílné roky pěstování (2019 a 2020), rozdílné lokality pěstování (ČZU Praha – Uhřetěves a JU České Budějovice) a rozdílné pěstební systémy (ekologický a konvenční). Vyhodnocovány byly pouze  $\alpha$ - a  $\beta$ - formy tokolů, neboť ostatní formy nebyly v ovsu detekovány.

V tabulce č. 11 je znázorněna variabilita obsahů jednotlivých forem tokolů (vyjádřená jako % celkového průměru čtverců) v ovsu v závislosti na jednotlivých faktorech a je možné je mezi sebou porovnat. Zároveň jsou v tabulce hvězdičkou označeny variability konkrétních faktorů, které (při hladině významnosti  $< 0,05$ ) vykazují statisticky významné rozdíly mezi obsahy tokolů. Je zřejmé, že variabilita byla nejvíce ovlivněna rokem, toto je patrné zejména u  $\alpha$ -forem tokolů ( $\alpha$ -T3: 98,13 %,  $\alpha$ -T: 97,20 %). Na obsah  $\beta$ -forem měly značný vliv také odrůda ( $\beta$ -T: 22,66 %,  $\beta$ -T3: 4,34 %) a produkční systém ( $\beta$ -T: 14,67 %,  $\beta$ -T3: 10,87 %). Lokalita pěstování neměla statisticky významný vliv na obsah žádné z analyzovaných forem tokolů v zrnech.

**Tabulka č. 11.** Vliv produkčního systému, odrůdy, lokality a roku na obsah hodnocených tokolů v ovesném zrně (míra variability je vyjádřena jako % celkového průměru čtverců – faktoriální ANOVA)

	$\alpha$ -T3 (%)	$\beta$ -T3 (%)	$\alpha$ -T (%)	$\beta$ -T (%)	Celkové tokoly (%)
<b>Produkční systém</b>	0,72	10,87*	0,88	14,67*	1,01
<b>Odrůdy</b>	0,38	4,34*	0,32	22,66*	0,27
<b>Lokalita</b>	0,77	3,17	1,6	1,18	0,99
<b>Rok</b>	98,13*	81,62*	97,20*	61,49*	97,73*
<b>Celkem</b>	100	100	100	100	100

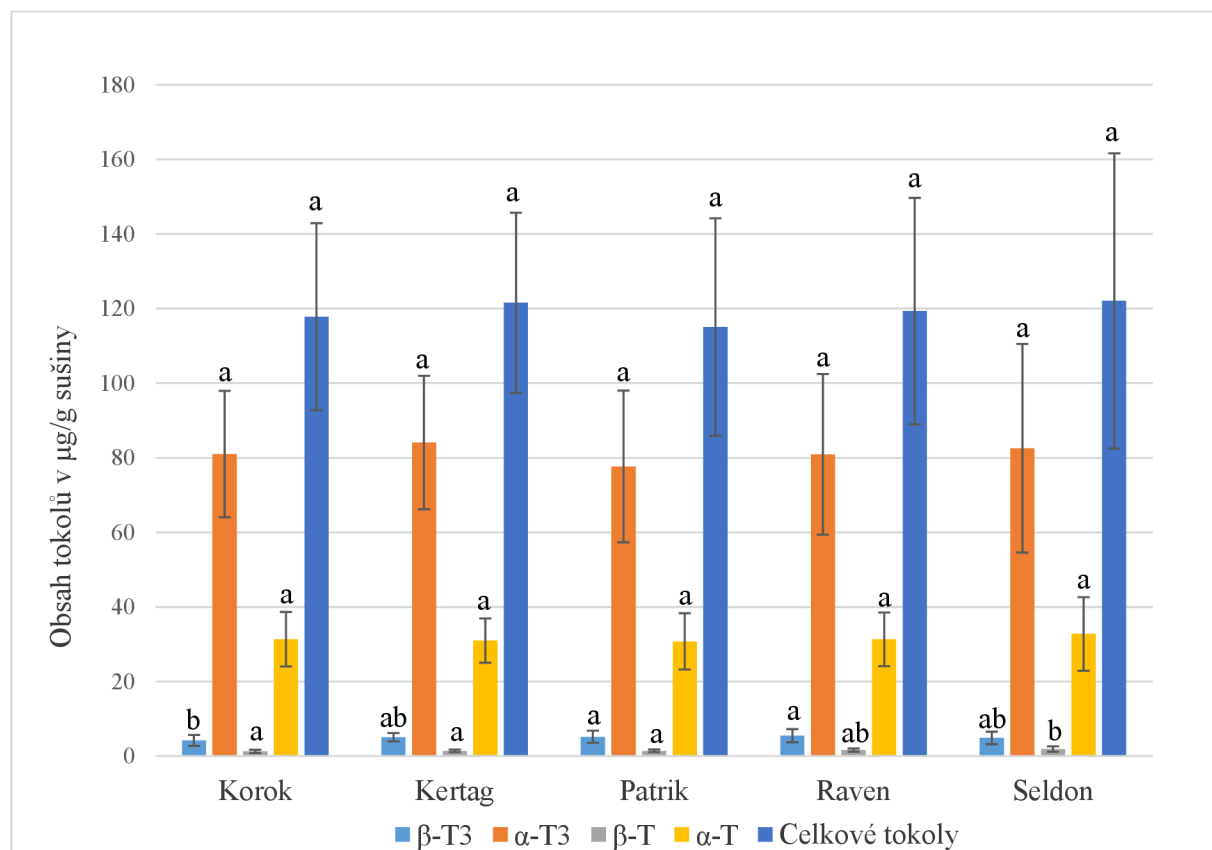
Podrobnější výsledky u jednotlivých genotypových a environmentálních vlivů jsou popsány v následujících kapitolách. Všechna data získaná ze statistického zhodnocení výsledků jsou znázorněna ve Statistických tabulkách 1 až 25 v přílohách diplomové práce (DP). Všechny naměřené hodnoty tokolů jsou uvedeny v Souhrnné tabulce 26 rovněž v přílohách DP.

## 5.1 Vliv odrůdy ovsa na obsah tokolů

Pro vyhodnocení vlivu odrůdy ovsa na obsah a složení tokolů v programu Statistica byl vypočten aritmetický průměr hodnot výsledků pro testované odrůdy z obou let sklizně, z obou lokalit pěstování, z obou produkčních systémů.

Z grafu č. 1 je na první pohled zjevné, že celkový obsah tokolů se mezi jednotlivými genotypy významně neliší (viz Statistická tabulka č. 22). Nejvíce jich bylo nalezeno v odrůdě Seldon ovsa setého s průměrným obsahem 122,04  $\mu\text{g/g}$  sušiny zrna a nejméně v odrůdě Patrik ovsa nahého s obsahem 115,04  $\mu\text{g/g}$  sušiny. Ve všech genotypech zastávaly nejvyšší množství  $\alpha$ -tokotrienoly s průměrným obsahem 81,24  $\mu\text{g/g}$  sušiny zrna, následované  $\alpha$ -tokoferoly s průměrem 31,43  $\mu\text{g/g}$ .  $\beta$ -formy tokolů se ve všech odrůdách vyskytovaly pouze v malém množství, a to průměrně 4,96  $\mu\text{g}$   $\beta$ -tokotrienolů/g a 1,52  $\mu\text{g}$   $\beta$ -tokoferolů/g sušiny zrna. Statisticky významné rozdíly oproti ostatním odrůdám byly zjištěny u obsahu  $\beta$ -tokotrienolů a  $\beta$ -tokoferolů, konkrétně u odrůd Korok a Seldon (viz Tabulka č. 11, Statistické tabulky 7 a 17 v přílohách DP). Vliv odrůdy ovsa na obsah tokolů byl tedy statisticky významný pouze u  $\beta$ -forem tokolů.

**Graf č. 1.** Vliv odrůdy na obsah tokolů v zrna



**Vysvětlivky ke grafu:** Různá písmena nad sloupci znázorňují statisticky významné rozdíly mezi obsahy tokolů (při  $p < 0,05$ ). Sloupce označené stejnými písmeny se od sebe významně neliší. Chybové úsečky znázorňují směrodatné odchylky od průměrných hodnot stanovených ze třech měření.

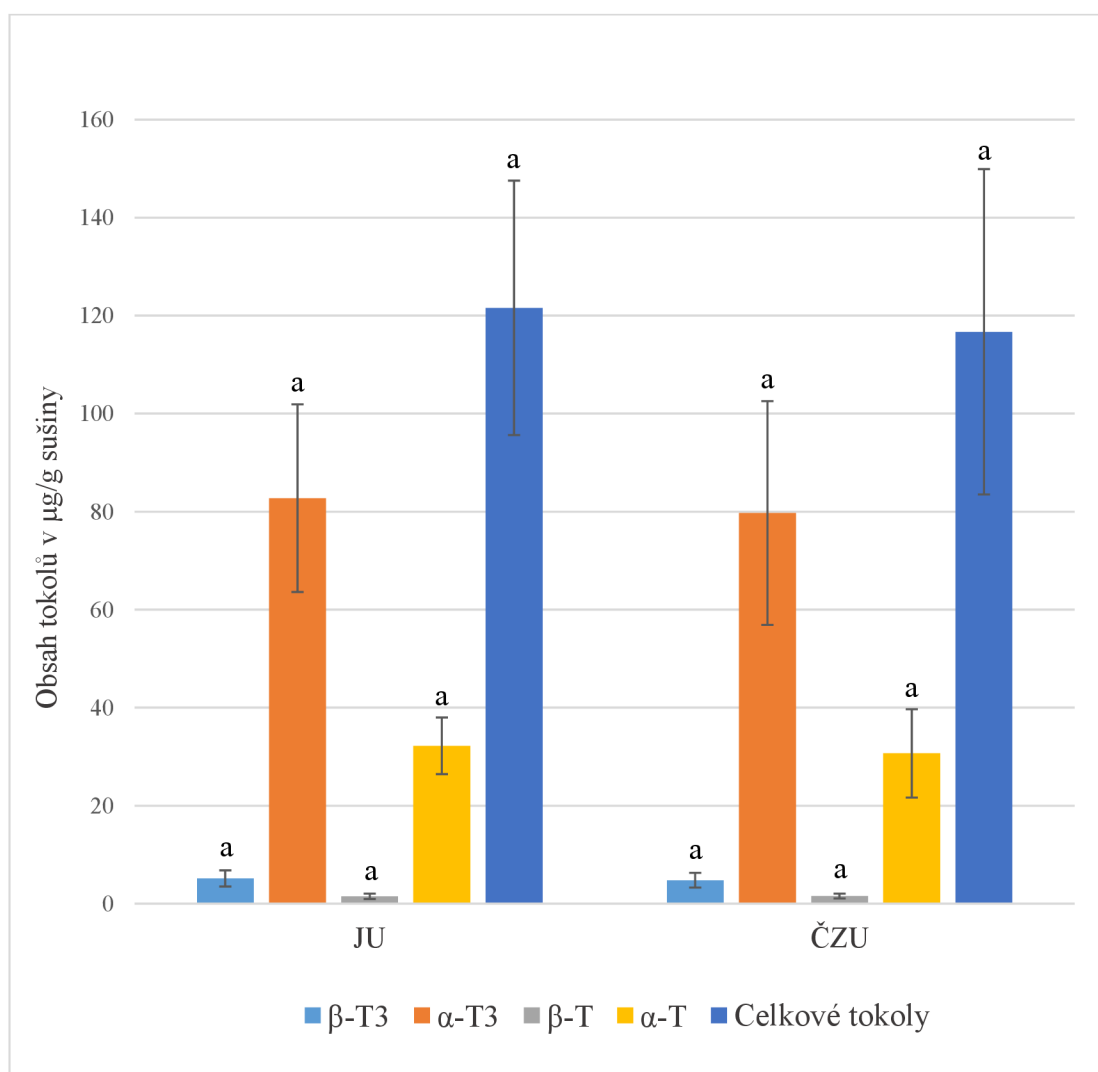


## 5.2 Vliv lokality pěstování na obsah tokolů

Pro vyhodnocení vlivu lokalit pěstování ovsa na obsah a složení tokolů v programu Statistica byl vypočten aritmetický průměr hodnot výsledků pro lokality z obou let sklizně, z obou produkčních systémů, ze všech odrůd ovsa.

Jak je vidět v grafu č. 2, mírně vyšší obsah tokolů byl naměřen v ovsu pěstovaném na lokalitě JU České Budějovice (121,59  $\mu\text{g/g}$  sušiny) oproti lokalitě Praha – Uhřetěves (116,71  $\mu\text{g/g}$  sušiny). U jednotlivých forem tokolů byl pozorován podobný trend, kromě  $\beta$ -tokoferolu, kterého bylo naměřeno o necelých 0,05  $\mu\text{g/g}$  sušiny více v ovsu pěstovaném v Praze – Uhřetěvsi. Avšak tyto rozdíly nebyly statisticky průkazné. Lze tedy říci, že za stanovených podmínek ani jedna ze sledovaných forem tokolů v ovsu nebyla významně ovlivněna rozdílností v lokalitách pěstování (viz Tabulka č. 11, Statistické tabulky 3, 8, 13 a 18 v přílohách DP).

**Graf č. 2.** Vliv lokality pěstování na obsah tokolů v zrně



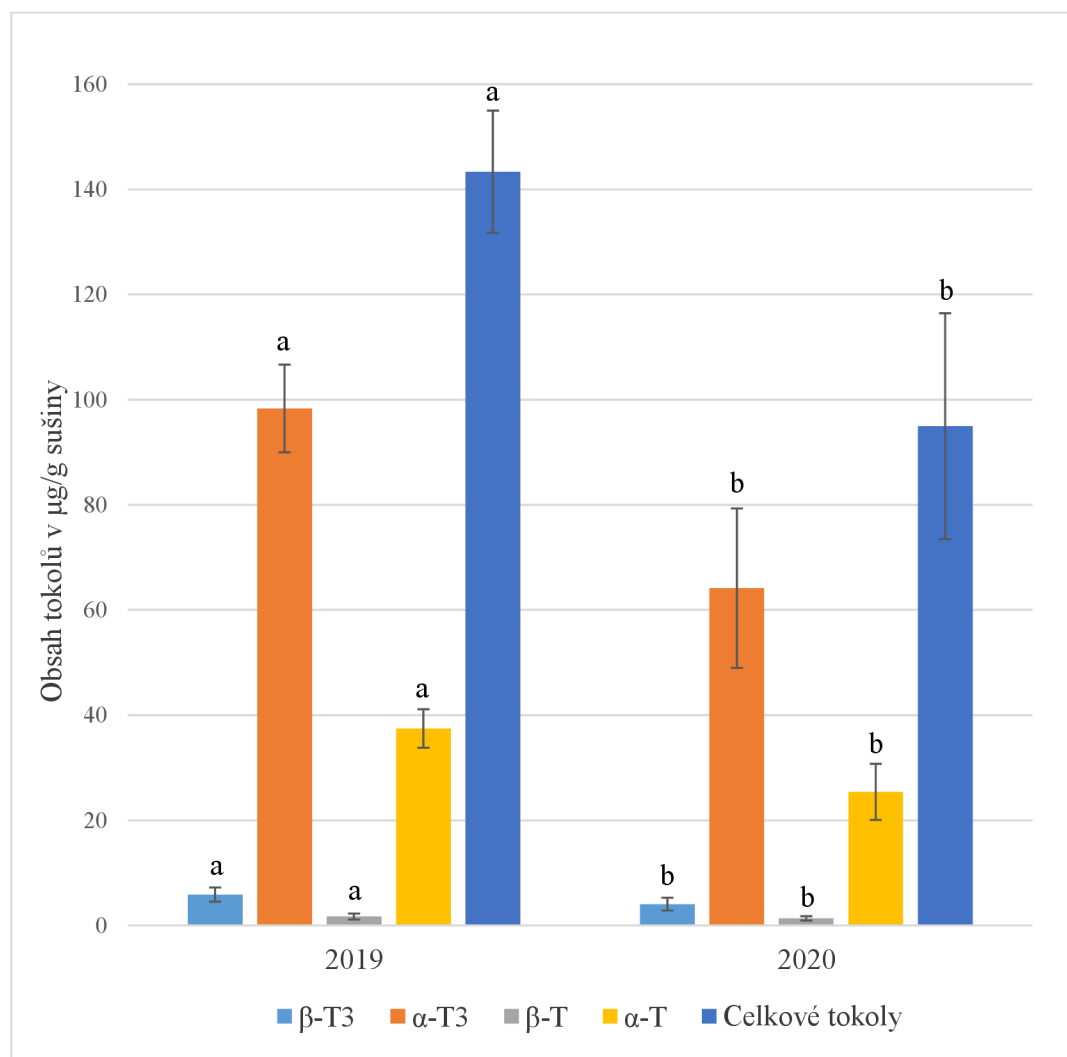
*Vysvětlivky ke grafu: Viz Graf č. 1.*

### 5.3 Vliv roku pěstování na obsah tokolů

Pro vyhodnocování vlivu roku pěstování ovsa na obsah a složení tokolů v programu Statistica byl vypočten aritmetický průměr hodnot výsledků pro roky pěstování z obou lokalit, z obou produkčních systémů, ze všech odrůd ovsa.

Rok pěstování měl ze všech sledovaných faktorů největší vliv na obsah tokolů, a to u všech sledovaných forem tokolů (viz tabulka č. 11, Statistické tabulky 4, 9, 14 a 19 v přílohách DP). V grafu č. 3 je jasně patrný významně vyšší obsah všech forem tokolů v roce 2019 oproti roku 2020. Nejmarkantnější rozdíly byly naměřeny u  $\alpha$ -tokotrienolů, kde rozdíl činil necelých 35  $\mu\text{g/g}$  sušiny a u  $\alpha$ -tokoferolů s rozdílem 12  $\mu\text{g/g}$  sušiny. Konkrétně bylo naměřeno:  $\alpha$ -T3= 98,32  $\mu\text{g/g}$  sušiny,  $\alpha$ -T= 37,46  $\mu\text{g/g}$  sušiny,  $\beta$ -T3= 5,88  $\mu\text{g/g}$  sušiny a  $\beta$ -T= 1,70  $\mu\text{g/g}$  sušiny v ovsu z roku 2019 a  $\alpha$ -T3= 64,15  $\mu\text{g/g}$  sušiny,  $\alpha$ -T= 25,40  $\mu\text{g/g}$  sušiny,  $\beta$ -T3= 4,05  $\mu\text{g/g}$  sušiny a  $\beta$ -T= 1,35  $\mu\text{g/g}$  sušiny v ovsu z roku 2020.

**Graf č. 3.** Vliv roku pěstování ovsa na obsah tokolů v zrna



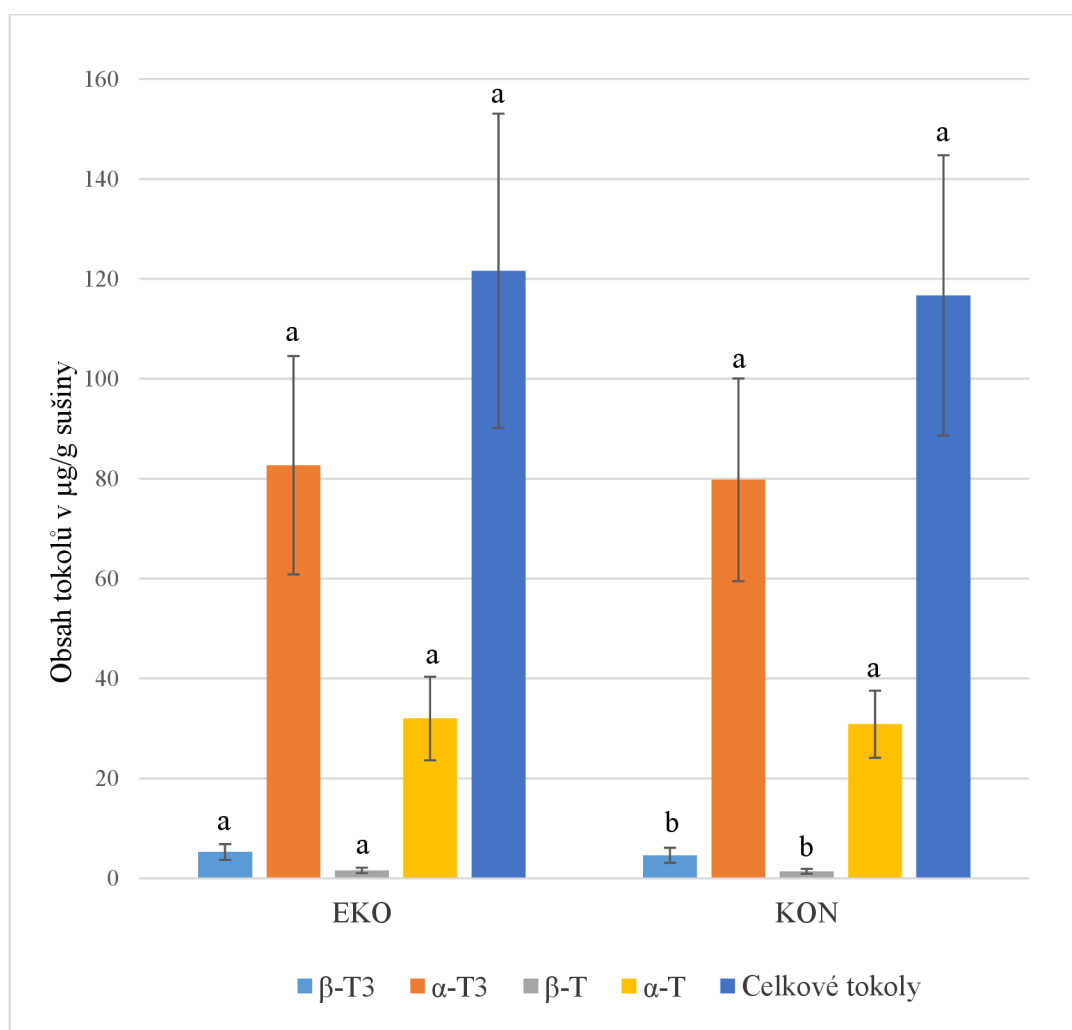
*Vysvětlivky ke grafu: Viz graf č. 1.*

## 5.4 Vliv typu pěstebního systému

Pro vyhodnocení vlivu zemědělských systémů na obsah a složení tokolů v ovsu v programu Statistica byl vypočten aritmetický průměr hodnot výsledků pro systémy z obou let sklizně, z obou lokalit, ze všech odrůd ovsa.

Vliv typu pěstebního systému na obsah tokolů byl prokázán jako statisticky významný u obou  $\beta$ -forem tokolů, celkové tokoly a  $\alpha$ -formy tokolů nebyly významně ovlivněny pěstebním systémem (viz Tabulka č. 11, Statistické tabulky 5, 10, 15, 20 a 25 v přílohách DP). Z grafu č. 4 je zřejmé, že tokoly se vyskytovaly v o něco větším množství v ovsu pěstovaném v ekologickém zemědělském systému (5,30  $\mu\text{g/g}$   $\beta$ -tokotrienolů a 1,61  $\mu\text{g/g}$   $\beta$ -tokoferolů) oproti ovsu pěstovaném konvenčním způsobem (4,63  $\mu\text{g/g}$   $\beta$ -tokotrienolů a 1,44  $\mu\text{g/g}$   $\beta$ -tokoferolů). Statisticky významně vyšší hodnoty byly naměřeny pouze u  $\beta$ -forem tokolů v ovsu pěstovaném ekologickým způsobem.

**Graf č. 4.** Vliv typu pěstebního systému na obsah tokolů v zrna



*Vysvětlivky ke grafu: Viz graf č. 1.*

Vliv pěstebního systému na obsah tokolů u jednotlivých odrůd je uveden v Tabulce č. 12. U většiny odrůd byl obsah tokolů vyšší v ekologickém pěstebním systému. Nejvýraznější rozdíl byl naměřen u  $\alpha$ -T3 v odrůdě Kertag, kde byl rozdíl v obsahu mezi produkčními systémy cca 10  $\mu\text{g/g}$  sušiny. Vyjímkou je odrůda Seldon, u které byl naměřen prokazatelně vyšší obsah všech forem tokolů v konvenčním pěstebním systému. Nejvíce byl tento rozdíl znatelný opět u  $\alpha$ -T3, které byly v konvenčním systému o necelých 7  $\mu\text{g/g}$  sušiny vyšší než v ekologickém.

**Tabulka č. 12.** Obsahy jednotlivých forem tokolů ( $\mu\text{g/g}$  sušiny) v odrůdách ovsa pěstovaných v ekologickém a konvenčním zemědělském systému

	Ekologický systém				Konvenční systém			
	$\beta$ -T3	$\alpha$ -T3	$\beta$ -T	$\alpha$ -T	$\beta$ -T3	$\alpha$ -T3	$\beta$ -T	$\alpha$ -T
<b>Korok</b>	4,69	81,11	1,31	32,00	3,73	80,85	1,22	30,70
<b>Kertag</b>	5,40	89,10	1,44	32,30	4,73	79,06	1,38	29,65
<b>Patrik</b>	5,93	82,45	1,67	32,26	4,45	72,87	1,18	29,27
<b>Raven</b>	5,65	81,65	1,78	32,24	5,28	80,18	1,45	30,39
<b>Seldon</b>	4,80	79,16	1,82	31,21	4,94	85,93	1,95	34,28

## 6 Diskuze

Z analýzy vzorků ovsa (5 odrůd ze dvou let pěstování, dvou lokalit a dvou typů produkčních systémů) byly získány výsledky, které byly následně statisticky vyhodnoceny pomocí faktoriální ANOVY. Na základě dosažených výsledků byly posuzovány vlivy jednotlivých faktorů na obsahy  $\alpha$ - a  $\beta$ - tokoferolů a tokotrienolů v zrně a rozdíly mezi nimi.

Prvním sledovaným faktorem byl vliv rozdílných genotypů ovsa na obsah tokolů v zrně. Konkrétně se jednalo o odrůdy Korok, Kertag, Seldon, Raven ovsa setého a odrůdu Patrik ovsa nahého. V této analýze bylo potvrzeno, že odrůda může mít statisticky významný vliv na obsah tokolů. Jednalo jmenovitě o rozdílnosti v  $\beta$ -tokotrienolech a  $\beta$ -tokoferolech u odrůd Korok a Seldon. Celkově měly rozdílné genotypy významný vliv na variabilitu obsahu  $\beta$ -forem tokolů (22,66 % u  $\beta$ -T3 a 4,34 % u  $\beta$ -T). U ostatních forem byl vliv zanedbatelný.

Pisacane et al. (2004) tvrdí, že  $\alpha$ -tokotrienoly zaujímají v ovse 60-80 % z celkových tokolů a podle Petersona a Quereschi (1993)  $\alpha$ -tokotrienoly a  $\alpha$ -tokoferoly tvoří společně 85-90 % celkových tokolů v ovse. V případě genotypů analyzovaných v této DP jsou dosažené výsledky ve shodě s uvedenými studiemi, přičemž průměrné hodnoty  $\alpha$ -T3 zde jsou 68,18 % a součet  $\alpha$ -T3 a  $\alpha$ -T tvoří průměrně 94,57 %. Obsahy celkových tokolů v jednotlivých odrůdách byly seřazeny sestupně v tomto pořadí: Seldon (122,04  $\mu\text{g/g}$ ) > Kertag (121,53  $\mu\text{g/g}$ ) > Raven (119,31  $\mu\text{g/g}$ ) > Korok (117,81  $\mu\text{g/g}$ ) > Patrik (115,04  $\mu\text{g/g}$ ). Tyto průměrné hodnoty byly významně vyšší než hodnoty uváděné ve většině jiných studií. Redaelli et al. (2016) detekovali v ovse celkovou koncentraci tokolů mezi 16 a 94 mg/kg v závislosti na genotypu ovsa. Ve studii Gutierrez et al. (2013) byla stanovena průměrná koncentrace tokolů v ovse 60 mg/kg. Při analýze 12 genotypů ovsa ze tří lokalit v USA byla Petersonem a Quereschinem (1993) zjištěna koncentrace tokolů cca od 19,0 do 30,3 mg/kg. Naproti tomu výsledky studie Capouchové et al. (2020), kde byly sledovány stejné odrůdy ovsa, byly velmi podobné s výsledky této DP. Celkový obsah tokolů se zde pohyboval mezi 110,9 mg/kg (kultivar Korok) až 126,5 mg/kg (kultivar Seldon). Značné rozdíly v obsazích tokolů mezi výsledky studií mohly být způsobeny jak rozdílnostmi v genotypech ovsa, různými podmínkami prostředí a pěstebními technologiemi pěstování ovsa, tak použitými postupy stanovení tokolů.

Obecně je známo, že oves nahý má oproti ovse setému (loupanému) větší obsah většiny živin (kromě škrobu), včetně antioxidačních látek. Důvodem je, že pluchaté odrůdy jsou před konzumací zbavovány slupkou, které jsou bohatým zdrojem mnoha živin zrna (Sterna et al. 2016; Gorash et al. 2017). Slupka byly zbavovány také odrůdy ovsa setého použité pro analýzu v této DP. Rozdílnosti mezi těmito druhy by tedy měly být zřetelné i ve výsledcích studie této DP, tedy nejvyšší obsah tokolů by měla obsahovat odrůda ovsa nahého – Patrik. To však nebylo potvrzeno a výsledky této analýzy vyšly přesně naopak. Oproti tomu např. ve studii Capouchové et al. (2020) u stejných odrůd ovsa vyšel obsah tokolů v odrůdě Patrik jako druhý nejvyšší. Proč výsledky této DP neodpovídaly předpokladům, není známo a bylo by potřeba další zkoumání.

Vliv lokality pěstování na obsahy tokolů v zrnech ovsa byl sledován na pokusných pozemcích ČZU Praha – Uhřetěves (PU) a JU České Budějovice (ČB). Celkový obsah tokolů v ovsu z ČB činil 121,59 µg/g sušiny a v ovsu z PU 116,71 µg/g sušiny. Největší variabilitu obsahu mezi lokalitami vykazovaly β-T3, konkrétně s rozdílem 0,36 µg/g sušiny. Přestože byl o něco málo vyšší obsah tokolů (kromě β-tokoferolů) naměřen v ovsu z lokality ČB, dle statistického zhodnocení výsledků této práce nevykazovala pěstební lokalita statisticky významné rozdíly v obsahu u žádné z forem tokolů. Naproti tomu např. ve studii Martiniho et al. (2015), kde byly sledovány vlivy genotypu, roku a lokality na obsah různých antioxidantních látek v pšenici tvrdé (*Triticum durum* L.) byl vliv lokalit shledán jako statisticky významný, i když v menší míře než ostatní faktory. To samé potvrdil ve své studii i Mpofu et al. (2006).

Nejvýznamnější ve vztahu k rozdílnostem mezi obsahy tokolů v zrnech byl v této práci vliv roku pěstování ovsa, přičemž variabilita obsahu tokolů vyjádřená jako % celkového průměru čtverců (F-test, ANOVA) činila skoro 98 %. Jednalo se o rozdíly mezi roky 2019 a 2020, přičemž vyšší obsahy tokolů připadly na rok 2019. Celkový obsah tokolů ovsa v roce 2019 činil 143,35 µg/g sušiny oproti roku 2020, kde bylo ve vzorcích naměřeno pouze 94,94 µg tokolů/g sušiny, což je skoro 50 µg rozdíl. U všech sledovaných forem tokolů byly vyhodnoceny statisticky významné rozdíly mezi hodnocenými roky pěstování. Nejvýraznější rozdíly byly naměřeny u obsahu α-tokotrienolů a α-tokoferolů, které byly o necelých 35 µg/g a 12 µg/g sušiny vyšší v roce 2019 oproti roku 2020.

Vyšší obsah tokolů v roce 2019, byl s největší pravděpodobností způsoben rozdílnými přírodními podmínkami. V hodnoceném období roku 2019 byla na obou lokalitách pěstování naměřena vyšší průměrná teplota (17,22 °C v ČB a 16,9 °C v PU) oproti roku 2020 (16,12 °C v ČB a 16,06 °C v PU) a v ČB i výrazně nižší průměrné srážky (64,02 mm) než v roce 2020 (97,62 mm). Je všeobecně známo, že rostliny ve stresových podmínkách, jako je například sucho a/nebo tepelný stres, zvyšují syntézu řady sekundárních metabolitů, včetně antioxidantů – tokolů (Konopka et al. 2012; Prinsloo & Nogemane 2018; Yang et al. 2018; Isah 2019). Ve studii Howartha et al. 2021 byl například prokázán zvýšený obsah β-glukanů v ovesném znu v souvislosti s vyššími teplotami a nižšími srážkami během měsíců dozrávání zrn. Příznivé účinky sucha a vyšších teplot na zvýšenou tvorbu tokolů potvrzují i výsledky Capouchové et al. (2020). Avšak vzhledem k tomu, že rozdíly v povětrnostních podmínkách mezi oběma hodnocenými roky nebyly příliš vysoké, dalo by se očekávat, že rozdíly v obsahu tokolů budou nižší.

Dalším cílem této práce bylo porovnání vlivu rozdílných pěstebních systémů – ekologického a konvenčního na obsah tokolů v ovesném znu. Zkoumání vlivu pěstebních systémů na obsah různých fytochemikálií bylo cílem i mnoha jiných studií. Většina z nich souhlasí se závěrem, že plodiny z ekologického zemědělství obvykle obsahují vyšší koncentrace antioxidantních látek (včetně tokolů) ve srovnání s plodinami pěstovanými konvenčně (Zuchowski et al. 2011; Barański et al. 2014; Zrcková et al. 2018).

Výsledky analýzy ovsa v této DP taktéž vykazovaly statisticky významné rozdíly v obsahu tokolů mezi EKO a KON pěstebními systémy ve prospěch EKO. Různý pěstební systém zapříčinil významnou variabilitu u β-forem tokolů, přičemž u β-T míra variability činila 14,67

% a u  $\beta$ -T3 10,87 %. Vliv pěstebního systému byl však ve srovnání s účinky roku výrazně nižší. Stejně tak tomu bylo i ve studiích Zrckové et al. (2018), Zuchowskiho et al. (2011) a Strackeho et al. (2009), kde sice byly potvrzeny statisticky významné rozdíly mezi obsahy antioxidantních látek v EKO a KON pěstebních systémech, ale nedosahovaly významnosti vlivu let pěstování s rozdílnými klimatickými podmínkami. Obsah  $\beta$ -T3 a  $\beta$ -T v ekologicky pěstovaném ovsu byl 5,295  $\mu\text{g/g}$  a 1,606  $\mu\text{g/g}$  sušiny a v konvenčně pěstovaném ovsu 4,628  $\mu\text{g/g}$  a 1,435  $\mu\text{g/g}$  sušiny. Tyto rozdíly byly prokázány jako statisticky významné. Na druhou stranu ve studii Capouchové et al. (2020) sice výsledky potvrdily statisticky významně vyšší obsah tokolů v ovsu z EKO produkce oproti konvenční, avšak u všech ostatních sledovaných antioxidantních složek (polyfenoly, fenolické kyseliny) nebyl vliv pěstebního systému statisticky průkazný.

Jedním z důvodů vyššího obsahu tokolů v EKO pěstovaném ovsu je pravděpodobně fakt, že v ekologickém zemědělství, kde není možné používat průmyslové pesticidy, mohou být rostliny vystaveny většímu riziku napadení škůdci a chorobami. Lze tedy očekávat intenzivnější syntézu antioxidantních látek (včetně tokolů) obrannými systémy rostlin (Nicholson & Hammerschmidt 1992). Částečný vliv může mít například i výběr předplodiny, což je hlavně v ekologickém zemědělství důležitý faktor. Klíčové je vybrat takovou předplodinu, která nepřitahuje stejné druhy škůdců jako cílová plodina, tedy nejlépe rostliny jiných čeledí, a která dokáže v půdě udržet nebo jí i dodat dostatek živin (Konvalina et al. 2014). Tyto potřeby byly u pokusného ovsa této DP splněny. Dalším důvodem by mohla být možná horší dostupnost některých živin, zejména dusíku, v souvislosti se zákazem používání syntetických dusíkatých hnojiv. Tato situace může mít za následek i vyšší syntézu některých fytochemikálií, které jsou součástí obranných systémů rostlin (Rühmann et al. 2002). Nicméně, jak uvádí Zuchowski et al. (2011), vyšší koncentrace tokolů v obilném zrně může být spojena také s nižší velikostí ovesných zrn ovsa z ekologického pěstebního systému. Lze předpokládat, že v menších zrnech je nižší podíl endospermu a vyšší podíl vnějších vrstev semen bohatých na antioxidanty.

## 7 Závěr

Tato diplomová práce byla zpracována s cílem stanovit obsah jednotlivých forem tokolů v zrně vybraných odrůd ovsa (Kertag, Korok, Seldon, Raven a Patrik), pěstovaných ve dvou letech (rok 2019 a 2020), na dvou odlišných lokalitách (ČZU Praha – Uhřetěves a JU České Budějovice) ve dvou typech zemědělských systémů (ekologický vs. konvenční). Dále bylo cílem vyhodnotit vliv genotypových (rozdílnosti v odrůdách) a environmentálních (lokalita, rok sklizně) faktorů a vliv zemědělského systému na obsah a složení tokolů v ovsu. Pro zhodnocení výsledků se vycházelo z hypotézy, že obsah tokolů je závislý na odrůdě, ročníku a lokalitě pěstování a že rostliny pěstované ekologickým způsobem obsahují větší množství tokolů než rostliny pěstované konvenčně.

V analyzovaných odrůdách byly stanoveny  $\alpha$ - a  $\beta$ -formy tokolů s nejvýznamnějším zastoupením  $\alpha$ -tokotrienolů (průměrně 81,24  $\mu\text{g/g}$  sušiny), následovaných  $\alpha$ -tokoferoly (31,43  $\mu\text{g/g}$ ) a v minoritních množstvích dále  $\beta$ -tokotrienoly (4,96  $\mu\text{g/g}$ ) a  $\beta$ -tokoferoly (1,52  $\mu\text{g/g}$ ).

Vliv odrůdy byl vyhodnocen jako významný pouze pro  $\beta$ -tokotrienoly a  $\beta$ -tokoferoly, a to pouze u odrůd Korok a Seldon. Největší vliv ze všech sledovaných faktorů vykazoval rok pěstování, kde hrály hlavní roli rozdíly v klimatických podmínkách, především rozdílný úhrn srážek. Náročnější podmínky pro rostliny, tedy větší sucho a vyšší teploty v roce 2019, měly za následek vyšší syntézu tokolů (143,35  $\mu\text{g/g}$ ) v ovsu než v roce 2020 (94,94  $\mu\text{g/g}$ ). Oves pěstovaný ekologickým způsobem vykazoval vyšší obsah tokolů oproti konvenčně pěstovanému, dle předpokladů. Statisticky významné však byly rozdíly jen u  $\beta$ -forem tokolů (EKO: 5,30  $\mu\text{g/g}$   $\beta$ -T3, 1,61  $\mu\text{g/g}$   $\beta$ -T; KON: 4,63  $\mu\text{g/g}$   $\beta$  T3, 1,44  $\mu\text{g/g}$   $\beta$ -T). Nepříliš významné rozdíly v obsahu tokolů mezi ekologickým a konvenčním pěstováním mohou poukazovat na fakt, že oves je velmi odolná plodina i bez používání chemických ochranných prostředků. Nepotřebuje tedy na obranu proti různým stresorům syntetizovat významně vyšší množství antioxidantních látek.

Vlivy odrůdy, ročníku a produkčního systému byly vyhodnoceny v souladu s hypotézou jako průkazné pro obě  $\beta$ -formy tokolů. Obsahy  $\alpha$ -forem tokolů byly významně ovlivněny pouze ročníkem pěstování.

Hypotéza o závislosti obsahu tokolů na lokalitě pěstování nebyla potvrzena. K prokázání hypotézy by bylo potřeba dalších výzkumů, ve kterých by například mohl být snížen počet faktorů ovlivňujících obsah tokolů v zrně ovsa. Odstranění vlivu roku – tedy i významných klimatických rozdílů, by mohlo přispět k čitelnějším projevům vlivu lokalit pěstování.



## 8 Literatura

- Alemayehu GF, Forsido SF, Tola YB, Teshager MA, Assegie AA, Amarec E. 2021. Proximate, mineral and anti-nutrient compositions of oat grains (*Avena sativa*) cultivated in Ethiopia: implications for nutrition and mineral bioavailability. *Heliyon* **7**: 2405-8440.
- Anghel L, Baroiu L, Beznea A, Grigore GTA. 2019. The Therapeutic Relevance of Vitamin E. *Revista de Chimie. Bukurešť*.
- Anwar K, Iqbal J, Hussain MM. 2007. Mechanisms involved in vitamin e transport by primary enterocytes and in vivo absorption. *Journal of Lipid Research* **48**:2028–2038.
- Azzi A. 2019. Tocopherols, tocotrienols and tocomonoenols: Many similar molecules but only one vitamin E. *Redox Biology* **26**:101259.
- Badea A, Carter A, Legge WG, Swallow K, Johnston SP, Izydorczyk MS. 2018. Tocols and oil content in whole grain, brewer's spent grain, and pearling fractions of malting, feed, and food barley genotypes. *Cereal Chemistry* **95**:779–789.
- Bajerová E et al. 2016. *Obiloviny v lidské výživě. Česká technologická platforma pro potraviny*, Praha.
- Barański M, Średnicka-Tober D, Volakakis N, Seal C, Sanderson R, Stewart GB, Benbrook C, Biavati B, Marelou E, Giotis C, Gromadzka-Ostrowska J, Rembalkowska E, Skwarlo-Sońta K, Tahvonen R, Janovská D, Niggli U, Nicot P, Leifert C. 2014. Higher antioxidant and lower cadmium concentrations and lower incidence of pesticide residues in organically grown crops: a systematic literature review and meta-analyses. *The British Journal of Nutrition* **112**:794–811.
- Biel W, Bobko K, Maciorowski R. 2009. Chemical composition and nutritive value of husked and naked oats grain. *Journal of Cereal Science* **49**:413–418.
- Boffetta P, Thies F, Kris-Etherton P. 2014. Epidemiological studies of oats consumption and risk of cancer and overall mortality. *British Journal of Nutrition* **112**:S14–S18.
- Buer CS, Muday GK, Djordjevic MA. 2007. Flavonoids Are Differentially Taken Up and Transported Long Distances in Arabidopsis. *Plant Physiology* **145**:478–490.
- Bulková V. 2011. *Rostlinné potraviny. Národní centrum ošetrovatelství a nelékařských zdravotnických oborů*. Brno.
- Butt MS, Tahir-Nadeem M, Khan MKI, Shabir R, Butt MS. 2008. Oat: unique among the cereals. *European Journal of Nutrition* **2**:68–79.
- 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 Environ* **66**: 327-333.

- Chang HC, Huang CN, Yeh DM, Wang SJ, Peng CH, Wang CJ. 2013. Oat prevents obesity and abdominal fat distribution, and improves liver function in humans. *Plant Foods for Human Nutrition* **68**:18–23.
- Charlton KE, Tapsell LC, Batterham MJ, O'Shea J, Thorne R, Beck E, Tosh SM. 2012. Effect of 6 weeks' consumption of  $\beta$ -glucan-rich oat products on cholesterol levels in mildly hypercholesterolaemic overweight adults. *The British journal of nutrition* **107**:1037–1047.
- Chen J, He J, Wildman RP, Reynolds K, Streiffer RH, Whelton PK. 2006. A randomized controlled trial of dietary fiber intake on serum lipids. *European Journal of Clinical Nutrition* **60**:62–68.
- Clemens R & van Klinken B.J. 2014. The future of oats in the food and health continuum. *British Journal of Nutrition* **112**:S75–S79.
- Combs GF, McClung JP. 2017. *The Vitamins. Fundamental Aspects in Nutrition and Health*. Academic press, 2017.
- Cristache SE, Vuta M, Marin E, Cioaca SI, Vuta M. 2018. Organic versus Conventional Farming – A Paradigm for the Sustainable Development of the European Countries. *Sustainability – MDPI* **10**:4279.
- Čurná V, Lacko-Bartošová M. 2017. Chemical composition and nutritional value of emmer wheat (*Triticum dicoccon schrank*): A review. *Journal of Central European Agriculture* **18**:117–134.
- Daou C & Zhang H. 2012. Oat beta-glucan: its role in health promotion and prevention of diseases. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, **11**:355–365.
- EFSA. 2015. European Food Safety Authority – Dietary reference values: vitamin E and cobalamin. EFSA, Italy. Available from: <https://www.efsa.europa.eu/en/press/news/150709> (accessed February 2022).
- Egeberg R, Olsen A, Loft S, Christensen J, Johnsen NF, Overvad K, Tjønneland A. 2010. Intake of wholegrain products and risk of colorectal cancers in the diet, cancer and health cohort study. *British Journal of Cancer* **103**:730–734.
- Ehrenbergerová J, Pluháčková H, Bradáčová M, Březinová Belcredi N, Benešová K, Vaculová K. 2011. Změny v obsahu a aktivitě vitamínu E jako reakce na abiotický stres odrůd ječmene jarního. *Kvasny Prum.* **7–8**:196–202.
- Engelking LR. 2015. *Textbook of Veterinary Physiological Chemistry*. Academic press, USA.
- Fajfrová MJ, Pavlík MV. 2013. Vitaminy , jejich funkce a využití. *Medicína pro praxi* **10**:81–84.

- Filippi A, Petrusa E, Braidot E. 2016. Flavonoid facilitated/passive transport: Characterization of quercetin microsomal uptake by a DPBA-dependent assay. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) – Bioenergetics* **1857**:e64.
- Flohé RB, Kelly FJ, Salonen JT, Neuzil J, Zingg JM, Azzi A. 2002. The European perspective on vitamin E: current knowledge and future research. *The American Journal of Clinical Nutrition* **76**:703–716.
- FAO. 1999. Food and Agriculture Organisation of the United Nations – Committee on agriculture. Rome.
- Frangne N, Eggmann T, Koblischke C, Weissenbock G, Martinoia E, Klein M. 2002. Flavone Glucoside Uptake into Barley Mesophyll and Arabidopsis Cell Culture Vacuoles. Energization Occurs by H<sup>+</sup>-Antiport and ATP-Binding Cassette-Type Mechanisms. *Plant Physiology* **128**:726–733.
- Fritsche S, Wang X, Jung C. 2017. Recent advances in our understanding of tocopherol biosynthesis in plants: An overview of key genes, functions, and breeding of vitamin E improved crops. *Antioxidants* **6**:20-37
- Galli F, Azzi A, Birringer M, Cook-Mills JM, Eggersdorfer M, Frank J, Cruciani G, Lorkowski S, Özer NK. 2017. Vitamin E: Emerging aspects and new directions. *Free Radical Biology and Medicine* **102**:16–36.
- Gold MV. 2007. Organic Production/Organic Food: Information Access Tools. National agricultural library U.S. department of agriculture. Available from: <https://www.nal.usda.gov/legacy/afsic/organic-productionorganic-food-information-access-tools> (accessed February 2022).
- Gorash A, Armoniene R, Fetch JM, Liatukas Ž, Danyte V. 2017. Aspects in oat breeding: nutrition quality, nakedness and disease resistance, challenges and perspectives. *Annals of Applied Biology* **171**:281-302.
- Grundy MML, Fardet A, Tosh SM, Rich GT, Wilde PJ. 2017. Processing of oat: the impact on oat's cholesterol lowering effect. *Food & Function* **9**:2
- Gutierrez-González JJ, Wise ML, Garvin DF. 2013 A developmental profile of tocol accumulation in oat seeds. *Journal of Cereal Science* **57**:79–83.
- Ho HVT. 2015. The Effect of oat and barley  $\beta$ -glucan on LDL-C and emerging clinical lipid targets for cardiovascular disease [MSc. Thesis]. University of Toronto, Toronto.
- Hofius D, Sonnewald U. 2003. Vitamin E biosynthesis: Biochemistry meets cell biology. *Trends in Plant Science* **8**:6–8.
- Howarth CJ, Martinez-Martin PMJ, Cowan AA, Griffiths IM, Sanderson R, Lister SJ, Langdon T, Clarke S, Fradgley N, Marshall AH. 2021. Genotype and Environment Affect the Grain Quality and Yield of Winter Oats (*Avena sativa L.*). *Foods* **10**:2356.

- Hou Q, Li Y, Li L, Cheng G, Sun X, Li S, Tian H. 2015. The metabolic effects of oats intake in patients with type 2 diabetes: a systematic review and meta-analysis. *Nutrients* **7**:10369–10387.
- Isah T. 2019. Stress and defense responses in plant secondary metabolites production. *Biological Research* **52**:39.
- Ismail AD, Usman DD, Chukwu O. 2016. An Evaluation of Proximate Composition on Cereal Grains for Confectionery and Pasta Production. *International Refereed Journal of Engineering and Science* **5**: 2319-183X.
- Jeandet P, Hébrard C, Deville M-A, Cordelier S, Dorey S, Aziz A, Crouzet J. 2014. Deciphering the Role of Phytoalexins in Plant-Microorganism Interactions and Human Health. *Molecules* **19**:18033–18056.
- Kim IS, Hwang CW, Yang WS, Kim CH. 2021. Multiple Antioxidative and Bioactive Molecules of Oats (*Avena sativa L.*) in Human Health. *Antioxidants* 2021 **10**:1454.
- Kimura E, Abe T, Murata K, Kimura T, Otoki Y, Yoshida T, Miyazawa T, Nakagawa K. 2018. Identification of OsGGR2, a second geranylgeranyl reductase involved in  $\alpha$ -tocopherol synthesis in rice. *Scientific Reports* **8**:1–8.
- Kiyose C. 2021. Absorption, transportation, and distribution of vitamin E homologs. *Free Radical Biology and Medicine* **177**:226-237.
- Konopka I, Tańska M, Faron A, Stępień A, Wojtkowiak K. 2012. Comparison of the Phenolic Compounds, Carotenoids and Tocochromanols Content in Wheat Grain under Organic and Mineral Fertilization Regimes. *Molecules*, **17**:12341-12356.
- Konvalina P et al. 2014. Pěstování vybraných plodin v ekologickém zemědělství. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích - Zemědělská fakulta, České Budějovice.
- Kouřimská L, Sabolová M, Horčíčka P, Rys S, Božik M. 2018. Lipid content, fatty acid profile, and nutritional value of new oat cultivars. *Journal of Cereal Science* **84**:44-48.
- Lachman J, Hejtmánková A, Orsák M, Popov M, Martinek P. 2018. Tocotrienols and tocopherols in colored-grain wheat, tritordeum and barley. *Food Chemistry* **240**:725–735.
- Martini D, Taddei F, Ciccoritti R, Pasquini M, Nicoletti I, Corradini D, D'Egidio MG. 2015. Variation of total antioxidant activity and of phenolic acid, total phenolics and yellow coloured pigments in durum wheat (*Triticum turgidum L. var. durum*) as a function of genotype, crop year and growing area. *Journal of Cereal Science* **65**:175-185.
- Martínez-Villaluenga C, Peñas E. 2017. Health benefits of oat: current evidence and molecular mechanisms. *Current Opinion in Food Science* **14**:26–31.
- Mellen PB, Walsh TF, Herrington DM. 2008. Whole grain intake and cardiovascular disease: a meta-analysis. *Nutrition, Metabolism & Cardiovascular Diseases* **18**:283–290.

- Mène-Saffrané L. 2018. Vitamin E biosynthesis and its regulation in plants. *Antioxidants* **7**:1–17.
- Mène-Saffrané L, DellaPenna D. 2010. Biosynthesis, regulation and functions of tocochromanols in plants. *Plant Physiology and Biochemistry* **48**:301–309.
- Mpofu A, Sapirstein HD, Beta T. 2006. Genotype and environmental variation in phenolic content, phenolic acid composition, and antioxidant activity of hard spring wheat. *J. Agric. Food Chem.* **54**:1265-1270.
- Clarke MW, Burnett JR, Croft KD. 2008. Vitamin E in Human Health and Disease. *Critical Reviews in Clinical Laboratory Sciences* **45**:417–450.
- Mindell E. 2004. *Earl Mindell's New Vitamin Bible*. Warner Books, New York.
- Miyazawa T, Nakagawa K, Sookwong P. 2011. Health benefits of vitamin E in grains, cereals and green vegetables. *Trends in Food Science and Technology* **22**:651–654.
- Muñoz P, Munné-Bosch S. 2019. Vitamin E in Plants: Biosynthesis, Transport, and Function. *Trends in Plant Science* **24**:1040–1051.
- NIH 2021. National Institutes of Health. Vitamin E – Facts Sheet for Health Professionals. Office of Dietary Supplements. Maryland. Available from: <https://ods.od.nih.gov/factsheets/VitaminE-HealthProfessional> (accessed March 2022).
- Nicholson RL, Hammerschmidt R. 1992. Phenolic compounds and their role in disease resistance. *Annual Reviews of Phytopathology* **30**:369–389.
- Nwachukwu ID, Devassy JG, Aluko RE, Jones PJH. 2015. Cholesterol-lowering properties of oat  $\beta$ -glucan and the promotion of cardiovascular health: did Health Canada make the right call? *Applied Physiology, Nutrition and Metabolism* **40**:535–542.
- Olivoto T, Nardino M, Carvalho IR, Follmann DN, Szarecki VJ, Ferrari M, de Pelegrin AJ, de Souza VQ. 2017. Plant secondary metabolites and its dynamical systems of induction in response to environmental factors. *African Journal of Agricultural Research*, **12**:71-84.
- Othman RA, Moghadasian MH, Jones PJH. 2011. Cholesterol-lowering effects of oat  $\beta$ -glucan. *Nutrition Reviews* **69**:299–309
- Pavlů L. 2018. *Základy pedologie a ochrany půdy*. Česká zemědělská univerzita v Praze katedra pedologie a ochrany půdy, Praha.
- Pawlak-Sprada S, Stobiecki M, Deckert J. 2011. Activation of phenylpropanoid pathway in legume plants exposed to heavy metals. Part ii. Profiling of isoflavonoids and their glycoconjugates induced in roots of lupine (*Lupinus luteus*) seedlings treated with cadmium and lead. *Acta Biochimica Polonica* **58**:217–223.
- Pellaud S, Saffrané LM. 2017. Metabolic origins and transport of vitamin E biosynthetic precursors. *Frontiers in Plant Science* **8**:1–8.

- Peterson DM, Quereshi AA. 1993. Genotype and environment effects on tocopherols of barley and oats. *Cereal Chemistry* **70**:157–162.
- Pisacane V, Redaelli R, Berardo N. 2004. Reducing time analysis for the determination of tocopherols in cereals by Normal-Phase High Performance Liquid Chromatography. *J Genet Breed* **58**:253–258
- Polin RA, Rowitch DH, Abman SH, Benitz WE, Fox WW. 2017. *Fetal and Neonatal Physiology*. Elsevier, Philadelphia.
- Poonia A, Phogat DS, Versha, Nagar S, Sharma P, Kumar V. 2022. Biochemical assessment of oat genotypes revealed variability in grain quality with nutrition and crop improvement implications. *Food chemistry* **337**: 131982.
- Priebe MG, van Binsbergen JJ, de Vos R, Vonk RJ. 2008. Whole grain foods for the prevention of type 2 diabetes mellitus. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, Issue 1.
- Prinsloo G, Nogemane N. 2018. The effects of season and water availability on chemical composition, secondary metabolites and biological activity in plants. *Phytochemistry Reviews* **17**:889–902.
- Prugar J. 2008. Kvalita rostlinných produktů na prahu 3. tisíciletí. Výzkumný ústav pivovarský a sladařský ve spolupráci s Komisí jakosti rostlinných produktů ČZV, 2008. Praha.
- Redaelli R, Dimberg L, Germeier CU, Berardo N, Locatelli S, Guerrini L. 2016. Variability of tocopherols, tocotrienols and avenanthramides contents in European oat germplasm. *Euphytica* **207**:273–292.
- Rakel D. 2018. *Integrative Medicine*. Elsevier, Philadelphia.
- Rizvi S, Raza ST, Ahmed F, Ahmad A, Abbas S, Mahdi F. 2014. The role of Vitamin E in human health and some diseases. *Sultan Qaboos University Medical Journal* **14**:157–165.
- Rodehutschord M, Rückert C, Maurer HP, Schenkel H, Schipprack W, Knudsen KEB, Schollenberger M, Laux M, Eklund M, Siegert W, Mosenthin R. 2016. Variation in chemical composition and physical characteristics of cereal grains from different genotypes. *Archives of Animal Nutrition* **70**:2, 87-107.
- Rühmann S, Leser C, Bannert M, Treutter D. 2002. Relationship between growth, secondary metabolism, and resistance of apple. *Plant Biology* **4**:137–143.
- Schuster J, Beninca G, Vitorazzi R, Bosco SMD. 2015. Effects of oats on lipid profile, insulin resistance and weight loss. *Nutrición Hospitalaria* **32**:2111–2116.
- Shamim AA et al. 2015. First-trimester plasma tocopherols are associated with risk of

- miscarriage in rural Bangladesh. *American Journal of Clinical Nutrition* **101**:294–301.
- Shebini ESM, Moaty MI, Tapozada ST, Ahmed NH, Mohamed MS, Hanna LM. 2014. Effect of whole wheat (*Triticuma estivum*) and oat (*Avena sativa*) supplements on body weight, insulin resistance and circulating omentin in obese women exhibiting metabolic syndrome criteria. *World Journal of Medical Sciences* **11**:373–381.
- Sterna V, Zute S, Brunava L. 2016. Oat Grain Composition and its Nutrition Benefice. *Agriculture and Agricultural Science Procedia* **8**:252-256.
- Stracke BA, Eitel J, Watzl B, Mäder P, Rüfer CE. 2009. Influence of the production method on phytochemical con-centrations in whole wheat (*Triticum aestivum* L.): A comparative study. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **57**:10116–10121
- Šnobl J, Pulkrábek J a kolektiv. 2007. *Základy rostlinné produkce*. Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů ČZU v Praze, Praha.
- Tapola N, Karvonen H, Niskanen L, Mikola M, Sarkkinen E. 2005. Glycemic responses of oat bran products in type 2 diabetic patients. *Nutrition, Metabolism and Cardiovascular Diseases* **15**:255–261.
- Thies F, Masson LF, Boffetta P, Kris-Etherton P. 2014 (a). Oats and CVD risk markers: a systematic literature review. *British Journal of Nutrition* **112**:S19–S30.
- Thies F, Masson LF, Boffetta P, Kris-Etherton P. 2014 (b). Oats and bowel disease: a systematic literature review. *British Journal of Nutrition* **112**:S31–S43.
- Tiwari U, Cummins E. 2009. Nutritional importance and effect of processing on tocols in cereals. *Trends in Food Science and Technology* **20**:511–520.
- Trela A, Szymańska R. 2019. Less widespread plant oils as a good source of vitamin E. *Food Chemistry* **296**:160–166.
- Van den Broeck HC, Londono DM, Timmer R, Smulders MJM, Gilissen LJWJ, Van der Meer IM. 2016. Profiling of nutritional and health-related compounds in oat varieties. *Foods* **5**: 2.
- Villegas M, Sommarin M, Brodelius PE. 2000. Effects of sodium orthovanadate on benzophenanthridine alkaloid formation and distribution in cell suspension cultures of *Eschscholtzia californica*. *Plant Physiology and Biochemistry* **38**:233–241.
- VIVO Pathophysiology. 2021. Vitamins: Introduction and Index - Vitamin E. Available from <http://www.vivo.colostate.edu/> (accessed March 2022).
- Vobořil P. 2008. BioLib.cz. – *Avena sativa* var. *Brunnea*. Copiright. Available from: <https://www.biolib.cz/cz/image/id48232/> (accessed March 2022).
- Vodrážka Z. 2002. *BIOCHEMIE*. Academia, Prague.

- Watson RR, Preedy VR, Zibadi S. 2014. *Wheat and Rice in Disease Prevention and Health*. Elsevier, London.
- Weber P, Birringer M, Blumberg JB, Eggersdorfer M, Frank J. 2019. *Vitamin E in human health*. Humana Press. Switzerland.
- Welch R. 1995. *Oat Crop: The chemical composition of oats*. Chapman and Hall, London.
- Whitehead A, Beck EJ, Tosh S, Wolever TMS. 2014. Cholesterol-lowering effects of oat  $\beta$ -glucan: a metaanalysis of randomized controlled trials. *The American Journal of Clinical Nutrition* **100**:1413–1421.
- Wolever T, Gibbs A, Brand-Miller J, Duncan A, Hart V, Lamarche B, Tosh S, Duss R. 2011. Bioactive oat beta-glucan reduces ldl cholesterol in caucasians and non-caucasians. *Nutrition Journal* **10**:130.
- Woollard DC, Indyk HE. 2003. Tocopherols - Properties and Determination. *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition* 2, pages 5789-5796. Elsevier BV, Amsterdam.
- Yang L, Wen KS, Ruan X, Zhao YX, Wei F, Wang Q. 2018. Response of Plant Secondary Metabolites to Environmental Factors. *Molecules* **23**(4):762
- Yang W, Cahoon RE, Hunter SC, Zhang C, Han J, Borgschulte T, Cahoon EB. 2011. Vitamin e biosynthesis: Functional characterization of the monocot homogentisate geranylgeranyl transferase. *Plant Journal* **65**:206–217.
- Ye Y, Ding Y, Jiang Q, Wang F, Sun J, Zhu C. 2017. The role of receptor-like protein kinases (RLKs) in abiotic stress response in plants. *Plant Cell Reports* **36**:235–242.
- Zamaratskaia G, Gerhardt K, Wendin K. 2021. Biochemical characteristics and potential applications of ancient cereals - An underexploited opportunity for sustainable production and consumption. *Trends in Food Science & Technology* **107**:114-123.
- Zdunczyk Z, Flis M, Zielinski H, Wróblewska M, Antoszkiewicz Z, Juskiewicz J. 2006 In vitro antioxidant activities of barley, husked oat, naked oat, triticale and buckwheat wastes and their influence on the growth and biomarkers of antioxidant status in rats. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **54**:4168–4175.
- Zempleni J, Suttie JW, Gregory JF III, Stover JP. 2014. *HANDBOOK OF VITAMINS*. CRC Press, Boca Raton.
- Zhang X, McGeoch SC, Megson IL, MacRury SM, Johnstone AM, Abraham P, Pearson DWM, de Roos B, Holtrop G, O’Kennedy N, Lobley GE. 2014. Oat-enriched diet reduces inflammatory status assessed by circulating cell-derived microparticle concentrations in type 2 diabetes. *Molecular Nutrition & Food Research* **58**:1322–1332.
- Zhou Y, Yu F, Luo B, Luo H, Liu C. 2019. Cytrarabine (Ara-c)promotes cell apoptosis by inhibiting the phosphorylation of Protein Kinase B (AKT/PKB). *Process Biochemistry* **82**:144–152.



- Zoppo GJ. 2007. The role of platelets in disease: central nervous system ischemia. Michelson AD, editor Platelets. Elsevier BV, Massachusett.
- Zrcková M, Capouchová I, Eliášová M, Paznocht L, Pazderů K, Dvořák P, Konvalina P, Orsák M, Štěřba Z. 2018. The effect of genotype, weather conditions and cropping system on antioxidant activity and content of selected antioxidant compounds in wheat with coloured grain. *Plant, Soil and Environment* **64**:530–538.
- Zuchowski J, Jonczyk K, Pecio L, Oleszek W. 2011. Phenolic acid concentrations in organically and conventionally cultivated spring and winter wheat. *Journal of the Science of Food and Agriculture* **91**:1089–1095.

## 9 Seznam použitých zkratk a symbolů

<b><math>\alpha</math>-TTP</b>	$\alpha$ -tokoferolový transportní protein
<b>ČB</b>	České Budějovice
<b>ČZU</b>	Česká zemědělská univerzita
<b>DDP</b>	doporučený denní příjem
<b>DP</b>	diplomová práce
<b>DMPBQ</b>	2,3-dimethyl-6-fytyl-1,4-benzochinon
<b>EFSA</b>	Evropský úřad pro bezpečnost potravin
<b>EKO</b>	ekologický
<b>FAO</b>	Organizace pro výživu a zemědělství
<b>FDA</b>	Úřad pro kontrolu potravin a léčiv
<b>GGPP</b>	geranylgeranyldifosfát
<b>HDL</b>	lipoprotein s vysokou hustotou
<b>HGA</b>	homogentisová kyselina
<b>HMG-CoA</b>	3-hydroxy-3-methylglutaryl-koenzym A
<b>HPLC/FLD</b>	vysokoúčinná kapalinová chromatografie s fluorescenční detekcí
<b>HPP</b>	p-hydroxyfenylpyruvová kyselina
<b>HPPD</b>	p-hydroxyfenylpyruvát dioxygenáza
<b>IPP</b>	isopentenylidifosfát
<b>JU</b>	Jihočeská univerzita
<b>KON</b>	konvenční
<b>MK</b>	mastné kyseliny
<b>MKS</b>	miliony klíčivých semen
<b>MPBQ</b>	2-methyl-6-fytyl-1,4-benzochinon
<b>MUFA</b>	mononenasyčené mastné kyseliny

<b>NDA panel</b>	Vědecký panel pro dietetické výrobky, výživu a alergie
<b><sup>1</sup>O<sub>2</sub></b>	singletový kyslík
<b>PP</b>	přiměřený příjem
<b>PPP</b>	fytyldifosfát
<b>PU</b>	Praha – Uhřetěves
<b>PUFA</b>	polynenasycené mastné kyseliny
<b>RFD</b>	reaktivní formy dusíku
<b>RFK</b>	reaktivní formy kyslíku
<b>SH</b>	suchá hmotnost
<b>T</b>	tokoferol
<b>T3</b>	tokotrienol
<b>TC</b>	tokoferylcykláza
<b>VLDL</b>	lipoproteiny s velmi nízkou hustotou
<b>WHO</b>	Světová zdravotnická organizace

## 10 Samostatné přílohy

**Statistická tabulka 1.** Vliv jednotlivých faktorů na obsah  $\alpha$ -tokotrienolů v zrně ovsa (F-test, ANOVA)

Efekt	Jednorozměrné testy významnosti pro $\alpha$ -T3 (Tokoly_oves_ souhrnná tabulka ke statistice)				
	Sigma-omezená parametrizace Dekompozice efektivní hypotézy				
	SČ	Stupně volnosti	PČ	F	p
Abs. člen	791898.6	1	791898.6	5348.393	0.000000
Odrůda ovsa	546.4	4	136.6	0.923	0.453513
Lokalita	274.6	1	274.6	1.854	0.176001
Rok sklizně	35022.1	1	35022.1	236.535	0.000000
Zp. pěstování	255.7	1	255.7	1.727	0.191443
Chyba	16583.0	112	148.1		

**Statistická tabulka 2.** Vliv odrůdy ovsa na obsah  $\alpha$ -tokotrienolů (Tukeyův test)

Č. buňky	Tukeyův HSD test; proměnná $\alpha$ -T3 (Tokoly_oves_ souhrnná tabulka ke statistice)		
	Homogenní skupiny, alfa = .05000 Chyba: meziskup. PČ = 148.06, sv = 112.00		
	Odrůda ovsa	$\alpha$ -T3 Průměr	l
3	Patrik	77.66	****
4	Raven	80.91	****
1	Korok	80.98	****
5	Seldon	82.54	****
2	Kertag	84.08	****

**Statistická tabulka 3.** Vliv lokality pěstování ovsa na obsah  $\alpha$ -tokotrienolů (Tukeyův test)

Č. buňky	Tukeyův HSD test; proměnná $\alpha$ -T3 (Tokoly_oves_ souhrnná tabulka ke statistice) Homogenní skupiny, alfa = .05000 Chyba: meziskup. PČ = 148.06, sv = 112.00		
	Lokalita	$\alpha$ -T3 Průměr	1
2	ČZU	79.72	****
1	JU	82.75	****

**Statistická tabulka 4.** Vliv roků sklizně ovsa na obsah  $\alpha$ -tokotrienolů (Tukeyův test)

Č. buňky	Tukeyův HSD test; proměnná $\alpha$ -T3 (Tokoly_oves_ souhrnná tabulka ke statistice) Homogenní skupiny, alfa = .05000 Chyba: meziskup. PČ = 148.06, sv = 112.00			
	Rok sklizně	$\alpha$ -T3 (Průměr)	1	2
2	2020	64.15	****	
1	2019	98.32		****

**Statistická tabulka 5.** Vliv pěstebního systému na obsah  $\alpha$ -tokotrienolů v ovsu (Tukeyův test)

Č. buňky	Tukeyův HSD test; proměnná $\alpha$ -T3 (Tokoly_oves_ souhrnná tabulka ke statistice) Homogenní skupiny, alfa = .05000 Chyba: meziskup. PČ = 148.06, sv = 112.00		
	Zp. pěstování	$\alpha$ -T3 Průměr	1
2	KON	79.78	****
1	EKO	82.70	****

**Statistická tabulka 6.** Vliv jednotlivých faktorů na obsah  $\beta$ -tokotrienolů v zrně ovsa (F-test, ANOVA)

Efekt	Jednorozměrné testy významnosti pro $\beta$ -T3 (Tokoly_oves_ souhrnná tabulka ke statistice) Sigma-omezená parametrizace Dekompozice efektivní hypotézy				
	SČ	Stupně volnosti	PČ	F	p
Abs. člen	2953.847	1	2953.847	2113.257	0.000000
Odrůda ovsa	21.349	4	5.337	3.818	0.006005
Lokalita	3.893	1	3.893	2.785	0.097922
Rok sklizně	100.397	1	100.397	71.827	0.000000
Zp. pěstování	13.373	1	13.373	9.567	0.002501
Chyba	156.550	112	1.398		

**Statistická tabulka 7.** Vliv odrůdy ovsa na obsah  $\beta$ -tokotrienolů (Tukeyův test)

Č. buňky	Tukeyův HSD test; proměnná $\beta$ -T3 (Tokoly_oves_ souhrnná tabulka ke statistice) Homogenní skupiny, alfa = .05000 Chyba: meziskup. PČ = 1.3978, sv = 112.00			
	Odrůda ovsa	$\beta$ -T3 Průměr	1	2
1	Korok	4.21		****
5	Seldon	4.87	****	****
2	Kertag	5.06	****	****
3	Patrik	5.19	****	
4	Raven	5.47	****	

**Statistická tabulka 8.** Vliv lokality pěstování ovsa na obsah  $\beta$ -tokotrienolů (Tukeyův test)

Č. buňky	Tukeyův HSD test; proměnná $\beta$ -T3 (Tokoly_oves_ souhrnná tabulka ke statistice)		
	Homogenní skupiny, alfa = .05000 Chyba: meziskup. PČ = 1.3978, sv = 112.00		
	Lokalita	$\beta$ -T3 Průměr	1
2	ČZU	4.78	****
1	JU	5.14	****

**Statistická tabulka 9.** Vliv roku sklizně ovsa na obsah  $\beta$ -tokotrienolů (Tukeyův test)

Č. buňky	Tukeyův HSD test; proměnná $\beta$ -T3 (Tokoly_oves_ souhrnná tabulka ke statistice)			
	Homogenní skupiny, alfa = .05000 Chyba: meziskup. PČ = 1.3978, sv = 112.00			
	Rok sklizně	$\beta$ -T3 Průměr	1	2
2	2020	4.05	****	
1	2019	5.88		****

**Statistická tabulka 10.** Vliv pěstebního systému na obsah  $\beta$ -tokotrienolů v ovsu (Tukeyův test)

Č. buňky	Tukeyův HSD test; proměnná $\beta$ -T3 (Tokoly_oves_ souhrnná tabulka ke statistice)			
	Homogenní skupiny, alfa = .05000 Chyba: meziskup. PČ = 1.3978, sv = 112.00			
	Zp. pěstování	$\beta$ -T3 Průměr	1	2
2	KON	4.63	****	
1	EKO	5.30		****

**Statistická tabulka 11.** Vliv jednotlivých faktorů na obsah  $\alpha$ -tokoferolů v zrnu ovsa (F-test, ANOVA)

Efekt	Jednorozměrné testy významnosti pro $\alpha$ -T (Tokoly_oves_ souhrnná tabulka ke statistice) Sigma-omezená parametrizace Dekompozice efektivní hypotézy				
	SČ	Stupně volnosti	PČ	F	p
Abs. člen	118534.9	1	118534.9	5764.914	0.000000
Odrůda ovsa	57.6	4	14.4	0.700	0.593663
Lokalita	71.7	1	71.7	3.489	0.064397
Rok sklizně	4361.1	1	4361.1	212.101	0.000000
Zp. pěstování	39.6	1	39.6	1.926	0.167908
Chyba	2302.9	112	20.6		

**Statistická tabulka 12.** Vliv odrůdy ovsa na obsah  $\alpha$ -tokoferolů (Tukeyův test)

Č. buňky	Tukeyův HSD test; proměnná $\alpha$ -T (Tokoly_oves_ souhrnná tabulka ke statistice) Homogenní skupiny, alfa = .05000 Chyba: meziskup. PČ = 20.561, sv = 112.00		
	Odrůda ovsa	$\alpha$ -T Průměr	l
3	Patrik	30.77	****
2	Kertag	30.98	****
4	Raven	31.31	****
1	Korok	31.35	****
5	Seldon	32.75	****



**Statistická tabulka 13.** Vliv lokality pěstování ovsa na obsah  $\alpha$ -tokoferolů (Tukeyův test)

Č. buňky	Tukeyův HSD test; proměnná $\alpha$ -T (Tokoly_oves_ souhrnná tabulka ke statistice) Homogenní skupiny, alfa = .05000 Chyba: meziskup. PČ = 20.561, sv = 112.00		
	Lokalita	$\alpha$ -T Průměr	1
2	ČZU	30.66	****
1	JU	32.20	****

**Statistická tabulka 14.** Vliv roku sklizně ovsa na obsah  $\alpha$ -tokoferolů (Tukeyův test)

Č. buňky	Tukeyův HSD test; proměnná $\alpha$ -T (Tokoly_oves_ souhrnná tabulka ke statistice) Homogenní skupiny, alfa = .05000 Chyba: meziskup. PČ = 20.561, sv = 112.00			
	Rok sklizně	$\alpha$ -T (Průměr)	1	2
2	2020	25.40	****	
1	2019	37.46		****

**Statistická tabulka 15.** Vliv pěstebního systému na obsah  $\alpha$ -tokoferolů v ovsu (Tukeyův test)

Č. buňky	Tukeyův HSD test; proměnná $\alpha$ -T (Tokoly_oves_ souhrnná tabulka ke statistice) Homogenní skupiny, alfa = .05000 Chyba: meziskup. PČ = 20.561, sv = 112.00		
	Zp. pěstování	$\alpha$ -T Průměr	1
2	KON	30.86	****
1	EKO	32.00	****

**Statistická tabulka 16.** Vliv jednotlivých faktorů na obsah  $\beta$ -tokoferolů v zrně ovsa (F-test, ANOVA)

Efekt	Jednorozměrné testy významnosti pro $\beta$ -T (Tokoly_oves_ souhrnná tabulka ke statistice) Sigma-omezená parametrizace Dekompozice efektivní hypotézy				
	SČ	Stupně volnosti	PČ	F	p
Abs. člen	277.4779	1	277.4779	1406.985	0.000000
Odrůda ovsa	5.4398	4	1.3600	6.896	0.000053
Lokalita	0.0710	1	0.0710	0.360	0.549597
Rok sklizně	3.6911	1	3.6911	18.716	0.000033
Zp. pěstování	0.8809	1	0.8809	4.467	0.036782
Chyba	22.0880	112	0.1972		

**Statistická tabulka 17.** Vliv odrůdy ovsa na obsah  $\beta$ -tokoferolů (Tukeyův test)

Č. buňky	Tukeyův HSD test; proměnná $\beta$ -T (Tokoly_oves_ souhrnná tabulka ke statistice) Homogenní skupiny, alfa = .05000 Chyba: meziskup. PČ = .19721, sv = 112.00			
	Odrůda ovsa	$\beta$ -T Průměr	1	2
1	Korok	1.27	****	
2	Kertag	1.41	****	
3	Patrik	1.42	****	
4	Raven	1.62	****	****
5	Seldon	1.88		****

**Statistická tabulka 18.** Vliv lokality pěstování ovsa na obsah  $\beta$ -tokoferolů (Tukeyův test)

Č. buňky	Tukeyův HSD test; proměnná $\beta$ -T (Tokoly_oves_ souhrnná tabulka ke statistice) Homogenní skupiny, alfa = .05000 Chyba: meziskup. PČ = .19721, sv = 112.00		
	Lokalita	$\beta$ -T Průměr	1
1	JU	1.50	****
2	ČZU	1.55	****

**Statistická tabulka 19.** Vliv roku sklizně ovsa na obsah  $\beta$ -tokoferolů (Tukeyův test)

Č. buňky	Tukeyův HSD test; proměnná $\beta$ -T (Tokoly_oves_ souhrnná tabulka ke statistice) Homogenní skupiny, alfa = .05000 Chyba: meziskup. PČ = .19721, sv = 112.00			
	Rok sklizně	$\beta$ -T Průměr	1	2
2	2020	1.35	****	
1	2019	1.70		****

**Statistická tabulka 20.** Vliv pěstebního systému na obsah  $\beta$ -tokoferolů v ovsu (Tukeyův test)

Č. buňky	Tukeyův HSD test; proměnná $\beta$ -T (Tokoly_oves_ souhrnná tabulka ke statistice) Homogenní skupiny, alfa = .05000 Chyba: meziskup. PČ = .19721, sv = 112.00			
	Zp. pěstování	$\beta$ -T Průměr	1	2
2	KON	1.44	****	
1	EKO	1.61		****

**Statistická tabulka 21.** Vliv jednotlivých faktorů na obsah celkových tokolů v zrně ovsa (F-test, ANOVA)

Efekt	Jednorozměrné testy významnosti pro Celkové tokoly (Tokoly_oves_ souhrnná tabulka ke statistice)				
	Sigma-omezená parametrizace Dekompozice efektivní hypotézy				
	SČ	Stupně volnosti	PČ	F	p
Abs. člen	1703502	1	1703502	5785.324	0.000000
Odrůda ovsa	786	4	197	0.668	0.615772
Lokalita	715	1	715	2.430	0.121890
Rok sklizně	70289	1	70289	238.713	0.000000
Zp. pěstování	723	1	723	2.454	0.120044
Chyba	32979	112	294		

**Statistická tabulka 22.** Vliv odrůdy ovsa na obsah celkových tokolů (Tukeyův test)

Č. buňky	Tukeyův HSD test; proměnná Celkové tokoly (Tokoly_oves_ souhrnná tabulka ke statistice)		
	Homogenní skupiny, alfa = .05000 Chyba: meziskup. PČ = 294.45, sv = 112.00		
	Odrůda ovsa	Celkové tokoly Průměr	1
3	Patrik	115.04	****
1	Korok	117.81	****
4	Raven	119.31	****
2	Kertag	121.53	****
5	Seldon	122.04	****

**Statistická tabulka 23.** Vliv lokality pěstování ovsa na obsah celkových tokolů (Tukeyův test)

Č. buňky	Tukeyův HSD test; proměnná Celkové tokoly (Tokoly_oves_ souhrnná tabulka ke statistice)		
	Homogenní skupiny, alfa = .05000 Chyba: meziskup. PČ = 294.45, sv = 112.00		
	Lokalita	Celkové tokoly Průměr	1
2	ČZU	116.71	****
1	JU	121.59	****

**Statistická tabulka 24.** Vliv roku sklizně ovsa na obsah celkových tokolů (Tukeyův test)

Č. buňky	Tukeyův HSD test; proměnná Celkové tokoly (Tokoly_oves_ souhrnná tabulka ke statistice)			
	Homogenní skupiny, alfa = .05000 Chyba: meziskup. PČ = 294.45, sv = 112.00			
	Rok sklizně	Celkové tokoly Průměr	1	2
2	2020	94.94	****	
1	2019	143.35		****

**Statistická tabulka 25.** Vliv pěstebního systému na obsah celkových tokolů v ovsu (Tukeyův test)

Č. buňky	Tukeyův HSD test; proměnná Celkové tokoly (Tokoly_oves_ souhrnná tabulka ke statistice)		
	Homogenní skupiny, alfa = .05000 Chyba: meziskup. PČ = 294.45, sv = 112.00		
	Zp. pěstování	Celkové tokoly Průměr	1
2	KON	116.69	****
1	EKO	121.60	****

**Souhrnná tabulka 26.** Souhrn všech naměřených výsledků obsahů tokolů

Odrůda ovsa	Lokalita	Rok sklizeň	Zp. pěstování	$\beta$ -T3	$\alpha$ -T3	$\beta$ -T	$\alpha$ -T	Celkové tokoly
Korok	JU	2019	EKO	5,10	94,83	0,84	35,71	136,48
Korok	JU	2019	EKO	5,23	96,60	0,89	35,23	137,94
Korok	JU	2019	EKO	5,27	97,77	0,83	37,42	141,29
Kertag	JU	2019	EKO	5,85	109,53	0,92	37,23	153,53
Kertag	JU	2019	EKO	6,03	108,45	1,08	35,93	151,49
Kertag	JU	2019	EKO	5,95	108,28	0,94	39,21	154,38
Patrik	JU	2019	EKO	7,58	97,49	1,73	36,17	142,97
Patrik	JU	2019	EKO	8,20	107,35	1,71	37,81	155,08
Patrik	JU	2019	EKO	7,61	101,91	1,43	34,83	145,78
Raven	JU	2019	EKO	8,11	102,62	2,27	37,65	150,65
Raven	JU	2019	EKO	7,68	102,65	2,23	41,15	153,71
Raven	JU	2019	EKO	8,85	112,16	2,50	41,03	164,55
Seldon	JU	2019	EKO	6,81	110,72	2,69	36,80	157,02
Seldon	JU	2019	EKO	7,46	117,09	2,56	39,04	166,15
Seldon	JU	2019	EKO	7,38	114,29	2,78	40,90	165,35
Korok	JU	2019	KON	2,09	87,98	0,72	32,71	123,50
Korok	JU	2019	KON	2,06	86,75	0,57	34,28	123,66
Korok	JU	2019	KON	2,17	85,50	0,61	33,58	121,86
Kertag	JU	2019	KON	2,62	78,95	0,79	31,59	113,95
Kertag	JU	2019	KON	4,79	86,84	1,41	32,23	125,28
Kertag	JU	2019	KON	5,01	94,18	1,50	33,44	134,14
Patrik	JU	2019	KON	5,68	84,67	1,28	34,26	125,88
Patrik	JU	2019	KON	5,74	85,65	1,15	29,54	122,08
Patrik	JU	2019	KON	5,99	90,00	1,39	33,59	130,96
Raven	JU	2019	KON	5,92	91,24	1,60	34,10	132,86
Raven	JU	2019	KON	5,79	91,05	1,80	37,92	136,55
Raven	JU	2019	KON	6,05	93,22	1,65	35,60	136,51
Seldon	JU	2019	KON	5,44	94,45	2,11	39,34	141,33
Seldon	JU	2019	KON	5,35	92,80	2,71	47,67	148,53
Seldon	JU	2019	KON	5,39	94,18	1,92	37,25	138,74
Korok	JU	2020	EKO	3,69	66,85	1,30	26,76	98,60
Korok	JU	2020	EKO	4,75	84,59	1,74	34,24	125,32
Korok	JU	2020	EKO	4,46	79,41	1,63	30,62	116,11
Kertag	JU	2020	EKO	5,53	72,05	1,49	27,64	106,71
Kertag	JU	2020	EKO	6,61	82,46	1,78	31,31	122,15
Kertag	JU	2020	EKO	6,49	82,75	1,77	31,37	122,38
Patrik	JU	2020	EKO	5,56	77,09	2,09	29,91	114,66

**Pokračování – Souhrnná tabulka 26.** Souhrn všech naměřených výsledků obsahů tokolů

Odrůda ovsa	Lokalita	Rok sklizeň	Zp. pěstování	$\beta$ -T3	$\alpha$ -T3	$\beta$ -T	$\alpha$ -T	Celkové tokoly
Patrik	JU	2020	EKO	4,89	68,78	1,86	27,01	102,54
Patrik	JU	2020	EKO	5,92	82,04	2,12	32,89	122,98
Raven	JU	2020	EKO	3,44	60,83	1,02	24,96	90,24
Raven	JU	2020	EKO	4,14	71,00	1,43	31,10	107,67
Raven	JU	2020	EKO	3,94	70,88	1,31	31,39	107,52
Seldon	JU	2020	EKO	2,95	41,28	0,86	20,35	65,45
Seldon	JU	2020	EKO	3,64	52,13	1,02	24,18	80,97
Seldon	JU	2020	EKO	3,92	57,17	1,22	25,30	87,61
Korok	JU	2020	KON	4,59	77,44	1,47	26,48	109,97
Korok	JU	2020	KON	6,15	103,61	1,89	35,40	147,05
Korok	JU	2020	KON	5,30	89,15	1,73	31,17	127,35
Kertag	JU	2020	KON	4,98	62,32	1,49	24,12	92,90
Kertag	JU	2020	KON	5,57	67,63	1,71	28,47	103,38
Kertag	JU	2020	KON	6,50	74,66	1,96	31,81	114,93
Patrik	JU	2020	KON	2,64	52,04	1,01	23,35	79,04
Patrik	JU	2020	KON	2,99	60,01	1,11	28,55	92,65
Patrik	JU	2020	KON	2,69	52,67	1,02	25,83	82,20
Raven	JU	2020	KON	3,54	49,87	0,88	21,81	76,10
Raven	JU	2020	KON	5,05	71,60	1,22	29,02	106,90
Raven	JU	2020	KON	5,49	75,05	1,35	32,51	114,40
Seldon	JU	2020	KON	2,33	40,99	0,82	16,46	60,60
Seldon	JU	2020	KON	3,71	58,11	1,35	26,41	89,57
Seldon	JU	2020	KON	3,87	61,24	1,57	28,49	95,18
Korok	ČZU	2019	EKO	6,60	88,69	1,68	40,08	137,05
Korok	ČZU	2019	EKO	4,72	94,12	1,75	41,17	141,75
Korok	ČZU	2019	EKO	6,84	90,75	1,67	39,86	139,12
Kertag	ČZU	2019	EKO	5,54	101,80	1,58	37,50	146,41
Kertag	ČZU	2019	EKO	5,32	96,87	1,82	39,59	143,60
Kertag	ČZU	2019	EKO	5,56	105,20	1,88	39,92	152,56
Patrik	ČZU	2019	EKO	5,77	93,47	1,42	40,48	141,14
Patrik	ČZU	2019	EKO	5,92	94,71	1,69	44,06	146,38
Patrik	ČZU	2019	EKO	6,28	96,84	1,60	39,51	144,22
Raven	ČZU	2019	EKO	6,00	90,60	1,89	38,80	137,29
Raven	ČZU	2019	EKO	6,81	102,45	1,81	38,20	149,27
Raven	ČZU	2019	EKO	6,62	96,20	2,08	38,42	143,32
Seldon	ČZU	2019	EKO	5,79	103,20	2,74	46,18	157,92
Seldon	ČZU	2019	EKO	5,90	105,75	2,55	41,20	155,40
Seldon	ČZU	2019	EKO	6,37	107,99	2,63	45,78	162,77

**Pokračování – Souhrnná tabulka 26.** Souhrn všech naměřených výsledků obsahů tokolů

Odrůda ovsa	Lokalita	Rok sklizeň	Zp. pěstování	$\beta$ -T3	$\alpha$ -T3	$\beta$ -T	$\alpha$ -T	Celkové tokoly
Korok	ČZU	2019	KON	4,95	95,05	1,66	38,44	140,11
Korok	ČZU	2019	KON	4,62	87,94	1,53	34,16	128,25
Korok	ČZU	2019	KON	5,20	97,99	1,83	39,62	144,64
Kertag	ČZU	2019	KON	5,35	99,78	1,56	34,08	140,77
Kertag	ČZU	2019	KON	5,84	102,51	1,69	34,29	144,33
Kertag	ČZU	2019	KON	5,09	95,52	1,41	30,04	132,06
Patrik	ČZU	2019	KON	6,21	97,25	1,41	36,58	141,46
Patrik	ČZU	2019	KON	6,28	99,40	1,47	38,19	145,33
Patrik	ČZU	2019	KON	6,18	99,22	1,66	39,38	146,44
Raven	ČZU	2019	KON	6,81	100,00	1,59	32,19	140,59
Raven	ČZU	2019	KON	7,64	112,76	2,03	38,53	160,95
Raven	ČZU	2019	KON	7,47	109,56	1,77	34,99	153,80
Seldon	ČZU	2019	KON	5,87	105,52	2,31	37,92	151,60
Seldon	ČZU	2019	KON	5,81	103,18	2,25	36,59	147,83
Seldon	ČZU	2019	KON	5,99	105,63	2,24	38,51	152,38
Korok	ČZU	2020	EKO	2,34	44,22	0,89	15,92	63,37
Korok	ČZU	2020	EKO	3,80	71,41	1,34	23,54	100,09
Korok	ČZU	2020	EKO	3,51	64,12	1,21	23,50	92,34
Kertag	ČZU	2020	EKO	4,30	75,84	1,44	26,20	107,79
Kertag	ČZU	2020	EKO	4,18	71,53	1,50	24,51	101,72
Kertag	ČZU	2020	EKO	3,39	54,50	1,13	17,25	76,26
Patrik	ČZU	2020	EKO	4,23	53,08	1,43	19,99	78,74
Patrik	ČZU	2020	EKO	4,65	57,25	1,45	21,52	84,87
Patrik	ČZU	2020	EKO	4,57	59,38	1,49	22,94	88,39
Raven	ČZU	2020	EKO	4,01	50,49	1,29	19,55	75,34
Raven	ČZU	2020	EKO	4,11	60,92	1,80	22,76	89,59
Raven	ČZU	2020	EKO	4,15	59,00	1,75	21,86	86,77
Seldon	ČZU	2020	EKO	3,78	56,23	1,62	19,77	81,40
Seldon	ČZU	2020	EKO	1,73	40,03	0,63	16,81	59,19
Seldon	ČZU	2020	EKO	1,90	44,02	0,58	18,22	64,71
Korok	ČZU	2020	KON	2,33	52,65	0,87	22,69	78,54
Korok	ČZU	2020	KON	2,48	49,14	0,96	18,92	71,49
Korok	ČZU	2020	KON	2,86	57,00	0,80	20,90	81,55
Kertag	ČZU	2020	KON	2,93	58,34	1,04	22,38	84,69
Kertag	ČZU	2020	KON	4,77	73,83	1,19	30,08	109,88
Kertag	ČZU	2020	KON	3,31	54,11	0,83	23,23	81,48
Patrik	ČZU	2020	KON	3,47	53,92	0,82	22,33	80,53
Patrik	ČZU	2020	KON	2,80	49,06	0,90	18,82	71,58



**Pokračování – Souhrnná tabulka 26.** Souhrn všech naměřených výsledků obsahů tokolů

Odrůda ovsa	Lokalita	Rok sklizeň	Zp. pěstování	$\beta$ -T3	$\alpha$ -T3	$\beta$ -T	$\alpha$ -T	Celkové tokoly
Patrik	ČZU	2020	KON	2,75	50,54	0,96	20,81	75,06
Raven	ČZU	2020	KON	3,40	57,33	0,93	21,93	83,58
Raven	ČZU	2020	KON	3,34	58,89	1,25	22,37	85,86
Raven	ČZU	2020	KON	2,89	51,56	1,30	23,64	79,39
Seldon	ČZU	2020	KON	3,57	63,10	1,53	26,47	94,67
Seldon	ČZU	2020	KON	5,94	105,46	2,30	37,40	151,10
Seldon	ČZU	2020	KON	6,04	106,48	2,26	38,82	153,60