Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra chemie

Obsah selenu a jodu ve vybraných potravinách

Diplomová práce

Autor práce: Bc. Martina Erbanová

Obor studia: Kvalita a zpracování zemědělských produktů

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

© 2020 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "Obsah selenu a jodu ve vybraných potravinách" jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucí 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 24. 7. 2020 _____

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala vedoucí mé diplomové práce, paní doc. Ing. Aleně Hejtmánkové, CSc., za věnovaný čas a příjemnou spolupráci při konzultacích, poskytnutí cenných rad a připomínek, které mi pomohly práci dokončit. Také bych ráda poděkovala Ing. Tereze Michlové, Ph.D. a Ing. Lukášovi Prausovi za pomoc, trpělivost a milou spolupráci při stanovení obsahu selenu a jodu v potravinách.

Dále bych chtěla poděkovat své rodině za zázemí, velkou podporu při studiu a důvěru, kterou ve mě vložili, protože bez nich by mé studium nebylo uskutečnitelné. V neposlední řadě chci poděkovat všem, kteří mě podporovali.

Obsah selenu a jodu ve vybraných potravinách

Souhrn

Selen a jod jsou základní stopové prvky, jejichž význam je pro organismus lidí i zvířat nezastupitelný. Oba tyto prvky se vyskytují v potravinách rostlinného i živočišného původu, nicméně jejich obsah v potravinách je ovlivněn především prostředím, půdou a použitými hnojivy, stravou zvířat, krmivy obohacenými o tyto prvky i metodou úpravy potravin.

V poslední době jsou ekologické potraviny považovány za zdravější a šetrnější k životnímu prostředí oproti konvenčním potravinám, jelikož při jejich produkci nejsou používány hormony, antibiotika a synteticky vyrobené chemikálie (například pesticidy a hnojiva). Dnes jsou potraviny vyprodukované z ekologického zemědělství dostupnější ve větších supermarketech, jejich konzumace roste a spotřebitelé jsou ochotni za ně zaplatit více. Očekává se, že počet farem produkujících biopotraviny se bude stále zvyšovat.

V této diplomové práci bylo analyzováno celkem 10 komodit potravin, konkrétně brambory, cibule, čokolády, jablka, kuřecí játra, kuřecí prsní řízky, plnotučná kravská mléka, rýže, vejce a ryby. Pomocí metod HG-AAS a ICP-MS byl stanoven obsah selenu a jodu v 56 vybraných vzorcích potravin (23 vzorků z ekologické a 33 vzorků z konvenční produkce).

Nejvyšší průměrný obsah selenu i jodu byl stanoven ve vzorcích žloutků z ekologické produkce, a to 724,5 ± 130,0 $\mu g.kg^{-1}$ selenu a 1735,1 ± 767,1 $\mu g.kg^{-1}$ jodu. Naopak nejnižší průměrné množství selenu bylo detekováno v bramborách (1,8 ± 1,1 $\mu g.kg^{-1}$). Nejnižší obsah jodu vykazovala jablka, ve kterých bylo vždy množství jodu pod mezí detekce (< 8,0 $\mu g.kg^{-1}$).

Největší rozdíly v obsahu selenu v rámci jedné skupiny potravin vykazovaly vzorky ekologicky vypěstované cibule, v případě jodu se jednalo o vzorky mořských ryb. Naopak nejnižší variabilitu v množství selenu měly vzorky plnotučných kravských mlék z konvenční produkce, zatímco nejnižší rozdíly v obsazích jodu byly zjištěny ve vzorcích brambor, které pocházely z ekologické produkce.

Statisticky významně vyšší množství selenu v potravinách z ekologické produkce bylo zjištěno pouze v kuřecích játrech a rýžích. Mírně vyšší průměrný obsah selenu v ekologické oproti konvenční produkci byl stanoven ve vzorcích brambor, cibulí, jablek a vaječných žloutků. Statisticky významně vyšší obsahy jodu v potravinách z ekologické produkce byly prokázány ve vzorcích brambor, čokolád, rýží a vaječných bílků. Lehce vyšší průměrné množství jodu v ekologické produkci bylo stanoveno také ve vzorcích cibulí, kuřecích prsních řízků a vaječných žloutků.

Statisticky významně vyšší obsah selenu ve srovnání s dalšími sledovanými komoditami potravin byl stanoven pouze ve vzorcích kuřecích jater, žloutků a ryb. Rozdíly v průměrném obsahu selenu v dalších sledovaných potravinách nejsou statisticky významné. Signifikantně vyšší průměrný obsah jodu v analyzovaných vzorcích potravin byl stanoven pouze ve vzorcích vaječných žloutků. Vyšší obsahy jodu lze obecně očekávat ve vzorcích ryb, v některých druzích mořských i statisticky významné. Průměrné obsahy jodu v dalších analyzovaných komoditách potravin nevykazují statisticky významné rozdíly.

Klíčová slova: selen, jod, výživa, ekologická produkce, konvenční produkce

Selenium and iodine content in selected food

Summary

Selenium and iodine are basic trace elements with irreplaceable importance for both, humans and animals. These elements occur in foodstuffs of plant and animal origin, however, their content is mainly influenced by the environment, soil and used fertilizers, animal nutrition, enriched feed with these elements, and also by the food processing method.

Nowadays, organic foodstuffs are considered healthier and more environmentally friendly than conventional ones because hormones, antibiotics, and synthetically produced chemicals (such as pesticides and fertilizers) are not used during their production. Currently, foodstuffs produced by organic farming are available mostly in larger supermarkets, their consumption is increasing and consumers are willing to pay even more for them. It is expected that the number of organic farms is about to increase steadily.

In this diploma thesis, 10 foodstuff commodities were analysed; namely potatoes, onions, chocolate, apples, chicken liver, chicken breast fillets, whole cow's milk, rice, eggs and fishes. Using HG-AAS and ICP-MS methods, the selenium and iodine contents were determined in 56 selected foodstuff samples (23 samples from organic and 33 samples from conventional production).

The highest average content of selenium and iodine was detected in yolks from organic production, namely 724.5 ± 130.0 $\mu g.kg^{-1}$ of selenium and 1735.1 ± 767.1 $\mu g.kg^{-1}$ of iodine. In contrast, the lowest average amount of selenium was detected in potatoes (1.8 ± 1.1 $\mu g.kg^{-1}$). The lowest iodine content was found in apples with the amount of iodine always below the limit of detection (< 8.0 $\mu g.kg^{-1}$).

The largest differences in selenium content within one foodstuff commodity were observed in samples of organic onions, in case of iodine in samples of marine fishes. In contrast to that, samples of whole cow's milk from conventional production was detected the lowest variability in the amount of selenium, while the lowest differences in iodine contents were found in samples of potatoes from organic production.

Statistically significantly higher amounts of selenium in organic foodstuffs were found only in chicken liver and rice. Slightly higher average content of selenium in organic production compared to conventional was detected in samples of potatoes, onions, apples and egg yolks. Statistically significantly higher iodine contents in organic foodstuffs were found in samples of potatoes, chocolate, rice and egg whites. Slightly higher average amount of iodine in organic products was also determined in samples of onions, chicken breast fillets and egg yolks.

Statistically significantly higher selenium content, in comparison with other monitored foodstuff commodities, was detected only in samples of chicken liver, yolks and fishes. The differences in average selenium content in other monitored foodstuffs are not statistically significant. Significantly higher average iodine content was determined only in egg yolk samples. Higher iodine contents can be generally expected in fishes. In some marine species could be even statistically significant. The average iodine contents in the other analysed foodstuff commodities do not show statistically significant differences.

Keywords: selenium, iodine, nutrition, organic production, conventional production

Obsah

1 Úvod 1

2 Vědecké hypotézy a cíle práce 2

2.1 Vědecké hypotézy 2

2.2 Cíle práce 2

3 Přehled literatury (literární rešerše) 3

3.1 Selen 3

3.1.1 Charakteristika selenu 3

3.1.2 Biochemické funkce selenu 4

3.1.3 Metabolismus selenu 5

3.1.4 Výskyt selenu v životním prostředí 7

3.1.5 Výskyt selenu v organismu 9

3.1.5.1 Nedostatek selenu 10

3.1.5.2 Nadbytek selenu 11

3.2 Jod 12

3.2.1 Charakteristika jodu 12

3.2.2 Biochemické funkce jodu 12

3.2.3 Metabolismus jodu 13

3.2.4 Výskyt jodu v životním prostředí 15

3.2.5 Výskyt jodu v organismu 16

3.2.5.1 Nedostatek jodu 17

3.2.5.2 Nadbytek jodu 20

3.3 Potravinové zdroje selenu a jodu 21

3.4 Ekologická a konvenční produkce 24

3.4.1 Ekologická produkce 24

3.4.2 Konvenční produkce 25

3.4.3 Rozdíl mezi ekologickou a konvenční produkcí 25

4 Materiál a metody 27

4.1 Použité přístroje, zařízení a pomůcky 27

4.2 Použité chemikálie 28

4.3 Materiál 28

4.4 Analytické metody pro stanovení selenu a jodu 29

4.4.1 Stanovení selenu 29

4.4.2 Stanovení jodu 30

4.4.3 Meze detekce a meze stanovitelnosti selenu a jodu 31

5 Výsledky 32

5.1 Obsah selenu a jodu ve vybraných vzorcích potravin dle produkce 33

5.1.1 Brambory 33

5.1.2 Cibule 35

5.1.3 Čokolády 37

5.1.4 Jablka 39

5.1.5 Kuřecí játra 41

5.1.6 Kuřecí prsní řízky 43

5.1.7 Plnotučná kravská mléka 45
5.1.8 Rýže 47
5.1.9 Vejce 49
5.1.9.1 Bílky 49
5.1.9.2 Žloutky 51
5.1.10 Ryby 53
5.2 Obsah selenu a jodu ve vybraných potravinách 55
5.2.1 Rozdíly v obsahu selenu v potravinách 59
5.2.2 Rozdíly v obsahu jodu v potravinách 59
6 Diskuze 60
6.1 Porovnání stanovených obsahů Se a I v potravinách s jinými studiemi 60
6.2 Vyhodnocení hypotézy 1 63
6.3 Vyhodnocení hypotézy 2 65
7 Závěr 66
8 Seznam literatury 67
9 Seznam obrázků, tabulek a grafů 74
9.1 Seznam obrázků 74
9.2 Seznam tabulek 76
9.3 Seznam grafů 77
10 Seznam použitých zkratek a symbolů 78

1 Úvod

Lidské tělo vyžaduje určité základní prvky v malém množství a jejich nepřítomnost nebo naopak nadměrný příjem do organismu může mít za následek selhání těla či různá onemocnění, jelikož tyto prvky přímo ovlivňují metabolické a fyziologické procesy v organismu. Strava a výživa ovlivňují imunitu, orální i systémová onemocnění, tělesný a duševní růst nebo účinnost stopových prvků (Bhattacharya et al. 2016).

Selen je stopový prvek, který je důležitou součástí antioxidačních enzymů, především glutathionperoxidázy (Bhattacharya et al. 2016). Selen hraje zásadní roli v metabolismu hormonů štítné žlázy a může ovlivňovat nedostatek jodu v organismu. Snížený příjem selenu však může způsobit onemocnění srdce, tzv. Keshanovu chorobu (Arthur et al. 1999). Zvýšené dávky selenu se u člověka projevují zánětem dýchacích cest, plicním edémem, krvácivostí, kožními změnami a depresemi. Ve vážných případech může nastat žloutenka, cirhóza jater, selhání ledvin nebo vypadávání zubů, vlasů a nehtů (Velíšek & Hajšlová 2009).

Obsah selenu v potravinách je v České republice kvůli jeho stopovým koncentracím v půdě velmi nízký, proto je třetina až polovina české populace v mírném až vážném deficitu selenu. Selen je v potravinách ve formě selenových aminokyselin, které jsou součástí molekuly proteinů. V rostlinných potravinách závisí obsah selenu na půdě, v níž byly pěstovány, a použitém hnojivu. Obsah selenu v živočišných potravinách je odvozen od výživy zvířat, respektive obsahu selenu v krmivech (Velíšek & Hajšlová 2009).

Jod je životně důležitý mikroprvek potřebný ve všech fázích života, přičemž rané dětství a těhotenské období jsou nejkritičtějšími fázemi. Jod je základní složkou hormonů štítné žlázy, hraje důležitou roli ve fungování příštítných tělísek, podporuje celkový růst a vývoj v těle a v neposlední řadě napomáhá metabolismu člověka i zvířat (Chitturi et al. 2015). V organismu může být obsah jodu nedostatečný či nadbytečný, přičemž nedostatek jodu se v lidské populaci vyskytuje častěji. Nejčastější příznaky nedostatku jsou extrémní únava, podrážděnost, duševní poruchy, přibývání na váze, nateklé tváře, zácpa a letargie (Bhattacharya et al. 2016).

Obsah jodu v rostlinných potravinách je závislý na koncentraci jodu v půdě, ve které byly produkty vypěstovány. Obsah jodu v potravinách živočišného původu je závislý na koncentraci jodu v krmivech zvířat, suplementaci krmiv jodem nebo na použití veterinárních léčiv, které obsahují jod. Obsah jodu v potravinách se může zvýšit použitím kuchyňské soli, která je obohacená o jod ve formě jodidu nebo jodičnanu sodného (Velíšek & Hajšlová 2009).

Selen i jod jsou nezbytné prvky pro fungování štítné žlázy, metabolické a biosyntetické procesy, které se zde odehrávají. Jod je strukturní složkou hormonů štítné žlázy trijodtyroninu a tyroxinu, selen je složkou selenoproteinů, které se podílejí na metabolismu štítné žlázy a její funkci (Schomburg & Köhrle 2008). Metabolismus jodu ve štítné žláze a v organismu je závislý na přívodu selenu do těla. Selen je nezbytnou součástí enzymů zvaných dejodáz, které ovlivňují tvorbu a odbourávání trijodtyroninu a tyroxinu. Choroby z deficitu jodu mohou vzniknout i při hraničně sníženém přívodu jodu do těla, který by ale organismus při dostatku selenu dokázal kompenzovat. Proto je nutné oba tyto prvky přijímat potravou v doporučeném denním množství (Pavlata et al. 2005; Zamrazil & Čeřovská 2014). Tělo dospělého jedince obsahuje přibližně 15 mg selenu a 10 – 30 mg jodu a mělo by za den přijmout 30 – 70 μg selenu a 150 – 200 μg jodu (Velíšek & Hajšlová 2009; Referenční hodnoty pro příjem živin 2011).

2 Vědecké hypotézy a cíle práce

2.1 Vědecké hypotézy

Dle dostupné odborné literatury byly stanoveny tyto vědecké hypotézy diplomové práce:

- obsah selenu a jodu ve stejných potravinách závisí na jejich původu (H_1),
- obsah selenu a jodu v různých potravinách se liší (H_2).

2.2 Cíle práce

Předmětem této práce je literární rešerše, která je zaměřená na obsah selenu a jodu ve vybraných potravinách, na jejich výskyt a funkce v organismu. Hlavním cílem diplomové práce je stanovení selenu a jodu ve vybraných potravinách a porovnání jejich obsahu v potravinách různého původu (ekologická a konvenční produkce) pomocí statistických metod. Dalším cílem diplomové práce je poskytnout ucelený přehled o potravinových zdrojích selenu a jodu a o jejich významu pro člověka.

Pomocí literárních a dalších informačních zdrojů je cílem nashromáždit poznatky týkající se selenu a jodu, převážně jejich výskytu v přírodě a organismu a dále jejich nedostatku či nadbytku v organismu.

Práce má přinést přehled, v jakých potravinách lze tyto prvky najít, zda obsah těchto dvou prvků závisí na původu potravin, ze kterých pocházejí, a v neposlední řadě by tato práce měla přinést přehled o tom, jaký mají tyto prvky význam ve výživě.

3 Přehled literatury (literární rešerše)

3.1 Selen

3.1.1 Charakteristika selenu

Selen je chemický prvek s protonovým číslem 34 řazený mezi polokovy. Je druhým prvkem 16. skupiny (VI. A) periodické soustavy prvků, skupiny chalkogenů, kde se nachází společně s kyslíkem, sírou, tellurem a poloniem (Jursík 2001). Selen byl izolován v roce 1817 švédským chemikem Jönsem Jacobem Berzeliem. Až později se ukázalo, že ve vyšších koncentracích je karcinogenní, mutagenní a teratogenní (Triggiani et al. 2009; Mehdi et al. 2013), ale připisují se mu i určité antikarcinogenní účinky a zmírňuje toxické účinky arsenu, kadmia, rtuti, telluru a thalia (Velíšek & Hajšlová 2009).

Chemická značka Se pochází z latinského názvu *Selenium* (Selene – bohyně měsíce), v českém chemickém názvosloví však v 19. století proběhl zajímavý historický vývoj slova „selen“. Přírodovědci Amerling, Jungmann, Presl a Rieger nazývali selen například lunjk, luník, švábel a selén. Selen (švábel) patřil společně se sírou a tellurem (župelem) do skupiny prvkové sířiví aneb k síře podobní (Amerling 1852).

Základní stav elektronové konfigurace chalkogenů je ns^2np^4 se dvěma nepárovými elektrony v orbitalech p, proto mají ve valenční sféře 6 elektronů. Ve sloučeninách se vyskytuje v oxidačním stupni -II, -I, 0, I, IV, VI. Selen tvoří sloučeniny například s vodíkem (H_2Se), kyslíkem (SeO_3) nebo halogeny (Se_2Cl_2, Se_2Br_2, SeF_4, $(SeCl_4)_4$, $(SeBr_4)_4$, SeF_6). Za standardních podmínek (v elementárním stavu) se vyskytuje v barevných krystalických formách (šedé a tmavě červené) (obr. 1), které jsou stabilní. Šedý selen je elektricky vodivý (Jursík 2001).

Obrázek 1: Krystalické formy selenu

Selen je nerozpustný ve vodě, dobře se rozpouští v sirouhlíku (CS_2). Jeho bod tání je 220,5 °C, bod varu nastává při 685 °C. Díky uspořádání atomů v modifikacích se podobá atomům síry v osmiatomových molekulách. Se sírou má stejnou afinitu k těžkým kovům

(kadmium, stříbro a rtuť). V porovnání selenu a síry je selen elektricky vodivější a kovovější, rozdíl mezi selenem a sírou je ve velikosti atomů, energii vazeb a stabilitě vyšších oxidačních stavů. V mnoha sloučeninách se mohou atomy selenu a síry vzájemně zastupovat (například dvojice $S_2O_3^{2-}$ a $SSeO_3^{2-}$). Kovalentní vazby k jiným prvkům jsou slabší a sloučeniny tvořené selenem jsou ve vyšších oxidačních stavech méně stálé než sloučeniny síry. V praxi toto způsobuje například neschopnost kyseliny sírové oxidovat chlorovodík, zatímco kyselina selenová ho oxiduje: $H_2SeO_4 + 2\ HCl \rightarrow Cl_2 + H_2SeO_3$ (Jursík 2001).

Selen je při běžných teplotách stabilní a neoxiduje. Při záhřevu selenu se vytváří modrý plamen a vzniká oxid seleničitý (SeO_2) s charakteristickým nepříjemným zápachem. Oxid seleničitý je ve vodě rozpustný a tvoří kyselinu seleničitou (H_2SeO_3), která je bezbarvá a používá se jako oxidační činidlo. Z oxidu selenového (SeO_3) vzniká ve vodě kyselina selenová (H_2SeO_4), která je silnějším oxidačním činidlem než kyselina sírová. Kyselina selenová dokáže rozpouštět některé drahé kovy. Pokud reaguje selen s kovy, vznikají selenidy. Při reakci selenidů alkalických kovů a kovů alkalických zemin s vodou vzniká selan (H_2Se – selenid vodíku). Dalším způsobem, jak může selan vzniknout, je reakce selenu s vodíkem, podmínkou je vysoká teplota (400 °C). Selan je velmi reaktivní toxická látka považována za nejjedovatější sloučeninu selenu (smrtelná koncentrace je 0,05 $mg.kg^{-1}$ při expozici 8 hodin) (Mehdi et al.2013).

3.1.2 Biochemické funkce selenu

Selen je hlavní strukturní složkou mnoha enzymů označovaných jako „selenoproteiny“ obsahujících selen jako zbytek selenocysteinu. V lidském těle existuje nejméně 25 různých selenoproteinů a řada následných izoforem, z nich jsou zvláště důležité funkce glutathionperoxidázy, thioredoxin reduktázy, dejodázy a selenoproteinu P. Za méně důležité se považují selenoproteiny I, K, N, O, R, T, V, W a selenofosfát syntetáza (Kieliszek & Błażejak 2013).

Selenoproteiny hrají důležitou roli v biologických funkcích, jako je například antioxidační obrana, tvorba hormonů štítné žlázy, syntéza DNA, plodnost a reprodukce. V organismu lze selen převést na různé metabolity s odlišnou funkcí. Například methylselenol hraje důležitou roli v prevenci rakoviny. Selen i vitamin E hrají důležitou roli ve svalové funkci tím, že zlepšují vytrvalost a zotavení a zpomalují proces stárnutí (Mehdi et al. 2013).

Glutathionperoxidáza i thioredoxin reduktáza regulují buněčnou redoxní rovnováhu sloučenin a hrají roli v apoptóze. Dejodázy se podílejí na funkci štítné žlázy a kontrolují hladinu hormonů štítné žlázy, trijodtyroninu a tyroxinu (Thiry et al. 2012). Selenoprotein P je nejhojněji zastoupeným selenoproteinem v plazmě a pravděpodobně působí jako přenašeč selenu mezi játry a jinými orgány (například mozkem, ledvinami a varlaty) (Burk et al. 2006). Glutathionperoxidáza, thioredoxin reduktáza a dejodázy hrají důležitou roli v antioxidaci, reprodukci, funkci svalů a prevenci nádorů. V roce 1973 bylo zjištěno, že glutathionperoxidáza obsahuje selen, a tím zvyšuje biologické účinky vitamínu E. Dále je schopna pomocí glutathionu katalyzovat redukci peroxidu vodíku a hyperoxidů mastných kyselin:

$$2\ G\text{-}SH + H_2O_2 \rightarrow G\text{-}S\text{-}S\text{-}G + 2\ H_2O$$

$$2\ G\text{-}SH + R\text{-}O\text{-}OH \rightarrow G\text{-}S\text{-}S\text{-}G + R\text{-}OH + H_2O$$ (Velíšek & Hajšlová 2009).

Tyto reakce odstraňují hydroperoxidy z poškozených biologických membrán v červených krvinkách (erytrocytech), glutathionperoxidáza chrání biologické struktury proti oxidačnímu poškození. Po odstranění hydroperoxylové skupiny mohou být hyperoxidy metabolizovány v β-oxidaci. Oxidovaný glutathion je katalyticky za účasti glutathionreduktázy regenerován pomocí redukované formy nikotinamidadenindinukleotidfosfátu (NADPH):

$$G\text{-}S\text{-}S\text{-}G + 2\ (NADPH+H^{+}) \rightarrow 2\ G\text{-}SH + 2\ NADP^{+}$$ (Velíšek & Hajšlová 2009).

Dalším objeveným selenoenzymem je jodthyronin-5'-dejodáza, který katalyzuje dejodaci hormonu štítné žlázy tyroxinu na aktivnější hormon trijodtyronin. Jodthyronin-5'-dejodáza vstupuje do metabolismu jodu a hormonů štítné žlázy. Rozlišují se dva typy dejodáz:

- **typ I** se nachází v játrech, ledvinách, svalech a ve štítné žláze,
- **typ II** je pouze v mozku, hypofýze a nadledvinkách (Velíšek & Hajšlová 2009).

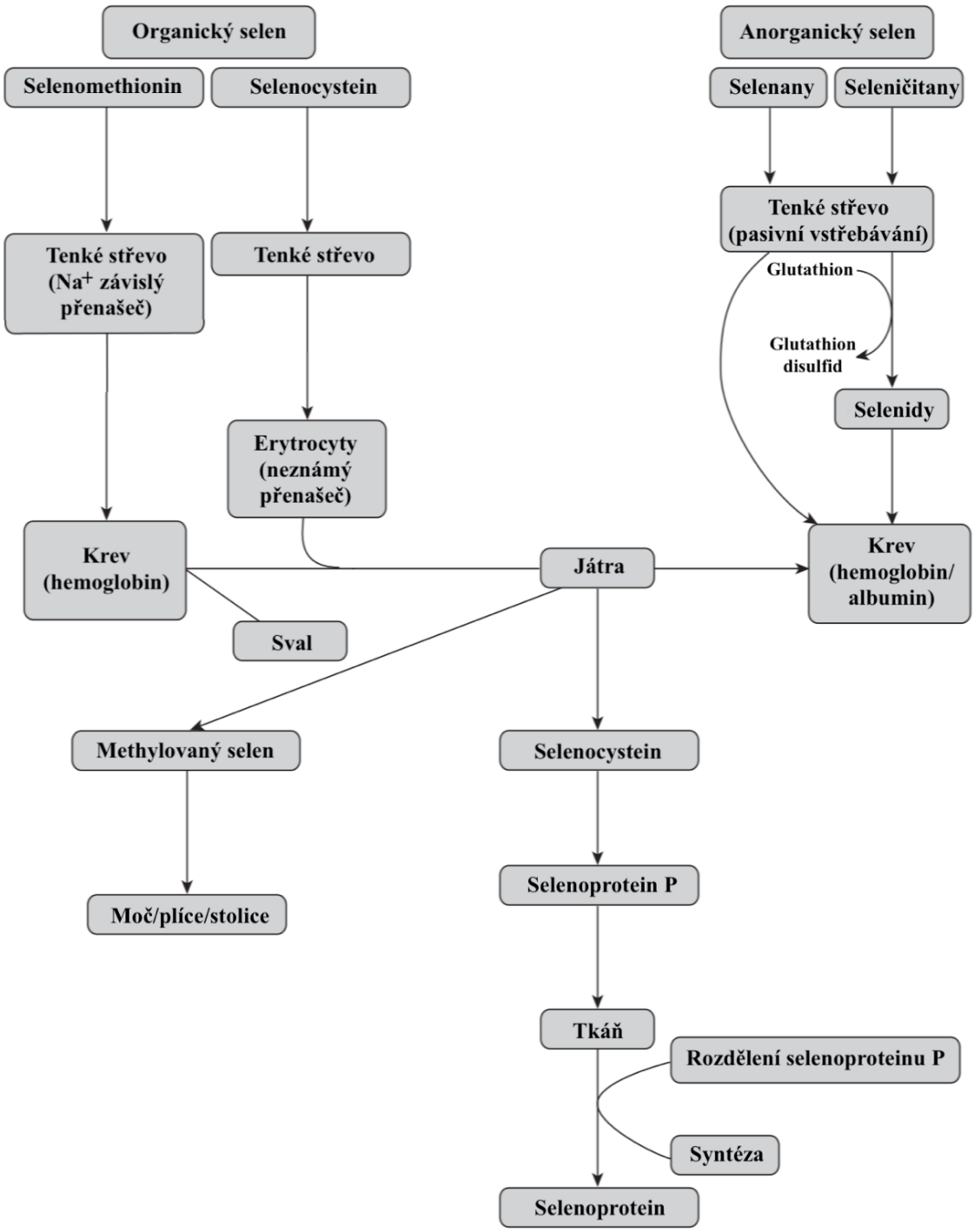
3.1.3 Metabolismus selenu

Biologická dostupnost selenu závisí na použité formě, a to zda se jedná o formu organickou nebo anorganickou (obr. 2) a složení potravin. Selen se vyskytuje hlavně vázaný na aminokyseliny cystein a methionin, přičemž selenomethionin je nejlepší forma selenu pro lidský organismus, jelikož se z něho vstřebá 95 – 97 % selenu. Pro vstřebávání a metabolismus sloučenin selenu je důležitý redukovaný glutathion a cystein (Triggiani et al. 2009; Velíšek & Hajšlová 2009; Kieliszek & Błażejak 2013).

Organický selen se vyskytuje převážně jako selenomethionin, dále také selenocystein a methylované formy selenomethioninu. Selenomethionin je nejrychleji absorbovanou formou selenu, je metabolizován aktivním transportem z tenkého střeva pomocí přenašeče (sodíku). Po absorpci se selenomethionin váže na hemoglobin a hromadí se v játrech a ve svalech. Selenocystein je také metabolizován v tenkém střevě, ale pasivním transportem (pouze ve směru koncentračního gradientu) a daleko pomaleji než selenomethionin. Selenocystein se absorbuje červenými krvinkami pomocí neznámého přenašeče (Rayman 2008; Terry & Diamond 2012).

Anorganické formy zahrnují selenanové a seleničitanové soli. Anorganický selen je absorbován pasivně a v těle je skladován méně efektivněji než organické formy. Seleničitany jsou po redukci metabolizovány pomocí glutathionu na selenidy, které se váží na hemoglobin nebo albumin a poté jsou transportovány do jater k dalšímu zpracování. Naopak selenany jsou transportovány z krevní plazmy do jater, kde jsou metabolizovány nebo vyloučeny močí. Seleničitany jsou biologicky dostupnější než selenany. Selenidy se používají pro přeměnu na selenocystein (Terry & Diamond 2012). Z anorganické sloučeniny vznikne selenotrisulfid (R-S-Se-S-R). Pokud reaguje glutathion se seleničitanem, vzniká selenotrisulfid neboli selenodiglutathion (G-S-Se-S-G). Jestliže je glutathion v nadměrném množství, vznikne sloučenina G-S-SeH, která je nestálá a rozkládá se na selan a glutathion. Aminokyseliny obsahující ve své molekule selen se metabolizují pomocí methylačních reakcí – například methylací selenocysteinu vznikne rozkladem aminokyselina alanin a těkavý dimethylselenid ($(CH_3)_2Se$). Následnou methylací dimethylselenidu vznikne trimethylselenoniový ion ($(CH_3)_3Se^{+}$) (Velíšek & Hajšlová 2009).

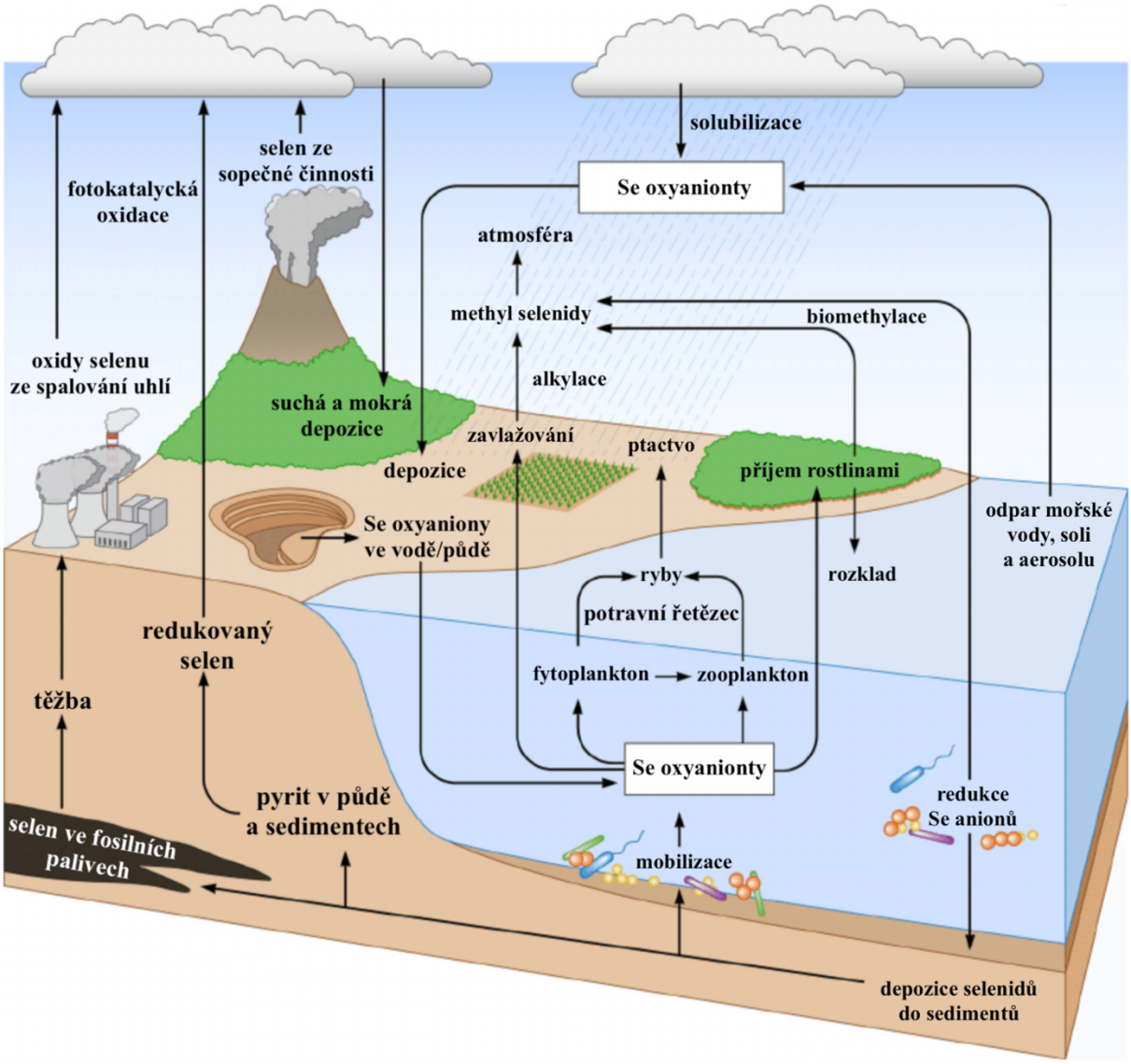
Hlavním orgánem pro kontrolu hladiny selenu v těle jsou játra, která slouží k vylučování selenu nebo pro další použití selenoproteinů (například selenoprotein P je obsažen v krevní plazmě, mozku a varlatech). Selenoprotein P vstupuje do tkáně, kde je metabolizován (Terry & Diamond 2012). Metabolizovaný selen je primárně vylučován ledvinami pomocí moči (cca 60 %), která obsahuje převážně trimethylselenonium. V případě nadměrného příjmu selenu může dojít k vyloučení z plic ve formě těkavých sloučenin (například dimethylselenidu, dimethyldiselenidu a selanu). Vyloučení selenu střevem (stolicí) je méně časté (Velíšek & Hajšlová 2009; Terry & Diamond 2012).



Obrázek 2: Hlavní kroky metabolismu selenu

3.1.4 Výskyt selenu v životním prostředí

Selen je v přírodě běžně se vyskytující prvek, který lze nalézt v atmosféře, litosféře, biosféře a hydrosféře Země. Jeho obsah v zemské kůže je odhadován na 0,05 – 0,5 $mg.kg^{-1}$. Tento prvek se do životního prostředí uvolňuje z přírodních a antropogenních zdrojů, nachází se ve všech druzích přírodního prostředí (voda, půda, vzduch, organismy), zejména v geochemických lokalitách (sopky, vyvřelé a sedimentární horniny, které se používají k těžbě). Biochemický cyklus selenu (obr. 3.) začíná v horninách a pokračuje přes sedimenty a půdy do vody, odkud vstupuje do potravin, respektive rostlin a živočichů. Cyklus se stává úplným díky aktivitě a degradaci organismů, což umožňuje zapojení selenu do sedimentů, kde se nakonec usazuje. Distribuce selenu v prostředí je ovlivněna řadou fyzikálních, chemických a biologických procesů. Mobilizace a speciace selenu závisí na interakcích a stavu prostředí, imobilizace může nastat chemickou a mikrobiální redukcí, absorpcí rostlinami a zvířaty, adsorpcí půdou a sedimenty a společným vysrážením z atmosféry. Selen uložený v sedimentech může zůstat v systému a bioakumulovat po dlouhou dobu (Tan et al. 2016).



Obrázek 3: Cyklus selenu v životním prostředí

Obsah selenu v půdě se liší v závislosti na typu a struktuře půdy, obsahu organických látek a srážkách. Jeho asimilace rostlinou je ovlivněna fyzikálně-chemickými faktory půdy (například redoxním stavem, pH a mikrobiologickou aktivitou). V půdách je výskyt selenu způsoben především erozí hornin obsahujících seleničitany a selenidy. Selen se nachází v půdách ve formě elementárního selenu (například selenanové soli a seleničitan železitý) nebo ve své organické formě. Seleničitanové a selenanové formy jsou běžně ve většině půd. Tyto aniontové formy jsou rozpustné, mobilní, biologicky dostupné a potenciálně toxické. Organické formy pocházejí především z rozkladu rostlin, které akumulují selen. Průměrná koncentrace selenu v půdě se pohybuje od 0,1 do 0,7 $mg.kg^{-1}$. U jílových půd je to 0,8 až 2 $mg.kg^{-1}$, zatímco v tropických půdách je to 2 – 4,5 $mg.kg^{-1}$ (Mehdi et al. 2013). Průměrný obsah selenu v půdě je tedy odhadován na 0,33 $mg.kg^{-1}$, typické rozmezí je však 0,01 – 2 $mg.kg^{-1}$. V minerálních půdách je obsah selenu vyšší, a to přibližně 14 $mg.kg^{-1}$. Půdy bohaté na selen se nacházejí ve Spojených státech (například ve státech Dakota, Kansas a Wyoming), Kanadě, Austrálii, Irsku, Rusku a v několika regionech Číny. Oblasti s nedostatkem selenu zahrnují Nový Zéland a velkou část Evropy (Söderlund et al. 2016). Oblasti, kde je sopečná půda a žula, jsou také chudé na selen. Tyto půdy se nacházejí v hornatých zemích severní Evropy (Finsko, Švédsko a Skotsko). Naopak půdy bohaté na selen jsou břidlicové. Selen se obvykle soustřeďuje v půdách nejsušších oblastí na světě (Mehdi et al. 2013).

Selen se nachází také ve vodě, kde je obsažen pouze ve stopovém množství ve formě selenanů a seleničitanů. Koncentrace selenu ve vodě se pohybuje od několika jednotek až do deseti tisíců $mg.l^{-1}$. Ve většině případů nepřesahuje 10 $mg.l^{-1}$ (Mehdi et al. 2013). V podzemních vodách je selen obsažen méně než ve vodách mořských, a to kvůli vyplavování selenu z mateřských hornin. Ve většině případů jsou vysoké koncentrace ve vodě způsobeny například nadměrným hnojením zemědělské půdy pomocí směsí obohacených o sloučeniny selenu (Kieliszek 2019). Jeho koncentrace v mořské vodě je 0,04 – 0,12 $g.l^{-1}$. V Bruselu se koncentrace selenu v podzemních vodách odhaduje na 0,12 $\mu g.l^{-1}$. Ve Francii se podle oblastí liší od 2,4 do 40,5 $\mu g.l^{-1}$ (Mehdi et al. 2013). Podle doporučení Světové zdravotnické organizace (WHO) je přijatelné množství selenu v pitné vodě stanoveno na 10 $\mu g.l^{-1}$ (Kieliszek 2019).

Atmosféra hraje důležitou roli v biogeochemickém cyklu selenu a ovlivňuje jeho transport a transformaci. Přítomnost selenu je spojena s přírodními činnostmi (například eroze půdy, vulkanismus a lesní požáry). Lidská činnost (spalování fosilních paliv, spalování odpadků, pneumatik a papíru) také ovlivňuje přítomnost selenu v atmosféře. Spalování uhlí a ropy jsou primárními zdroji emisí sloučenin selenu ve vzduchu. Obsah selenu v okolním vzduchu je obecně nízký (1 − 10 $ng.m^{-3}$). Podle jejich chování lze v atmosféře rozlišit tři skupiny sloučenin selenu: spojené s popelem nebo částicemi, těkavé anorganické sloučeniny (oxid seleničitý) a elementární selen, těkavé organické sloučeniny (dimethylselen − DMSe, dimethyldiselen a methanselenol) (Mehdi et al. 2013). Selen se dostává do atmosféry rovněž pomocí vulkanických plynů. Obohacování atmosféry selenem je zapříčiněno biomethylací mikroorganismy a také rozkladem organických látek bohatých na tento prvek. V těchto procesech se produkují převážně těkavé sloučeniny selenu, jako jsou například dimethylselen, selan a oxid seleničitý (Kieliszek 2019).

Selen lze nalézt také v mnoha minerálech, jako je berzelianit (Cu_2Se), klaustalit (PbSe) a naumanit (Ag_2Se). Do půdy proniká v důsledku antropogenní aktivity spalováním uhlí či lignitu (ve formě imisí SeO_2), ropy a prostřednictvím hnojení nebo vápnění (Kieliszek 2019).

3.1.5 Výskyt selenu v organismu

Selen je základním bioelementem nezbytným pro fungování všech organismů. Množství tohoto prvku přítomného v přírodě a v lidském organismu je velmi rozdílné v závislosti na zeměpisné oblasti a stravě, jelikož potraviny jsou hlavním zdrojem selenu pro organismus. Selen je v lidském organismu přítomen ve stopovém množství. Optimální denní dávka tohoto prvku je stanovena pro dospělého člověka průměrně na 55 μg a ovlivňuje normální průběh biochemických a fyziologických procesů (Kieliszek 2019). V Evropě byl denní příjem selenu stanoven přibližně na 40 μg, zatímco v USA na 93 μg u žen a 134 μg u mužů. Vyšší hodnoty jsou způsobeny konzumací doplňků stravy, jelikož až 50 % americké populace užívá potravinové doplňky obohacené o selen (Rayman 2012).

Hladiny selenu v krevním séru se mohou mezi populacemi lišit v závislosti na řadě faktorů (například koncentrace selenu v potravě). Koncentrace tohoto prvku v séru dospělého jedince závisí na jeho věku, maximální koncentrace v krvi je dosažena v dospělosti (Kieliszek 2019). Stav selenu, který se měří pomocí plazmatického nebo sérového selenu, se liší podle země a odpovídá jeho příjmu. Příjem selenu do organismu je vysoký v Japonsku, Kanadě, Venezuele a USA, zatímco v Evropě (především východní) je mnohem nižší. V minulosti byl příjem selenu na Novém Zélandu také nízký, ale díky dovozu australské pšenice s vysokým obsahem selenu se situace zlepšila (Rayman 2012).

Referenční hodnoty pro příjem živin (D-A-CH) doporučují pro dospělé 30 − 70 $\mu g.den^{-1}$ (tab. 1). Za nejvyšší se považují hodnoty 200 – 400 $\mu g.den^{-1}$, jelikož u nich při krátkodobém i dlouhodobém působení nebyly pozorovány toxické účinky (Referenční hodnoty pro příjem živin 2011). V lidském těle dospělého člověka je obsaženo přibližně 15 mg selenu, v krvi se pohybuje jeho množství v rozmezí 40 − 350 $\mu g.dm^{-3}$. Nejvyšší koncentrace je v kostech (1 − 9 $mg.kg^{-1}$, což představuje asi 46,9 % celkového množství selenu v těle člověka), vlasech (0,6 − 6 $mg.kg^{-1}$), játrech (0,24 − 0,4 $mg.kg^{-1}$) a ledvinách (0,2 − 1,5 $mg.kg^{-1}$), což činí pouze 4 % rezerv. Ve svalech je selen obsažen v menším množství (0,07 − 0,1 $mg.kg^{-1}$) (Lyons et al. 2007; Velíšek & Hajšlová 2009).

Tabulka 1: Doporučený denní příjem selenu

Věk	Příjem selenu [$\mu g.den^{-1}$]
Kojenci	
0 – 3 měsíce	5 − 15
4 – 11 měsíců	7 − 30
Děti	
1 – 3 roky	10 − 40
4 – 6 let	15 − 45
7 – 9 let	20 − 50
10 – 14 let	25 − 60
Dospívající a dospělí	
≥ 15 let	30 − 70
Těhotné a kojící ženy	30 − 70

(Referenční hodnoty pro příjem živin 2011)

Na konci osmdesátých a začátku devadesátých let byl v Československu stanoven relativně nízký stav selenu s průměrnými hodnotami 53 − 77 $\mu g.l^{-1}$ v krevním séru obyvatelstva, v Evropě se průměrná hodnota pohybovala okolo 80 $\mu g.l^{-1}$. V letech 1996 − 2001 proběhlo stanovení selenu v krvi české populace (18 − 55 let). Průměrný věk sledované skupiny byl 33 let. Jedinci museli žít po dobu nejméně dvou let v jednom ze čtyřech vybraných měst v České republice: Benešově a Žďáru nad Sázavou jako zástupci venkovských oblastí s nižší průmyslovou úrovní a obchodní činností, Plzni a Ústí nad Labem, kde je vyšší dopravní zátěž a průmyslová úroveň. Celkově bylo odebráno 2414 vzorků krve, 74 % vzorků poskytli muži a 26 % ženy. Byl prokázán významný vzestupný trend v čase, v roce 1996 byla koncentrace selenu v krvi 73,2 $\mu g.l^{-1}$, v roce 2001 stoupla na 91,5 $\mu g.l^{-1}$. 10 % sledované populace mělo koncentraci selenu nižší než 60 $\mu g.l^{-1}$, většina jedinců (73,1 %) měla hladinu v krvi 60 − 100 $\mu g.l^{-1}$ a 16,3 % dárců mělo hladinu selenu v krvi 100 $\mu g.l^{-1}$ nebo vyšší (Batáriová et al. 2005)

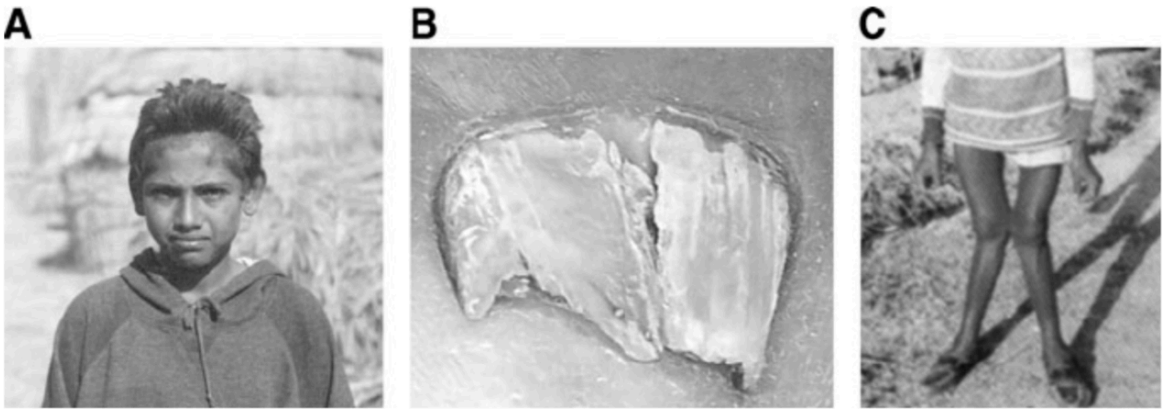
3.1.5.1 Nedostatek selenu

Selen je pro organismus esenciálním prvkem, proto je důležité přijímat do organismu stanovenou denní dávku selenu. V různých částech světa se přísun selenu do lidského těla liší, záleží na formě, ve které se selen v potravině vyskytuje a kde byla potravina pěstována. Nedostatek selenu se může nejčastěji objevit u chronicky nemocných osob (osoby trpící například fenylketonurií, cystickou fibrózou, syndromem krátkého střeva), starších jedinců, těhotných a kojících žen, kuřáků, nebo u lidí, kteří konzumují nevyváženou stranu (například vegetariáni a vegani) (Referenční hodnoty pro příjem živin 2011). Dlouhodobý deficit selenu může způsobit větší náchylnost k infekcím, poruchy funkce štítné žlázy a řadu různých nemocí, z nichž jsou nejzávažnější Keshanova a Kashin-Beckova choroba. Obě choroby vznikají při nedostatečné saturaci selenem, tedy nižší než 10 $\mu g.den^{-1}.osoba^{-1}$. Nedostatek selenu se může podílet také na výskytu hypotyreózy, která je však způsobena především deficitem jodu v organismu (Kapounová et al. 2014).

Keshanova choroba (Keshanská nemoc) je onemocnění řazené mezi kardiomyopatie (onemocnění srdečního svalu), vyskytující se především v oblastech Číny. Název této nemoci pochází z roku 1935 z Keshanského kraje v provincii Heilongjiang, nicméně nemoc byla objevena už v roce 1907. Příčinou nemoci je nedostatek selenu v organismu, který způsobí nákazu mutovaným virem *Coxsackie B* a začne se hromadit krev v srdci (městnavé srdeční selhání). Keshanova nemoc je rozdělena do čtyř typů podle závažnosti: akutní, subakutní, chronická a letální. Nemoc postihuje především děti, těhotné a kojící ženy. Choroba se projevuje srdečním selháním, hypertenzí, plicním edémem, artritidou, vypadáváním vlasů (obr. 4A), slábnutím kůže a nehtů, kožním onemocněním (například keratózou − obr. 4B), celkovou slabostí organismu, svalovou ztuhlostí a sníženou imunitou. Jedinci se mohou léčit pravidelným podáváním přesně stanovených dávek doplňků stravy obsahující selen (Fairweather-Tait et al. 2011; Ivory & Nicoletti 2017).

Kashin-Beckova choroba (Kashin-Bek nemoc nebo syndrom) je onemocnění řazené mezi osteoartropatie vyskytující se převážně v Číně, Mongolsku, Tibetu, Severní Koreji a na Sibiři. Choroba byla poprvé popsána v roce 1848 Nickolayem Kashinem v Rusku a později

v roce 1906 Eugenem Beckem. Nemoc způsobuje poruchy kostí (například křivici − obr. 4C), kolen, kotníků, kloubů a prstů na rukách. U této nemoci se objevuje řídnutí kostí, zkracuje se délka kostí, narušují se kloubní chrupavky. Na chorobu může mít vliv i deficit jodu, a tím je zhoršen průběh tohoto onemocnění (Fairweather-Tait et al. 2011; Ivory & Nicoletti 2017).



Obrázek 4: Projevy Keshanovy (A, B) a Kashin-Beckovy (C) choroby

3.1.5.2 Nadbytek selenu

Intoxikace selenem se objevuje vzácně. V oblastech s vysokým obsahem selenu v půdě mohou vznikat chronické otravy (selenózy), které působí toxicky na lidský organismus. Selenózy byly pozorovány u osob, které měly přísun selenu vyšší než 800 $\mu g.den^{-1}$. Nadbytek mohl být způsobený kontaminací potravin nebo užíváním většího množství potravinových doplňků (Kapounová et al. 2014).

Evropský úřad pro bezpečnost potravin (EFSA, European Food Safety Authority) stanovil maximální denní příjem selenu z potravin a potravinových doplňků na hodnotu 300 $\mu g.den^{-1}.osoba^{-1}$ (EFSA 2006). Příjem selenu nad hodnoty 400 $\mu g.den^{-1}$ může zvýšit riziko výskytu srdečního infarktu, rakoviny, diabetu 2. typu nebo poruchy imunitního systému a z tohoto důvodu se nedoporučuje přijímat větší množství selenu do organismu, než je daná stanovená hodnota (Referenční hodnoty pro příjem živin 2011; Qin et al. 2013; Kieliszek 2019).

Toxické příznaky se vyskytují u osob, které za den konzumují 5 mg selenu nebo u jedinců vystavených koncentraci selenu ve vzduchu vyšší než 0,2 $mg.m^{-3}$. Příznaky nadbytku selenu mohou být například charakteristický česnekový zápach z úst, kovová pachuť v ústech, lámání a třepení nehtů, blednutí a vypadávání vlasů, nažloutlá kůže. Mezi příznaky akutní otravy patří únava, hypotenze (nízký krevní tlak) a tachykardie (zvýšená tepová frekvence). Neurologické příznaky se projevují třesem, svalovou kontrakcí a zvýšenou nervovou dráždivostí. Dalším projevem je bolest kloubů, přecitlivělost, nechutenství spojené se zvracením, anémie, suchý kašel, horečka, ve vážných případech může dojít k poškození jater (Qin et al. 2013; Kieliszek 2019).

3.2 Jod

3.2.1 Charakteristika jodu

Jod je chemický prvek s protonovým číslem 53 nacházející se v 17. skupině (VII. A) periodické tabulky prvků, kde je 4. členem. Je řazen mezi halogeny společně s fluorem, chlorem, bromem a astatem a jejich elektronová konfigurace je ns^2np^5, tudíž ve valenční sféře mají 7 elektronů. Za standardních podmínek je to tuhá, pevná, tmavě fialová až černá látka s kovovým leskem (obr. 5). Ve sloučeninách se jod vyskytuje v oxidačním stupni -I, 0, I, III, V, VII (Jursík 2001).

Jod byl objeven v roce 1811 francouzským chemikem Bernardem Courtoisem. Courtois při výrobě střelného prachu spaloval mořské řasy, aby izoloval hydrogenuhličitan sodný, a když do popela přidal větší množství kyseliny sírové, vytvořil fialovou páru, která začala krystalizovat a vytvářet krystalky. Gay-Lussac v roce 1812 označil krystaly za nový prvek a pojmenoval ho jod. Chemická značka I pochází latinského názvu *Iodum* a v řečtině *iódés* znamená fialový (Zimmermann 2008; Triggiani et al. 2009). V 19. století se jod nazýval například jako chalujzk, chaluzík, řasík, řasjk, jód, jodík a patřil do skupiny prvkové švub aneb švubíci těžký dusný opar dadoucí, kam spadal společně se solíkem (chlorem), brudíkem (bromem) a kazíkem (fluorem) (Amerling 1852).

Obrázek 5: Jod za standardních podmínek

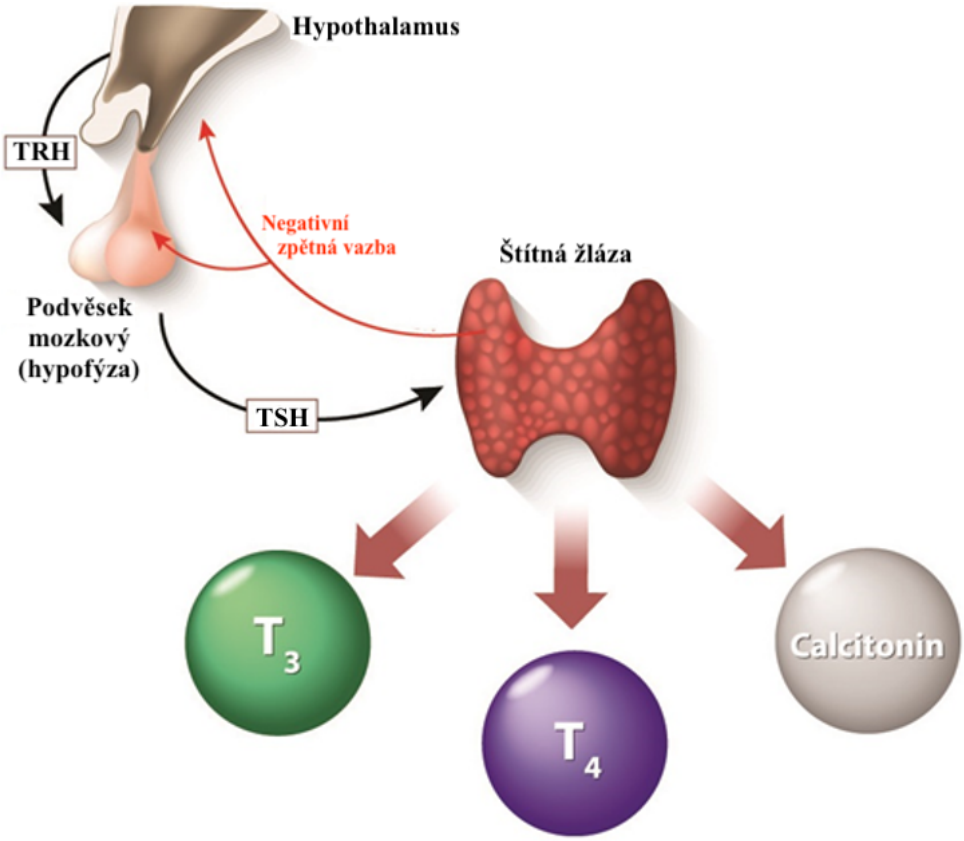
Jod se velmi špatně rozpouští ve vodě (polárních rozpouštědlech). Je rozpustný v benzenu, ethanolu a chloroformu. Velmi dobře je rozpustný v roztocích jodidů, kde dochází k tvorbě aniontů (například trijodidového) (Hejtmánková & Dolejšková 2015). Podle typu rozpouštědla mění jod v roztocích barvu: například v cyklohexanu je fialový, v benzenu růžový až červený a v ethanolu hnědý. Relativní atomová hmotnost jodu je 126,906, taje při teplotě 113,5 °C a teplota varu je 184,35 °C (Rohovec 2003).

3.2.2 Biochemické funkce jodu

Jod je součástí jodovaných aromatických aminokyselin, které tvoří hormony štítné žlázy – trijodtyronin (T3) a tetrajodtyronin neboli tyroxin (T4). Hormony ovlivňují rychlost oxidačních procesů v buňkách, spotřebu kyslíku v srdeční, ledvinové a jaterní tkáni, lipolýzu, glykogenolýzu, termoregulaci a zvyšují vstřebávání glukózy a galaktózy (Velíšek & Hajšlová 2009).

Činnost štítné žlázy je řízena nervově pomocí sympatiku, ale především působením regulátoru hormonu stimulujícího štítnou žlázu: thyreostimulační hormon (THS) neboli

thyreotropin. TSH je glykoprotein produkovaný z předního laloku podvěsku mozkového (adenohypofýzy) (obr. 6). Sekrece TSH je řízena pomocí thyreotropin uvolňujícího hormonu (TRH) produkovaného v mezimozku (hypothalamu). Funkce TSH je stimulovat rozklad thyreoglobulinu (Tg) a uvolňovat hormony štítné žlázy do krve. Pokud je poškozena funkce podvěsku mozkového, je produkováno zvýšené množství TSH a vzniká nemoc hypotyreóza, zatímco produkce nízké koncentrace TSH způsobuje hypertyreózu (Velíšek & Hajšlová 2009; Zimmermann 2012).



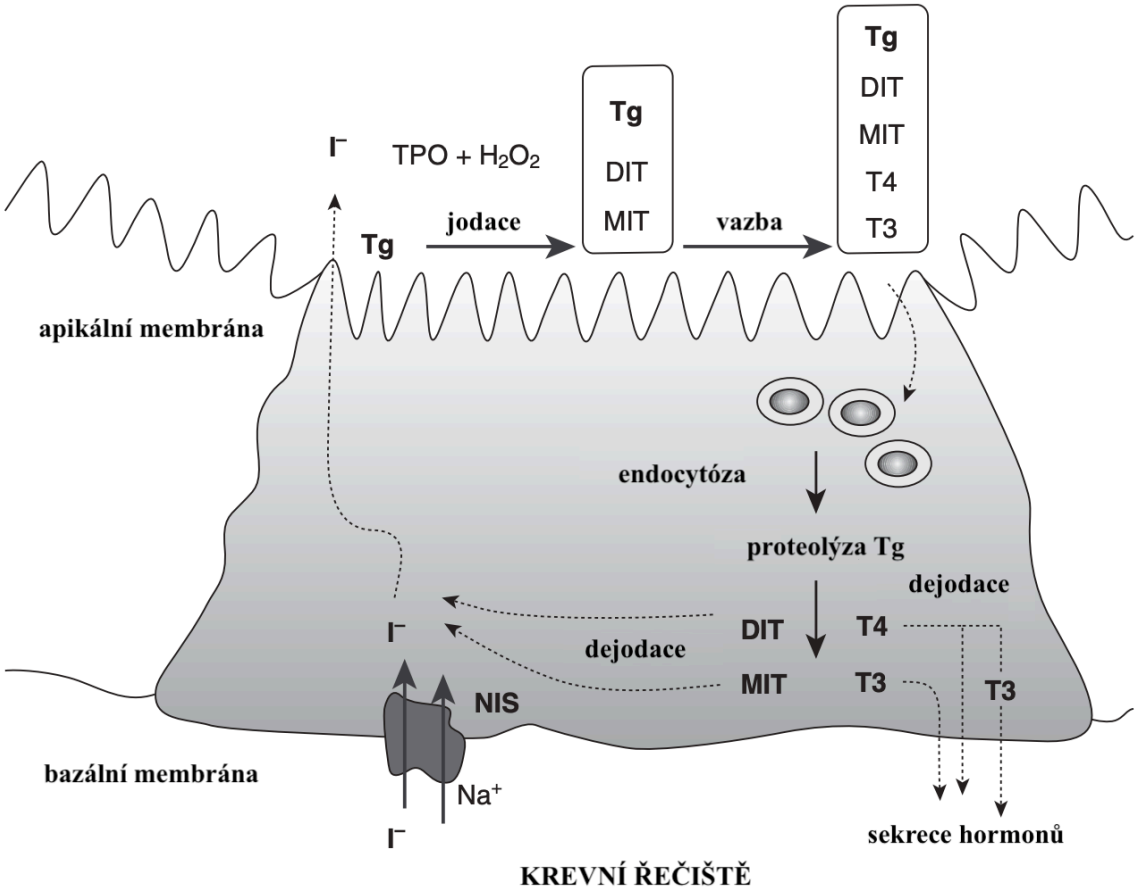
Obrázek 6: Produkce hormonů ze štítné žlázy

3.2.3 Metabolismus jodu

Jod je do organismu přijímán z potravy v několika chemických formách. Organicky vázaný jod ve formě jodidových aniontů je snadno tráven a úplně vstřebán v gastrointestinálním traktu člověka. Jiné formy (například jodičnan, který se používá při jodizaci soli) jsou ve střevech nejprve redukovány na jodidové ionty a poté absorbovány. Jodid je transportován pomocí Na^+ transmembránového přenašeče (NIS) do žaludku a tenkého střeva (dvanáctníku), kde se rychle vstřebává. Více než 90 % jodu z potravy je absorbováno ve dvanáctníku (Nicola et al. 2009; Velíšek & Hajšlová 2009).

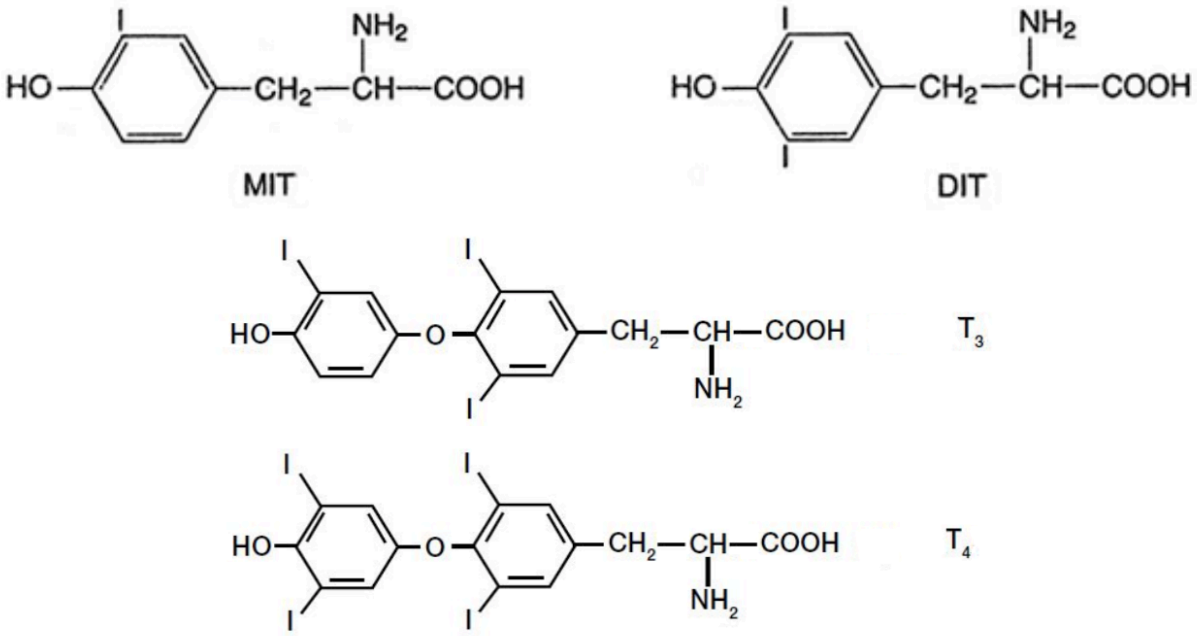
Jod je z oběhu vychytáván převážně štítnou žlázou nebo ledvinami. Pokud je dostatečný přísun jodu do organismu, štítná žláza přijme ≤ 10 % absorbovaného jodu, což je přibližně 60 µg jodu ve formě jodidu za den. Při deficitu může absorbovat až 80 %. Jod je ve štítné žláze přenášen pomocí glykoproteinu Tg umístěného v koloidu folikulárních buněk štítné žlázy.

Součástí Tg jsou hormony T3 a T4, které jsou po rozštěpení Tg vyloučeny do krve. Jodid je transportován pomocí NIS na bazální membránu a migruje do apikální membrány (obr. 7) (Velíšek & Hajšlová 2009; Zimmermann 2012).



Obrázek 7: Cesta jodu v buňce štítné žlázy

Při oxidaci jodidu pomocí enzymů tyreoperoxidázy (TPO) a vodíkové peroxidázy vznikne jod, ze kterého po jodaci vznikne monojodtyrosin (MIT) a dijodtyrosin (DIT). Spojením molekuly MIT a DIT vznikne T3 a vazbou dvou molekul DIT vznikne T4 (obr. 8). Jod tvoří 59 % hmotnosti hormonu T3 a 65 % hormonu T4. T3 a T4 jsou degradovány složitou řadou cest a jejich regenerace je pomalá (poločasy T3 a T4 jsou 1,5 − 3 dny a přibližně 5 dnů). Normální koncentrace T3 v krvi je 1 − 1,5 $\mu g.dm^{-3}$ a T4 60 − 120 $\mu g.dm^{-3}$. Jod je schopen se z molekuly tyrosinu odstraňovat pomocí selenu. Uvolněný jod vstupuje do plazmy a může být znovu odebrán štítnou žlázou nebo vyloučen pomocí ledvin. Více než 90 % jodu se vylučuje močí, ve stolici se objevuje pouze malé množství (Köhrle & Gärtner 2009; Velíšek & Hajšlová 2009; Zimmermann 2012).



Obrázek 8: Struktura MIT, DIT, T3 a T4

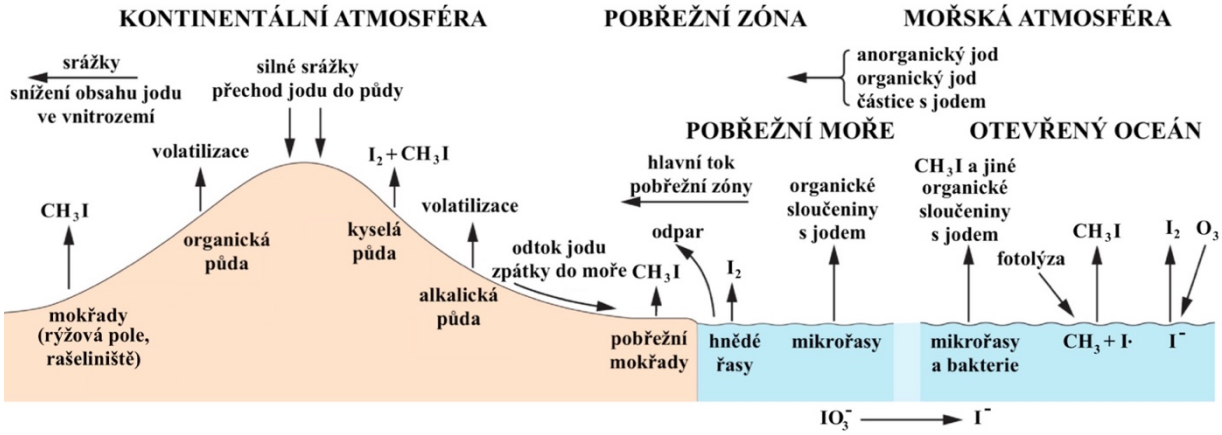
3.2.4 Výskyt jodu v životním prostředí

Jod je v životním prostředí široce, ale nerovnoměrně distribuován. V přírodě se jod nevyskytuje v elementární formě, pouze ve svých sloučeninách ve formě jodidů, oxidů a solí, které jsou rozpustné ve vodě. V půdě je obsažen jako jodičnan sodný ($NaIO_3$) a jodistan sodný ($NaIO_4$), v mořských řasách a fytoplanktonu jako jodid draselný (KI) a sodný (NaI), jod (I_2) a jodid (I^-) a v mořské vodě pouze jako jodid (Ahad et Ganie, 2010).

Jod je z půd a hornin vyplavován pomocí dešťové vody do řek, moří a oceánů. Jodidové ionty jsou v mořské vodě oxidovány na elementární jod, který se vypařuje do atmosféry a díky dešťům se vrací zpátky do půdy (obr. 9) (Fuge & Johnson 2015). V mnoha oblastech se z důvodu záplav a erozí vyčerpaly zásoby jodidu a většina se nachází v oceánech (Zimmermann 2012). Kvůli těkavosti jodu z mořské vody dochází k ukládání tohoto prvku do půdy, avšak hlavní pásmo se rozprostírá pouze 50 − 80 km od moře. Z tohoto důvodu jsou pobřežní oblasti bohatší na obsah jodu v půdě než půdy ve vnitrozemí. V dešťové vodě je jeho obsah přibližně 0,5 − 2,5 $\mu g.l^{-1}$ (Ahad & Ganie 2010; Fuge & Johnson 2015).

Cyklus jodu je v mnoha regionech pomalý a neúplný, proto jsou zásoby jodu z půd a pitné vody vyčerpávány. Plodiny pěstované v těchto půdách mají nízkou koncentraci jodu, což má za následek nižší obsah jodu v tělech zvířat i lidí, kteří konzumují jídlo z této oblasti. Koncentrace jodidu v mořské vodě je přibližně 50 $\mu g.l^{-1}$. V rostlinných potravinách pěstovaných v nedostatečně zásobených půdách se může koncentrace jodu pohybovat okolo 10 $\mu g.kg^{-1}$ suché hmotnosti, zatímco v rostlinách vypěstovaných v půdách bohatých na jod je to přibližně 1 $mg.kg^{-1}$ suché hmotnosti. Půdy s deficitem jodu jsou běžně v horských oblastech (například Alpy, Andy, Himaláje) a v oblastech s častými záplavami (například Jižní a Jihovýchodní Asie, v nížinách řeky Gangy v severovýchodní Indii). Dále je mnoho vnitrozemských oblastí (například centrální Asie, Afrika, středozápadní region Severní

Ameriky, střední a východní Evropa) ve středním deficitu jodu. Nedostatek jodu v těchto oblastech je možné zlepšit obohacením potravin o jod, jodizací soli pomocí jodičnanu draselného (KIO_3) nebo potravinovými doplňky (Zimmermann 2012; Fuge & Johnson 2015).



Obrázek 9: Cyklus jodu v životním prostředí

3.2.5 Výskyt jodu v organismu

Jod je nezbytným mikronutrientem získávaným převážně ze stravy nebo doplňků stravy s obsahem jodu do organismu a nemůže být nahrazen v lidském vývoji jinou živinou. Je zapotřebí dodržet optimální koncentraci jodu v organismu, a to už v nitroděložním vývoji, kdy je nutné, aby nastávající matka měla dostatečný přísun jodu do organismu pro sebe i své dítě, které by v případě nedostatku jodu bylo zranitelnější (Velasco et al. 2018).

V těle dospělého jedince je obsaženo 10 – 30 mg jodu, přičemž asi 70 – 90 % je umístěno ve štítné žláze, zbytek je obsažen v ledvinách, žaludeční mukóze, slinných a prsních žlázách (Velíšek & Hajšlová 2009). Štítná žláza je schopna za den vyloučit 80 μg jodu ve formě hormonů T3 a T4 a dalších 40 μg jodu se nachází v extracelulární tekutině. Hormony T3 a T4 jsou metabolizovány v játrech, které denně uvolňují přibližně 60 μg jodu do extracelulární tekutiny a 20 μg jodu do žluči. Močí se vyloučí průměrně 480 μg jodu (více než 90 %). 20 μg jodu je odvedeno z těla pomocí stolice a potu (Ahad & Ganie 2010). Denní příjem jodu je závislý na stáří jedince (tab. 2) (Referenční hodnoty pro příjem živin 2011).

V průběhu těhotenství by množství jodu mělo být zvýšeno na 200 $\mu g.den^{-1}$ (Referenční hodnoty pro příjem živin 2011), jelikož během tohoto období dochází ke zvýšenému vylučování obsahu jodu močí a také je zapotřebí vyšší koncentrace jodu kvůli vyvíjejícímu se plodu, který od 20. týdne těhotenství potřebuje jod pro vlastní produkci hormonů štítné žlázy (Tuccilli et al. 2018). Zlepšit příjem jodu v těhotenství lze třemi způsoby: změnou obvyklého stravovacího návyku, obohacením potravin o jod nebo doplněním jodu pomocí léků. Změna stravovacího návyku je pro organismus nejlepší, nicméně ženy v graviditě prochází emocionálními, psychologickými a fyzickými změnami, tudíž je pro ně tato změna náročná (Skeaff 2012).

Po porodu je pro novorozence hlavním zdrojem jodu mateřské mléko, jelikož je důležité pro normální vývoj dítěte. NIS je v mléčné žláze zodpovědný za transport jodu v mlezivu

a mateřském mléce. Z mateřského mléka lze získat okolo 75 – 200 μg jodu za den (Pearce 2012).

Tabulka 2: Doporučený denní příjem jodu

Věk	Příjem jodu [μg.den^{-1}]	
	Německo, Rakousko	WHO, Švýcarsko
Kojenci		
0 – 3 měsíce	40	50
4 – 11 měsíců	80	50
Děti		
1 – 3 roky	100	90
4 – 6 let	120	90
7 – 9 let	140	120
10 – 12 let	180	120
12 – 14 let	200	150
Dospívající a dospělí		
15 – 50 let	200	150
≥ 51	180	150
Těhotné ženy	230	200
Kojící ženy	260	200

(Referenční hodnoty pro příjem živin 2011)

Obsah jodu v moči se nazývá jodurie a slouží ke zjištění stavu, zda má jedinec nadbytek či nedostatek jodu v organismu. Koncentrace jodu v moči je přesným ukazatelem příjmu jodu, jelikož 90 % požitého jodu se vylučuje během 24 hodin močí (Tuccilli et al. 2018). Aby se předešlo poruchám nedostatku nebo nadbytku jodu v organismu, bylo stanoveno rozmezí optimální jodurie, ve kterém se dolní hranice koncentrace jodu v moči uvádí 100 μg.l^{-1}, u těhotných a kojících žen 150 μg.l^{-1}. Naopak horní hranice jodurie, která se považuje za přijatelnou je stanovena na 500 μg.l^{-1} (Zamrazil & Čeřovská 2014).

Výskyt onemocnění štítné žlázy s věkem stoupá a je 8x častější u žen než u mužů. V České republice neví o svém onemocnění 50 % lidí. Onemocnění štítné žlázy se mohou projevit sníženou či zvýšenou funkcí nebo zůstává funkce normální (eutyreóza, eufunkce) (Týden štítné žlázy 2019).

3.2.5.1 Nedostatek jodu

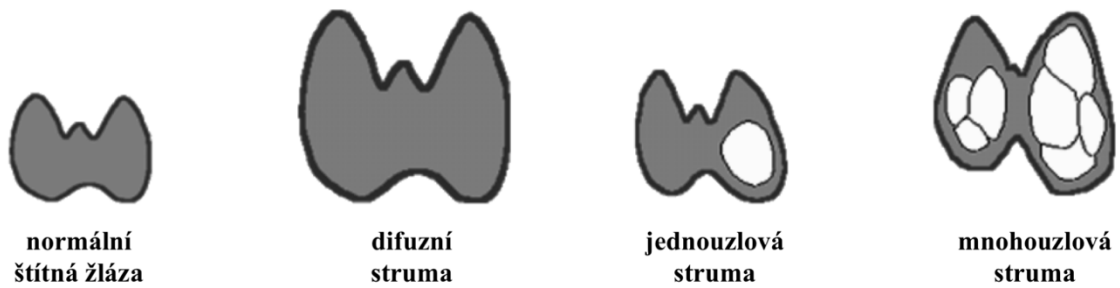
Nedostatečný přísun jodu do organismu má mnoho nepříznivých účinků na růst a vývoj nejen lidí (tab. 3), ale i zvířat (Zimmermann et al. 2008). Zdravotní problémy vzniklé nedostatkem jodu závisí na stupni snížení jeho koncentrace v organismu, věku a v menší míře také na pohlaví (například výskyt strumy je častější u žen než u mužů). Nejzávažnější jsou poruchy, které vznikly při sníženém příjmu jodu v těhotenství (Pavlata et al. 2005; Zamrazil & Čeřovská 2014).

Tabulka 3: Choroby z nedostatku jodu

Věková kategorie	Zdravotní důsledek
Těhotenství a vývoj plodu	- endemický kretenismus
	- narození mrtvého plodu
	- potrat, přenášení
	- vrozené vývojové vady
	- zvýšená úmrtnost plodu do 7 dnů od narození
Novorozenci	- endemická mentální retardace
	- endemický kretenismus
	- kojenecká úmrtnost
	- novorozenecká hypotyreóza
	- syndrom hyperaktivního dítěte
Děti a dospívající	- narušený mentální vývoj
	- struma
	- syndrom hyperaktivního dítěte
	- vzácně hypotyreóza
	- zpožděný fyzický vývoj
Dospělí	- hypotyreóza
	- poruchy plodnosti
	- struma
	- zhoršení sociálního a ekonomického rozvoje
	- zhoršený mentální vývoj
Senioři	- hypotyreóza
	- struma

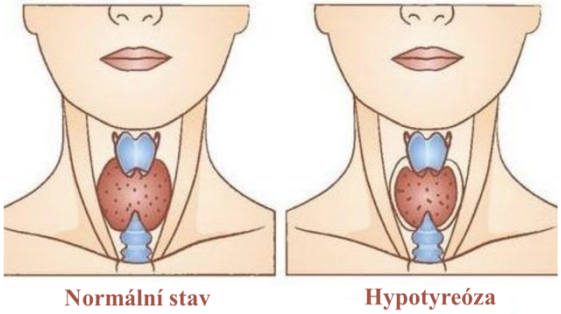
(Zimmermann et al. 2008; Zamrazil & Čeřovská 2014)

Zvětšení štítné žlázy (struma) je častým příznakem nedostatku jodu a může se vyskytovat v každém věku (hlavně u žen starších 50 let). Poklesem koncentrace jodu v organismu se zvyšuje sekrece TSH ve snaze maximalizovat absorpci dostupného jodu. Zpočátku je struma pouze zvětšená (difuzní struma), postupem času se však mohou objevovat uzly (jednouzlová a mnohouzlová struma) (obr. 10) (Zimmermann et al. 2008). Uzly se ve štítné žláze vyskytují přibližně u 30 – 40 % žen (Týden štítné žlázy 2019). Struma může vzniknout i po požití strumigenních látek, které jsou obsaženy v potravě. Strumigeny potlačují produkci hormonů štítné žlázy, a tím snižují obsah jodu v organismu (Arthur et al. 1999).



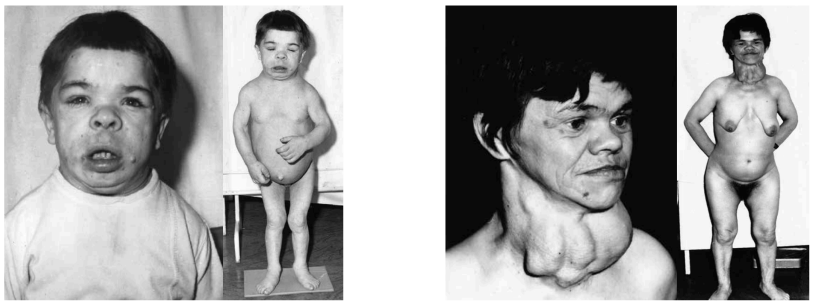
Obrázek 10: Formy strumy

Snížená funkce štítné žlázy (hypotyreóza, hypofunkce) (obr. 11) je onemocnění, které vzniká při nedostatečném zásobení jodem, jelikož štítná žláza není schopna organismu vytvořit dostatečné množství hormonů T3 a T4. Nejčastější příčinou je chronický autoimunitní zánět poškozující funkci štítné žlázy. Projevy hypotyreózy jsou ospalost, únava, zpomalený srdeční tep, občasná zácpa, zimomřivost a s tím související suchá, chladná a zhrubělá kůže (Zamrazil & Čeřovská 2014). Hypofunkce se vyskytuje celosvětově u 0,5 % populace (Markalous & Gregorová 2004), v České republice je to přibližně 525 000 osob (5 %) (Týden štítné žlázy 2019).



Obrázek 11: Znázornění hypotyreózy

Endemický kretenismus je vývojová porucha způsobená sníženou funkcí štítné žlázy. U jedince jsou viditelné poruchy vývoje kostry (zakrnělý růst) s deformacemi postavy a obličeje (obr. 12), dále není sám schopen usuzovat ani racionálně myslet. Onemocnění je doprovázeno neurologickými problémy (například vadou sluchu, zraku i řeči) a poruchou funkce pohlavních žláz (vaječníků a varlat), která vede k neplodnosti (Arthur et al. 1999; Zamrazil & Čeřovská 2014). Kretenismus se nachází v oblastech výskytu strumy u 15 % populace (Arthur et al. 1999), celosvětově se ročně rodí takto nemocných jedinců přibližně 100 000, nicméně v České republice byl poslední výskyt kretenismu zaznamenán v roce 1924 (Zamrazil & Čeřovská 2014).



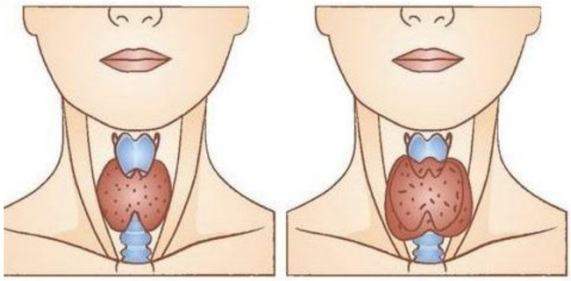
Obrázek 12: Lidé s endemickým kretenismem

Nedostatečný příjem jodu během těhotenství může mít škodlivé účinky na vývoj dítěte. Dochází ke zpožděnému vývoji, poruchám intelektu, nedostatečnému (opožděnému) zrání mozku, které může způsobit i endemický kretenismus, duševním vadám, vzniku strumy u matky a plodu. Nedostatek jodu v tomto období je v některých případech zodpovědný za potraty, mrtvě narozené děti, snížený růst plodu nebo poruchy reprodukce v dospělosti (Pearce 2012; Tuccilli et al. 2018).

3.2.5.2 Nadbytek jodu

K přebytku jodu dochází, pokud je příjem jodu příliš vysoký, obvykle následkem zvýšené koncentrace jodu v soli nebo soli v potravinách, předávkováním se doplňky stravy obsahujících jod či léky určenými k doplňování jodu do organismu. Rozsah rizika závisí na tom, jak rychle se zvyšuje příjem jodu v těle (Andersson et al. 2010). Horní hranice pro příjem jodu je stanovena na 600 $\mu g.den^{-1}$ (Referenční hodnoty pro příjem živin 2011).

Zvýšená funkce štítné žlázy (hypertyreóza, hyperfunkce, tyreotoxikóza) je onemocnění způsobené nadměrnou koncentrací jodu a z toho důvodu štítná žláza produkuje vyšší množství hormonů T3 a T4, než je potřeba v organismu. Projevy hypertyreózy jsou zvýšená chuť k jídlu, neklid, nespavost, svalová slabost, nepravidelně zrychlený tep, padání vlasů, pocit horka, pocení a mírně zvětšená štítná žláza (obr. 13) (Zamrazil & Čeřovská 2014). Hyperfunkce se v České republice vyskytuje u 0,2 – 1 % populace (přibližně 105 000 osob) (Týden štítné žlázy 2019).



Obrázek 13: Znázornění hypertyreózy

Gravesova-Basedowova choroba je onemocnění způsobující oční potíže jako jsou záněty, slzení, pálení, poruchy vidění a vystouplé oční bulvy (obr. 14). Tato choroba je nejčastějším důsledkem hypertyreózy a je považována za imunogenní nebo autoimunitní onemocnění, které je způsobeno poruchou imunitního systému. Je to stav, kdy imunitní systém produkuje protilátky proti TSH receptoru, který stimuluje funkci štítné žlázy (Zamrazil & Čeřovská 2014).

Obrázek 14: Oční příznaky při Gravesově-Basedowově chorobě

Nadbytečný příjem jodu v těhotenství je individuální u každé nastávající matky. Bezpečná horní hranice příjmu jodu je diskutabilní, jelikož se po požití velkého množství jodu může objevit akutní Wolff-Chaikoffův efekt. Tento efekt způsobí snížení tvorby hormonů T3 a T4 a jejich následné uvolňování do krve. Štítná žláza je schopna dostat se z akutního Wolff-Chaikoffova efektu pouze pokud opět přetrvává několik dnů vysoká expozice jodu. Většina těhotných žen je schopna zachovat si normální funkci štítné žlázy, což ovšem neplatí u žen léčících se s poruchou syntézy hormonů T3 a T4, které nemusí být schopny vymanit se z tohoto efektu. Tento stav může způsobit hypotyreózu (Pearce 2012).

3.3 Potravinové zdroje selenu a jodu

Selen i jod jsou získávány z potravin rostlinného i živočišného původu (tab. 4), doplňků stravy nebo léků. Za účelem vyššího obsahu selenu a jodu v potravinách jsou půdy, v nichž se pěstují potraviny rostlinného původu, obohacovány o selen a krmiva pro zvířata jsou obohacována jodem a selenem (Pehrsson et al. 2016; Adadi et al. 2019). Maximální povolený obsah selenu v krmivech je 0,5 $mg.kg^{-1}$ (Bakhshalinejad et al. 2019). Maximální množství jodu v krmivu pro dojnice je 5 $mg.kg^{-1}$, pro nosnice 10 $mg.kg^{-1}$, pro prasata 0,15 $mg.kg^{-1}$ a pro zvířata v laktačním období 0,5 $mg.kg^{-1}$ (Schöne et al. 2017).

Obsah obou prvků v potravinách se v průběhu času mění, příčinou jsou sezónní výkyvy a změny v zemědělských a zpracovatelských technologiích (Carriquiry et al. 2016; Orjales et al. 2018). Pokud je daná půda zemědělsky využívána a přizpůsobena pro pěstování plodin nebo pastvu zvířat, je množství selenu a jodu v těchto produktech vyšší, než v regionech, které k tomu nejsou přizpůsobeny (Velíšek & Hajšlová 2009), proto existuje velká variabilita v obsahu selenu a jodu v zemědělských produktech a potravinách v různých oblastech (Carriquiry et al. 2016). Obsah selenu a jodu v potravinách je také ovlivněn metodou jejich úpravy (například vařením, dušením, pečením, grilováním), jelikož se tyto prvky snadno dokáží přeměnit na jiné formy (Doh et al. 2019).

Hlavním zdrojem selenu jsou převážně živočišné potraviny – maso a vnitřnosti (například játra a ledviny), vejce, mléko a mléčné výrobky, sladkovodní a mořské ryby, měkkýši a korýši (například krevety a ústřice). Obsah selenu v mléce a mléčných výrobcích, mase a vejcích je závislý na obsahu selenu v krmivech zvířete. Dalším zdrojem jsou potraviny rostlinného původu, nicméně množství selenu v těchto produktech závisí na lokalitě pěstování, obecně není příliš vysoké a je závislé na obsahu selenu v půdě a použitých hnojivech (Velíšek & Hajšlová 2009; Bath & Rayman 2016; Orjales et al. 2018; Adadi et al. 2019).

Jod se přirozeně vyskytuje v potravinách, které jsou pěstovány v mořském prostředí a jeho okolí (například ryby a mořské řasy). Jod je přítomen v potravinářských plodinách v koncentracích, které závisí na obsahu jodu v půdách (například ovoce a zelenina), ve kterých se plodiny pěstují. Další pokrmy mají malé množství jodu z přírodních zdrojů, ale obsahují větší množství v důsledku jejich obohacení jodem (například sůl a kojenecká výživa) (Pehrsson et al. 2016). Obohacená sůl obsahuje přibližně 20 – 50 $mg.kg^{-1}$ jodu (Velíšek & Hajšlová 2009), do soli se nejčastěji přidává jodičnan draselný v množství 27 ± 7 mg jodu na 1 kg soli (Zamrazil & Čeřovská 2014). Krmiva pro zvířata se fortifikují jodem nebo se zvířatům podávají veterinární léky obsahující jod, což má za následek jeho vyšší koncentraci v mléce a ve vejcích. Obsah jodu v mléce a mléčných výrobcích může být také zvýšen kontaminací z dezinfekčních prostředků (například Alfadin, Betadine, Braunol a Jodisol), které se používají na očištění vemene a výrobního zařízení v mlékařských podnicích. V pekařství se používá jodičnan draselný a vápenatý pro stabilizaci těsta. Potravinářské barvivo erythrosin obsahuje 58 % jodu a přidává se do potravin k docílení červené barvy výrobku (Velíšek & Hajšlová 2009).

Se stárnutím organismu se snižují energetické potřeby lidí, což ale vyžaduje zahrnout do jídelníčku výživnější stravu, která doplní nutriční potřeby, jelikož požadavky na koncentraci selenu a jodu v organismu zůstávají téměř stejné. V Evropě má více než 20 % lidí starších 65 let nedostatečný příjem selenu, jodu, vápníku, vitamínu D a listové kyseliny. Adekvátní obsah

mikroživin lze získat z potravin z ekologické či konvenční produkce, obohacených potravin nebo potravinových doplňků (Berendsen et al. 2016).

Tabulka 4: Obsah selenu a jodu v potravinách

	Potraviny	Obsah [µg.kg^{-1}]	
		selen	jod
Potraviny rostlinného původu	**Ovoce**		
	jablka	1 – 4	2 – 7
	jahody	< 1	90
	pomeranče	5	8
	Zelenina		
	brambory	1 – 18	18 – 37
	cibule	1 – 11	25
	hlávkový salát	1	< 10 – 18
	hrášek	5	47
	květák	5	< 5
	mrkev	1 – 3	13
	rajčata	< 1	< 10
	zelí	3	< 10
	Obiloviny		
	chléb	15 – 26	58 – 85
	mouka pšeničná	16	17 – 25
	pšenice	11 – 47	24 – 43
	rýže loupaná	24 – 34	22 – 934
	Čokoláda	39 – 41	330
Potraviny živočišného původu	**Játra**		
	hovězí	20 – 140	50 – 182
	kuřecí	280 – 1420	62 – 265
	vepřová	90 – 340	107 – 182
	Ledviny		
	hovězí	200 – 1020	20 – 40
	vepřové	970 – 1840	82 – 206
	Maso		
	hovězí	20	15 – 19
	kuřecí	70 – 110	< 5
	vepřové	20 – 70	9 – 16
	Ryby		
	mořské	521	280 – 1750
	sladkovodní	50 – 380	11 – 1571
	Mléčné výrobky		
	jogurt	4 – 8	22 – 260
	mléko plnotučné	7 – 20	33 – 1107
	sýry	20 – 40	60 – 690
	Vejce slepičí	180 – 240	29 – 730
	bílek	82 – 109	132 – 347
	žloutek	530	711 – 2600

(Díaz-Alarcón et al. 1996; Kadrabová et al. 1997; Kvasničková 1998; Haldimann et al. 2005; Hejtmánková et al. 2005; Smrkolj et al. 2005; Navarro-Alarcon & Cabrera-Vique 2008; Velíšek & Hajšlová 2009)

Mléko a mléčné výrobky jsou jedním z hlavních zdrojů selenu a jodu. Mezi další významné potraviny se zařazuje i maso a masné výrobky či vejce (Bath & Rayman 2016; Adadi et al. 2019). Řada odborných studií se zabývá stanovením selenu a jodu právě v těchto živočišných potravinách.

MacLachlan et al. (2016) stanovovali obsah selenu v játrech, ledvinách a kosterních svalech ovcí z Austrálie. Průměrné množství selenu bylo nejvyšší v ledvinách (950 $\mu g.kg^{-1}$), poté v játrech (300 $\mu g.kg^{-1}$) a nejnižší ve svalech (90 $\mu g.kg^{-1}$). Byly pozorovány rozdíly v obsahu selenu v játrech, ale nikoli v ledvinách a svalech. Nedostatek selenu v těle ovcí nastává, jestliže je hladina selenu v játrech nižší než 20 $\mu g.kg^{-1}$, pokud je hladina selenu vyšší než 25 $mg.kg^{-1}$, existuje riziko chronické selenózy. V této studii neměla žádná zvířata obsah selenu v játrech pod 20 $\mu g.kg^{-1}$ nebo nad 25 $mg.kg^{-1}$.

Ve studii zaměřené na doplňování selenu do krmiva byl stanoven obsah selenu v játrech a mase králíků. Po přidání selenu do krmiva králíků vzrostl jeho obsah lineárně s množstvím přidaného selenu. Obsah selenu se více zvýšil ve svalech než v játrech (Papadomichelakis et al. 2018).

V roce 2005 Travnicek et al. (2006a) stanovovali jod ve 169 vzorcích kravského mléka, které pocházely ze 14 oblastí jihozápadních Čech. Průměrná koncentrace jodu činila 442,5 ± 185,6 $\mu g.l^{-1}$. Vyšší průměrné hodnoty byly stanoveny v období zimních krmných dávek (v dubnu 495,9 ± 50,8 $\mu g.l^{-1}$ a v říjnu 494,3 ± 176,4 $\mu g.l^{-1}$), zatímco nižší hodnoty byly zjištěny v období letních krmných dávek (350,9 ± 178,4 $\mu g.l^{-1}$).

V roce 2004 byla provedena v České republice studie, ve které Herzig et al. (2005) stanovovali obsah jodu ve stehenním svalu vepřů pomocí Sandell-Kolthoffovy metody. Bylo analyzováno 108 vzorků svalu z 18 stád v 10 okresech ČR. Průměrné množství jodu ve svalu činilo 25,6 ± 15,54 $\mu g.kg^{-1}$ (rozsah hodnot se pohyboval v rozmezí 8,5 – 66,2 $\mu g.kg^{-1}$). Zjištěné variace mohly být způsobeny různou saturací vepřů jodem z různých stád, jejich fyziologickou potřebou, projevem fyziologické schopnosti příslušných zvířat využívat zdroj jodu, potenciálním účinkem strumigenů a podmínkami prostředí.

Další studie z České republiky porovnávala množství jodu v prsní a stehenní svalovině v 84 vzorcích brojlerových kuřat. Kuřata pocházela ze 7 chovů ve 4 okresech ČR. Průměrný obsah jodu v prsní svalovině činil 18,9 ± 6,71 $\mu g.kg^{-1}$ (rozmezí hodnot bylo 11,4 – 24,3 $\mu g.kg^{-1}$) a ve stehenní svalovině 38,1 ± 19,79 $\mu g.kg^{-1}$ (rozsah byl 18,3 – 61,2 $\mu g.kg^{-1}$). Množství ve stehenní svalovině bylo v jednotlivých chovech statisticky významně vyšší než ve svalovině prsní. Odlišné obsahy jodu mohly být zapříčiněny odlišnou fyziologickou potřebou saturace brojlerů z různých chovů, schopností jednotlivých zvířat využít zdroj jodu, působením strumigenních látek a různými podmínkami prostředí (Herzig et al. 2007).

Kursa et al. (2007) stanovovali obsah jodu ve stehenní svalovině v 48 kusech jatečního skotu. Býci i krávy pocházeli z 8 chovů ze 6 okresů ČR. Obsah jodu ve svalovině byl v rozmezí 30,9 – 83,3 $\mu g.kg^{-1}$. Vyšší množství mohlo být zapříčiněno suplementací krmiva jodem.

Obsah jodu ve žloutku vajec byl detekován v 54 vejcích (9 velkých hejn) a 96 vejcích (16 malých hejn) v roce 2004 a ve 135 vejcích (10 velkých hejn) a 114 vejcích (15 malých hejn) v roce 2005. V roce 2004 byl obsah jodu ve žloutku vajec z velkých hejn v rozsahu od 340,0 do 2022,0 $\mu g.kg^{-1}$, zatímco v roce 2005 činil 201,4 – 8128,8 $\mu g.kg^{-1}$. Ve vejcích z malých hejn bylo v roce 2004 zjištěno 73,1 – 1417,4 $\mu g.kg^{-1}$ jodu, v roce 2005 70,7 – 2463,3 $\mu g.kg^{-1}$ (Travnicek et al. 2006b).

3.4 Ekologická a konvenční produkce

Zemědělská produkce potravin je tvořena rostlinnou a živočišnou produkcí, které jsou dále členěny podle toho, zda jde o výrobu rostlinných plodin (obiloviny, okopaniny, luskoviny) či živočišných výrobků (maso, mléko, vejce). Mezi nejčastější metodu hospodaření patří konvenční (intenzivní) zemědělství. Ve vyspělých zemích se lze často setkat s dalšími metodami, z nichž je nejvýznamnější ekologické (šetrné) zemědělství. Tyto metody jsou označovány jako alternativní a dbají převážně na ekologii a životní prostředí. Dále se do této skupiny řadí biodynamické, biologické, integrované, organické, precizní a trvale udržitelné zemědělství (Šarapatka & Urban 2006; Gomiero 2018; Seufert 2019).

3.4.1 Ekologická produkce

Ekologické potraviny (biopotraviny) v posledním desetiletí stále více přitahují spotřebitele, jelikož jsou považovány za zdravější a udržitelnější pro životní prostředí než potraviny z konvenční produkce. Biopotraviny byly dříve k dispozici pouze v několika specializovaných obchodech, dnes jsou k dostání ve většině supermarketů. V Evropě a Severní Americe se trh s organickými potravinami rozšiřuje, v posledních letech o 10 – 15 % ročně, a předpokládá se, že bude nadále růst (Gomiero 2018). Počet farem produkujících biopotraviny se od 90. let výrazně zvýšil a očekává se, že nárůst stále poroste (Puech et al. 2014).

Ekologické zemědělství je systém zaměřený na produkci potravin s minimálním nepříznivým dopadem na životní prostředí a jeho jednotlivé složky, zvířata a lidi. Ekologická produkce se často považuje za řešení snížení negativního dopadu zemědělství na životní prostředí (Orjales et al. 2018; Boone et al. 2019). V ekologickém zemědělství je zakázáno používat látky, které zvyšují rizika kontaminace potravního řetězce. Místo použití synteticky vyrobených chemických prostředků (například průmyslová hnojiva a pesticidy) se ekologická produkce spoléhá na biologické činitele, jelikož základem je „zdravá“ půda. V ekologickém zemědělství se používají pouze povolená organická hnojiva a postřiky, neboť zvyšují úrodnost půdy. Dodržují se správné osevní postupy, které jsou šetrné ke zpracování půdy. Plevele jsou řízeny střídáním plodin, mulčováním, meziplodinou a krycí plodinou na úrodné půdě a ručním pletím. Půda se neoře, pouze kypří. Dále je kladen důraz na vhodné načasování setí a kontrolu plevelů a škůdců. Využívají se přírodní insekticidy, herbicidy a fungicidy (Šarapatka & Urban 2006; Gomiero 2018; Boone et al. 2019).

Každá biopotravina z České republiky, která prošla kontrolou a splňuje všechny požadavky zákona na ekologické zemědělství, musí být označena národním logem BIO (biozebra) a evropským logem (list) (obr. 15) (eAGRI 2012).

Obrázek 15: Značení potravin z ekologické produkce

V České republice je ekologická produkce ošetřena těmito dokumenty:

- Zákon č. 242/2000 Sb., o ekologickém zemědělství a o změně zákona č. 368/1992 Sb., o správních poplatcích, ve znění pozdějších předpisů (platnost od 9. 8. 2000, účinnost od 1. 1. 2001);
- Vyhláška Ministerstva zemědělství č. 16/2006 Sb., kterou se provádějí některá ustanovení zákona o ekologickém zemědělství (platnost od 19. 1. 2006, účinnost od 1. 2. 2006);
- Nařízení Rady (ES) 834/2007 o ekologické produkci a označování ekologických produktů a o zrušení nařízení (EHS) č. 2092/91;
- Nařízení Komise (ES) č. 889/2008, kterým se stanoví prováděcí pravidla k nařízení Rady (ES) č. 834/2007 o ekologické produkci a označování ekologických produktů;
- Nařízení Komise (ES) č. 1235/2008, kterým se stanoví prováděcí pravidla k nařízení Rady (ES) č. 834/2007, pokud jde o opatření pro dovoz ekologických produktů ze třetích zemí.

3.4.2 Konvenční produkce

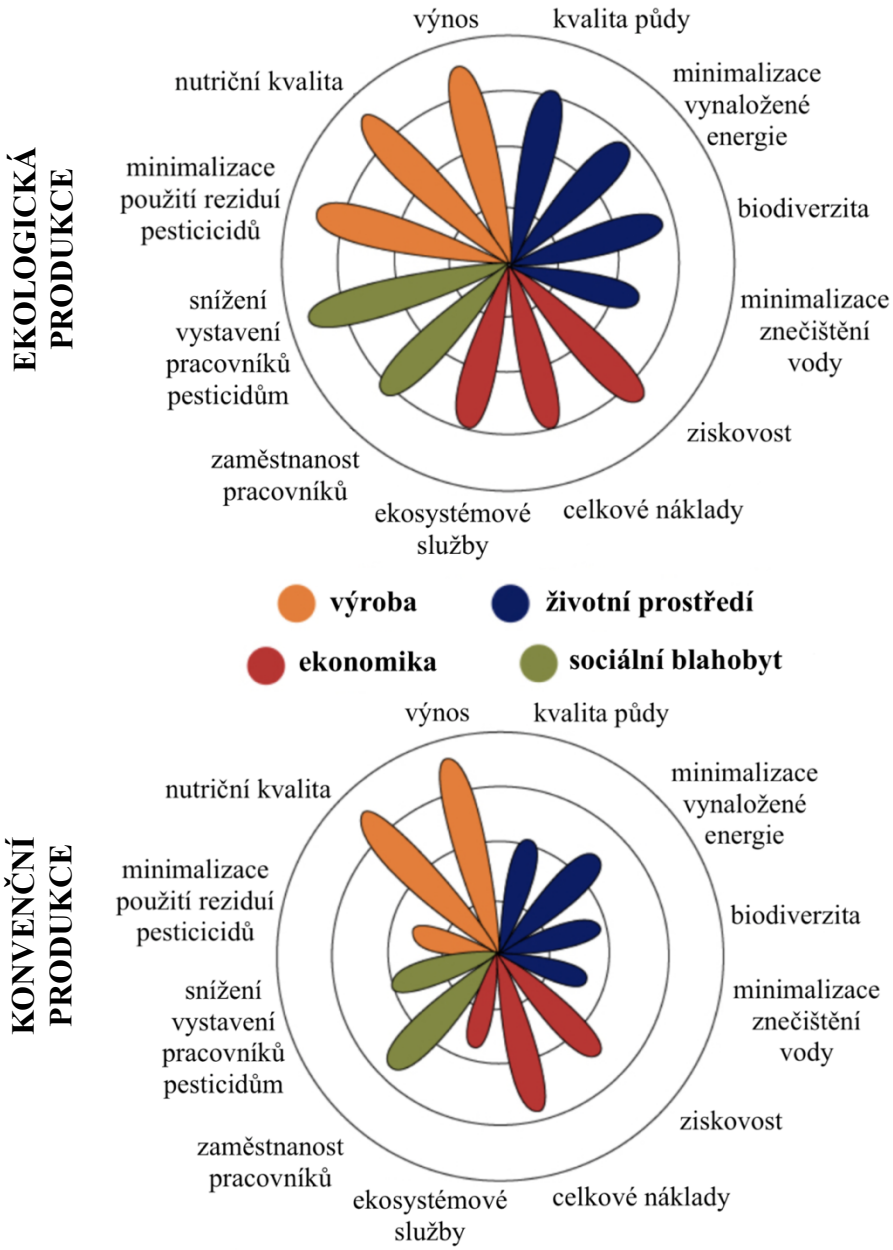
Konvenční hospodaření je systém převládající v průmyslově vyspělých zemích, který je charakteristický zvýšenou produkcí s malým ohledem na další faktory, například životní prostředí a dlouhodobou produktivitu půdy. Tato produkce využívá typické plodiny pro danou oblast, v níž se pěstují. V konvenční produkci je povoleno používat synteticky vyrobené chemikálie, například hnojiva a pesticidy, které mají negativní vliv na životní prostředí. Konvenční zemědělství je systém střídající plodiny, soustřeďuje se na zpracovávání půdy (například orbu) a využívá dalších řídících faktorů, které jsou v konkrétní oblasti nejčastější. Po celém světě jsou systémy pro konvenční produkci odlišné a v různých zeměpisných oblastech se mění. Využívá se sadba monokultur či střídání plodin. Kvůli pěstování monokultur a trvalému narušování půdy je v těchto oblastech nízká biodiverzita (Puech et al. 2014; Arriaga et al. 2017).

Konvenční zemědělství je v České republice legislativně zakomponováno v zákonu č. 252/1997 Sb., o zemědělství (platnost od 13. 10. 1997, účinnost od 12. 11. 1997).

3.4.3 Rozdíl mezi ekologickou a konvenční produkcí

Mezi ekologickou a konvenční produkcí existují rozdíly ve výrobě (použití reziduí pesticidů, nutriční kvalita), ekonomice (ekosystémové služby, celkové náklady, ziskovost), dopadu na životní prostředí (kvalita půdy, vynaložená energie, biodiverzita, znečistění vody) a sociálním blahobytu (vystavení pracovníků pesticidům, zaměstnanost). Tyto čtyři kategorie jsou barevně znázorněny pomocí okvětních lístků na obrázku 16 a vyznačují čtyři oblasti udržitelnosti. Kruhy představují procento udržitelnosti (25, 50, 75 a 100 %) a vyplývá z nich, že více lístků z ekologické produkce dosahuje vyšší procento udržitelnosti, než lístky z produkce konvenční (Reganold & Wachter 2016).

Výnosy v rámci ekologického hospodaření jsou v průměru o 19 až 25 % nižší než v konvenčním hospodaření (Seufert 2019). Úrodnosti je v ekologické produkci dosahováno organickým hnojením a danými osevními postupy, naopak konvenční produkce nemá pestré osevní postupy, používá průmyslová hnojiva a synteticky vyrobené pesticidy, které nejsou v ekologickém postupu povoleny (Šarapatka & Urban 2006; Popa et al. 2019). Proto je celkové množství živin pro rostliny (například dusíku) v ekologické produkci ve srovnání s konvenčním zemědělstvím nižší, avšak nutriční hodnota biopotravin je mírně vyšší ve srovnání s konvenčními, a to zejména pokud jde o obsah fenolických látek, vitamínů a minerálů. Nicméně v ekologickém chovu zvířata dostávají nižší množství koncentrovaného krmiva ve srovnání s konvenčním chovem (Popa et al. 2019). V ekologickém zemědělství je zakázáno používat geneticky modifikované organismy, antibiotika a hormony, ale konvenční způsob používá i odrůdy, které jsou získané z genetické modifikace (Gomiero 2018).



Obrázek 16: Posouzení ekologické a konvenční produkce

4 Materiál a metody

4.1 Použité přístroje, zařízení a pomůcky

Při stanovení selenu a jodu byly použity následující přístroje, zařízení a pomůcky:

- analytické váhy: KERN PLJ 300-3CM, KERN & SOHN GmbH, Německo;
- atomový absorpční spektrometr a jeho komponenty: Varian AA 280Z, Varian Inc., Austrálie;
    - automatický dávkovač vzorků: Varian SPS3, Varian Inc., Austrálie;
    - generátor par: VGA 77, Varian Inc., Austrálie;
    - lampa: Photron Lamps, Photron PTY. Ltd., Austrálie;
    - software: Varian SpectrAA;
- běžné laboratorní pomůcky: 15ml a 50ml kalibrované PP zkumavky se šroubovatelným uzávěrem, borosilikátové skleněné kádinky, nerezové pinzety, nerezové struhadlo, PE střičky, PE uzavíratelné sáčky, porcelánová třecí miska s tloučkem;
- běžné pomůcky pro vážení: nerezové lžičky, teflonové váženky;
- dávkovač chemikálií: BRAND® Dispensette® Organic Digital – Easy Calibration (1 – 10 ml), BRAND GMBH + CO KG, Německo;
- hmotnostní spektrometr s indukčně vázaným plazmatem a jeho komponenty: Agilent 7700x, Agilent Technologies, Inc., USA;
    - automatický dávkovač vzorků: autosampler ASX-500, Agilent Technologies, Inc., USA;
    - dvouplášťová Scottova mlžná komora;
    - kvadrupólový hmotnostní filtr;
    - mikrokoncentrický zmlžovač MicroMist;
    - provozní hnací plyn Ar 99,999%: AIR PRODUCTS, spol. s r.o., Česká republika;
    - software: MassHunter 2012;
- chladicí zařízení: R6139W, Gorenje Corporate GmbH, Slovinsko;
- laboratorní mlýnek: IKA A 11 basic, IKA®-Werke GmbH & Co. KG, Německo;
- laboratorní pH-metr: pH 2700, Eutech Instruments Pte Ltd, USA;
- lyofilizátor: LYOVAC GT 2, Steris, Německo;
- mikrovlnné rozkladné zařízení: Speedwave MWS-3^{+}, Berghof Product + Instruments GmbH, Německo;
    - software: MWS Auto Control;
    - tlakové rozkladné nádoby: DAP-60+ s tlakovými a hliníkovými diskovými pojistkami a otočnými víčky, Berghof Product + Instruments GmbH, Německo;
- mrazicí zařízení: F6311, Gorenje Corporate GmbH, Slovinsko;
- stolní počítač;
- topná deska s regulátorem: JRT-350, ALTEC a.s., Česká republika;
- zařízení určené k přípravě ultračisté vody: SCI-AQUA ULTRA, Science Instruments and Software, s.r.o., Česká republika.

4.2 Použité chemikálie

Při stanovení selenu a jodu byly použity následující chemikálie:

- amoniak (NH_4OH) 21% vodný roztok: Analpure®, pro stopovou analýzu, ANALYTIKA®, spol. s r.o., Česká republika;
- certifikovaný referenční materiál Skimmed Milk Powder (ERM® – BD151): European Commission – Joint Research Centre, Belgie;
- certifikovaný vodný roztok ASTASOL®-Se 1000 ± 2 $mg.l^{-1}$ Se: ANALYTIKA®, spol. s r.o., Česká republika;
- certifikovaný vodný roztok ASTASOL®-Te 1000 ± 2 $mg.l^{-1}$ Te: ANALYTIKA®, spol. s r.o., Česká republika;
- hydroxid sodný (NaOH) p.a.: Lach-Ner, s.r.o., Česká republika;
- jodid draselný (KI) p.a.: PENTA s.r.o., Česká republika;
- kyselina dusičná (HNO_3) 67%: Analpure®, pro stopovou analýzu, ANALYTIKA®, spol. s r.o., Česká republika;
- kyselina chlorovodíková (HCl) 36%: Analpure® SD, pro stopovou analýzu, ANALYTIKA®, spol. s r.o., Česká republika;
- kyselina mravenčí (HCOOH) 98%, puriss. p.a.: SIGMA-ALDRICH, CO., USA;
- ladící roztok obsahující 1 $\mu g.l^{-1}$ Ce, Co, Li, Mg, Tl, Y: Agilent Technologies, Inc., USA;
- peroxid vodíku (H_2O_2) 30% p.a.+: ANALYTIKA®, spol. s r.o., Česká republika;
- tetrahydridoboritan sodný ($NaBH_4$) 96%, puriss. p.a.: SIGMA-ALDRICH, CO., USA;
- ultračistá demineralizovaná voda (demi H_2O).

4.3 Materiál

Analyzované vzorky potravin byly zakoupeny v dostupných obchodních řetězcích a internetových obchodech v České republice (Albert, Billa, Biopark, dm drogerie, Fresh bedýnky, Kaufland, Košík, Tesco). Zakoupené potraviny pocházely ze dvou odlišných druhů produkce (ekologické a konvenční). Tento soubor potravin představoval potraviny nejčastěji konzumované občany České republiky. Celkem bylo analyzováno 56 vzorků potravin (23 vzorků z ekologické produkce a 33 vzorků z konvenční produkce). Z potravin rostlinného původu byly vybrány brambory, cibule, jablka a rýže. Dále byly zakoupeny vzorky živočišného původu, konkrétně kuřecí játra, kuřecí prsní řízky, plnotučná kravská mléka, vejce a ryby. Pro zajímavost byly do analýzy začleněny vzorky čokolád s 50 – 70% obsahem kakaa. Detailní údaje o vybraných potravinách a jejich výrobcích a dodavatelích jsou shrnuty v příloze (tabulky 23 a 24).

Veškeré potraviny byly před vlastní analýzou upraveny vhodnými fyzikálními a chemickými metodami. Brambory, cibule a jablka byly odslupkovány. Vejce byla zbavena skořápek a rozdělena na bílky a žloutky. Následně byly veškeré vzorky (kromě čokolád a rýží) zmrazeny na teplotu -18 °C a podrobeny lyofilizaci. Tento proces probíhal v lyofilizátoru ve vakuu po dobu přibližně 100 hodin. Vzorky čokolád a rýží nebylo nutné lyofilizovat

z důvodu relativně nízkého obsahu vody oproti ostatním zmíněným potravinám. Poté byly vzorky zhomogenizovány do finální podoby vhodné k analýze. Brambory, cibule, jablka, kuřecí játra a prsní řízky, rýže a ryby byly rozemlety na jemný prášek laboratorním mlýnkem. Čokolády byly nastrouhány najemno pomocí struhadla. Mléka, bílky a žloutky byly rozmělněny pomocí tloučku v třecí misce.

Všechny vzorky potravin byly kvantitativně převedeny do plastových uzavíratelných sáčků a důkladně promíchány, čímž se vytvořila homogenní směs. Takto připravené vzorky byly uchovávány v chladícím zařízení a byly použity pro stanovení selenu a jodu v potravinách.

4.4 Analytické metody pro stanovení selenu a jodu

4.4.1 Stanovení selenu

Pro stanovení selenu ve vzorcích biologických materiálů se často používá atomová absorpční spektrometrie (AAS) s technikou generování hydridů (HG-AAS, hydride generation atomic absorption spectrometry). Hydridová technika spočívá v generování těkavého kovalentního hydridu H_2Se po redukci selenu na hydrid v kapalné fázi, v jeho převedení do fáze plynné a následné atomizaci hydridu v optické dráze atomového absorpčního spektrofotometru. Tato metoda odstraňuje některé spektrální interference a separací analytu do plynné fáze dochází ke zvýšené citlivosti. Nespektrální interference jsou přítomny v kapalné fázi během redukce analytu na hydrid, dále při uvolňování hydridu z roztoku a v plynné fázi v atomizátoru. Výhodou této metody je odstranění rušivých elementů v plynné fázi, stanovení stopových množství a rychlé měření (přibližně jeden vzorek za 30 – 50 sekund) (Hegedűs et al. 2008).

Předem připravené vzorky potravin byly naváženy v množství přibližně 0,3 g do teflonových váženek a převedeny do tlakových rozkladných nádob. Ke vzorkům byly přidány 2 ml 67% HNO_3 a 3 ml 30% H_2O_2, obsah byl důkladně promíchán a ponechán reagovat po dobu 30 minut (rostlinné vzorky) nebo do druhého dne (živočišné vzorky) pod filtračním papírem. Po uplynutí této doby byly nádoby uzavřeny tlakovými i hliníkovými diskovými pojistkami a otočnými víčky a umístěny do rotoru mikrovlnného rozkladného zařízení. Rozklad probíhal 1 hodinu při maximální teplotě 190 °C a zvyšujícím se tlaku. Po skončení programu byly nádoby vyjmuty ze zařízení a ponechány temperovat na laboratorní teplotu. Získané mineralizáty byly kvantitativně převedeny pomocí demi H_2O do 50ml kádinek a odpařeny na topné desce při 150 °C do vlhkého zbytku. Po ochlazení kádinek na laboratorní teplotu byl do každé kádinky pipetován 1 ml 10% HCl. Dále byl do kádinek přidán 1 ml 98% HCOOH pro redukci nezreagovaných zbytků oxidů dusíku z reakční směsi. Aby došlo k redukci všech sloučenin selenu v mineralizátu na Se^{4+} byly do kádinek přidány 2 ml demi H_2O a 3 ml 36% HCl. Kádinky s roztokem byly opět přeneseny na topnou desku zahřátou na 100 °C a ohřívány po dobu 20 minut. V průběhu zahřívání často probíhaly bouřlivé reakce projevující se žlutým zabarvením vzorku. V případě této reakce byla kádinka odstraněna z topné desky a redukce se nechala proběhnout při nižší teplotě. Po uplynutí této doby byly mineralizáty kvantitativně převedeny do 15ml plastových zkumavek se šroubovacím uzávěrem a doplněny 10% HCl na objem 12 ml (Phuong et al. 2017).

Obsah selenu v připravených mineralizátech vzorků potravin byl měřen technikou generování hydridů na atomovém absorpčním spektrometru s generátorem par, automatickým dávkovačem vzorků a lampou pro stanovení selenu. Na přípravu kalibračních roztoků byl použit certifikovaný vodný roztok selenu o koncentraci 1000 ± 2 $mg.l^{-1}$ Se a na generování hydridu selenu alkalický roztok 0,6% $NaBH_4$ v 0,5% roztoku NaOH a 10% HCl. Množství selenu bylo měřeno při vlnové délce 196 nm a všechny vzorky byly paralelně připraveny a analyzovány ve třech opakováních.

4.4.2 Stanovení jodu

Ke stanovení jodu v potravinách se používá celá řada analytických metod (například chromatografické, elektrochemické metody, kolorimetrické stanovení, neutronová aktivační analýza) včetně spektrometrie. Nicméně ne všechny metody jsou vhodné pro stanovení jodu v potravinách, jelikož mohou být nespecifické, náchylné k okolním vlivům, s časovou náročností přípravy vzorků a v některých případech dochází ke ztrátám jodu těkáním ve formě jodovodíku (HI) či I_2, a proto nedosahují citlivosti moderních metod. Kvůli vysoké selektivitě a citlivosti se pro kvantitativní stanovení jodu v biologických vzorcích, po předchozí mineralizaci vzorku na mokré cestě, běžně používá hmotnostní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem (ICP-MS, inductively coupled plasma mass spectrometry). Tato technika je velmi rychlá a výkonná pro stanovení stopového množství jodu v potravinách, je ale nutné správně uchovávat analyzovaný materiál a zajistit kompletní mineralizaci vzorku, jelikož zbytkový organický uhlík způsobuje nespektrální interferenci v ICP-MS, a to falešným zvýšením signálu jodu. Dále jsou důležité čisté pracovní prostředí, vhodné stabilizační činidlo a vnitřní standardy (Julshamn et al. 2001; Mesko et al. 2010; Todorov & Gray 2016).

Připravené vzorky potravin byly naváženy do teflonových váženek v množství přibližně 0,3 g. Následně byly převedeny do tlakových rozkladných nádob, kam byly postupně přidány 2 ml 67% HNO_3 a 3 ml 30% H_2O_2. Obsah byl důkladně promíchán a nádoby byly ponechány pod filtračním papírem kvůli důkladnému proběhnutí rozkladné reakce po dobu půl hodiny u potravin rostlinného původu nebo přes noc (potraviny živočišného původu). Po uplynutí této doby byly nádoby uzavřeny tlakovými a hliníkovými diskovými pojistkami, otočnými víčky a celé nádoby byly ohřívány v mikrovlnném rozkladném zařízení. Rozklad probíhal v uzavřeném systému 60 minut při zvyšujícím se tlaku a teplotě do 190 °C. Po rozkladu byly nádoby vyjmuty ze zařízení a ponechány k ochlazení na laboratorní teplotu. Získané mineralizáty byly kvantitativně převedeny pomocí demi H_2O do plastových 50ml zkumavek se šroubovacím uzávěrem a doplněny na objem 20 ml. Při stanovení jodu v mineralizátech různých potravin je nezbytné zamezit vzniku těkavých forem jodu, které se mohou tvořit v kyselém prostředí. Jako stabilizátor se nejčastěji používá například vodný roztok amoniaku (NH_4OH), hydroxid draselný (KOH), sodný (NaOH) nebo hydroxid tetramethylamonný (TMAH). Z důvodu stabilizace musely být vzorky převedeny z kyselého prostředí do alkalického, proto z celkového objemu připraveného mineralizátu (20 ml) bylo odpipetováno 10 ml mineralizátu do 50ml plastové zkumavky se šroubovatelným uzávěrem a tento alikvotní podíl byl naředěn do finálního objemu 20 ml pomocí 3% NH_4OH (1:1 obj.). Před měřením byla provedena úprava pH vzorku na výslednou hodnotu 9 – 10 pomocí koncentrovaného

21% NH_4OH (do mineralizátu byla přidána pouze kapka). Výsledné pH bylo zkontrolováno pomocí laboratorního pH-metru (Julshamn et al. 2001; Mesko et al. 2010).

Obsah jodu ve vzorcích potravin byl měřen pomocí hmotnostního spektrometru s indukčně vázaným plazmatem. Citlivost a stabilita signálu byla denně optimalizována pomocí ladícího roztoku obsahujícího 1 $\mu g.l^{-1}$ ceru, hořčíku, kobaltu, lithia, thalia a yttria. Atomy jodu v plazmatu patří mezi obtížně ionizovatelné, jelikož mají vysokou hodnotu prvního ionizačního potenciálu, což se odráží v nižší citlivosti stanovení jodu a v náchylnosti k nespektrálním interferencím z matrice vzorku. Z těchto důvodů je důležité zvolit vhodný interní standard pro korekci signálu jodu vlivem matrice a driftu signálu přístroje s časem. Pro stanovení jodu byl použit certifikovaný vodný roztok telluru jako interní standard, neboť hodnoty prvního ionizačního potenciálu a hmotnosti částic jsou pro dvojici $^{127}I^+$ a $^{125}Te^+$ podobné (Julshamn et al. 2001). Na přípravu kalibračních roztoků byl použit zásobní roztok KI v matrici 0,5% NH_4OH. Vzorky byly paralelně připraveny a analyzovány ve třech opakováních.

4.4.3 Meze detekce a meze stanovitelnosti selenu a jodu

Kalibrační roztoky byly proměřeny v rozmezí 0 – 20 $\mu g.l^{-1}$ selenu a 0,1 – 100 $\mu g.l^{-1}$ jodu. Mez detekce (LOD, limit of detection) stanoví nejnižší obsah analytu ve vzorku, který lze spolehlivě detekovat nebo kvantifikovat. Mez stanovitelnosti (LOQ, limit of quantitation) určuje nejnižší množství analytu, které lze za daných podmínek analytických metod s definovanou přesností a správností kvantitativně analyzovat (Uhrovčík 2014).

V tabulce 5 jsou uvedeny vypočtené hodnoty LOD a LOQ pro analytické stanovení selenu i jodu. LOD byla stanovena součtem střední hodnoty (aritmetického průměru) obsahu prvků detekovaných ve všech slepých vzorcích a trojnásobku směrodatné odchylky vypočtené z hodnot obsahů prvků v souboru slepých pokusů. LOQ odpovídá trojnásobné hodnotě LOD. V případě, že stanovený obsah prvku ve vzorku byl pod mezí detekce (< LOD), bylo do výpočtu celkového průměrného obsahu selenu nebo jodu v daném souboru dat vzato poloviční množství LOD, a to konkrétně 0,75 $\mu g.kg^{-1}$ selenu a 4,0 $\mu g.kg^{-1}$ jodu.

Tabulka 5: Meze detekce a stanovitelnosti selenu a jodu pro použité metody stanovení

Parametr	Obsah [$\mu g.kg^{-1}$]	
	selen	**jod**
Mez detekce	1,5	8,0
Mez stanovitelnosti	5,2	26,5

5 Výsledky

Kvalita naměřených dat byla prověřena souběžnou analýzou certifikovaného referenčního materiálu (CRM). Pro ověření správnosti a přesnosti popsaných metod byl použit CRM Skimmed Milk Powder (ERM® – BD151) s certifikovaným obsahem 190 ± 40 $\mu g.kg^{-1}$ selenu a 1780 ± 170 $\mu g.kg^{-1}$ jodu. Výrobce CRM je European Commission – Joint Research Centre se sídlem v Belgii. Stanovené a deklarované obsahy selenu a jodu u CRM jsou uvedeny v tabulce 6. Zjištěné množství prvků v CRM bylo v souladu s intervalem spolehlivosti obsahu prvků deklarovaným výrobcem. Výtěžnost prvků z CRM byla stanovena na 96 % selenu a 92 % jodu, což lze považovat za vyhovující.

Úroveň pozadí laboratoře byla monitorována zařazením slepých vzorků v každém cyklu mineralizačního zařízení (jedna mineralizační sada byla složena z 9 vzorků potravin, 2 slepých vzorků a 1 vzorku s CRM), které byly připraveny za stejných podmínek, ale bez navážky vzorků potravin. V případě stanovení selenu i jodu se jednalo o 17 % slepých vzorků z celkového počtu mineralizátů. Experimentální hodnoty byly korigovány průměrnou koncentrací analytu ve slepém vzorku.

Tabulka 6: Průměrný obsah selenu a jodu v certifikovaném referenčním materiálu

Parametr	Obsah	
	selen	**jod**
Certifikovaná hodnota [$\mu g.kg^{-1}$]	190 ± 40	1780 ± 170
Průměr experimentálních hodnot [$\mu g.kg^{-1}$]	182 ± 19	1640 ± 153
Interval experimentálních hodnot [$\mu g.kg^{-1}$]	147 – 202	1581 – 1688
Výtěžnost [%]	96	92

Vyhodnocení experimentálně získaných dat bylo provedeno pomocí programu Microsoft Office Excel 2019. Z výsledků analýz pro každý vzorek byl ze třech opakování vypočítán průměr, směrodatná odchylka a relativní směrodatná odchylka (S_R).

Pro statistickou analýzu dat byl použit software Statistica 12. Pro statistické zhodnocení rozdílu obsahu selenu a jodu v potravinách různé produkce (ekologická a konvenční) byl využit test analýzy rozptylu neboli ANOVA. Byly stanoveny nulové hypotézy testované na hladině významnosti $\alpha = 0{,}05$ (95% interval spolehlivosti):

- **$H0_1$:** obsah selenu a jodu ve stejných potravinách nezávisí na jejich původu,
- **$H0_2$:** obsah selenu a jodu v různých potravinách se neliší.

Pro podrobnější statistické vyhodnocení byl použit post-hoc test, tzv. Scheffého test, ve kterém byly sledovány statisticky významné rozdíly obsahu selenu a jodu mezi jednotlivými komoditami potravin. Statistické hodnocení je nutné brát pouze jako orientační, vzhledem k malému počtu dat v jednotlivých skupinách potravin.

5.1 Obsah selenu a jodu ve vybraných vzorcích potravin dle produkce

5.1.1 Brambory

Průměrné obsahy selenu a jodu v jednotlivých vzorcích brambor z ekologického a konvenčního zemědělství jsou uvedeny v tabulce 7 a grafu 1. Průměrné množství obou prvků bylo vyšší v bramborách z ekologického zemědělství (graf 2). Obsah selenu v bramborách dle získané p-hodnoty (0,67859) nezávisí na jejich původu (Příloha graf 28), neexistuje tedy statisticky významný rozdíl mezi ekologickou a konvenční produkcí brambor. V případě jodu tomu bylo naopak, jelikož p-hodnota je 0,00375, existuje signifikantní rozdíl mezi ekologickou a konvenční produkcí v obsahu jodu v bramborách (Příloha graf 29).

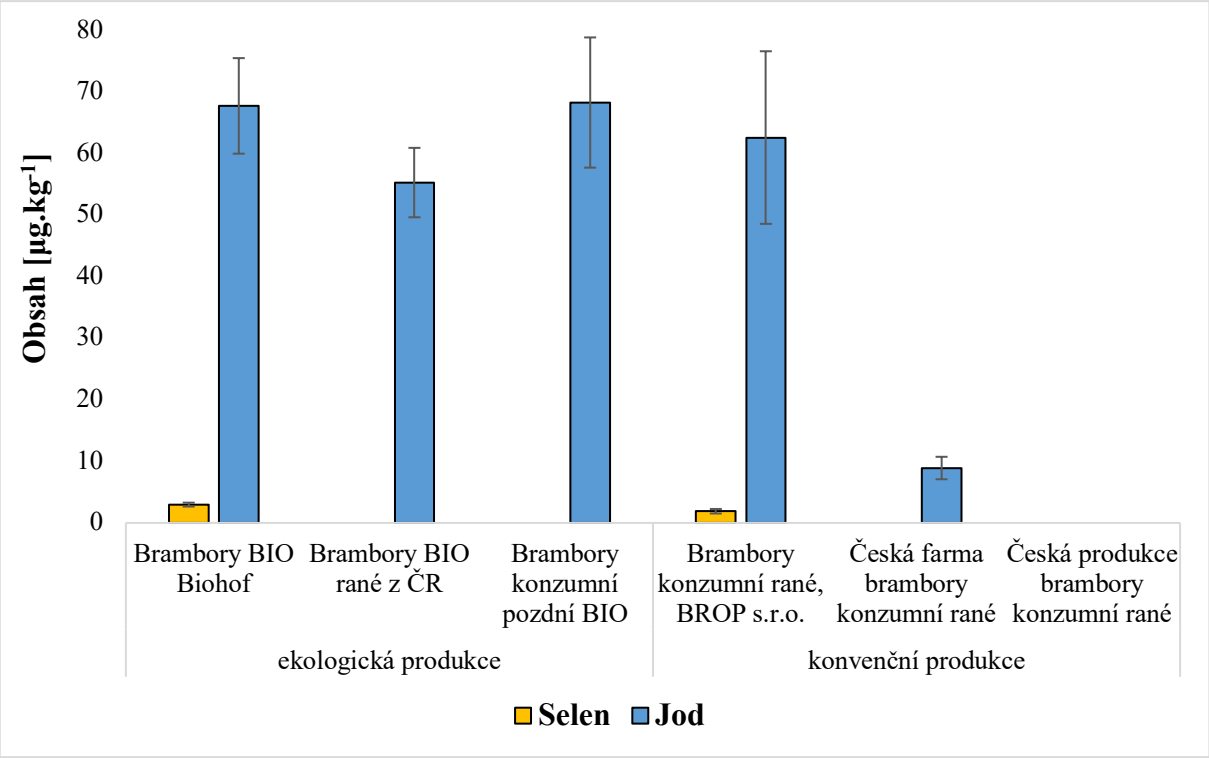
Průměrný obsah selenu v bramborách vyprodukovaných v ekologickém zemědělství byl 2,1 ± 1,2 $\mu g.kg^{-1}$, nejvyšší množství obsahovaly brambory BIO Biohof (3,0 ± 0,3 $\mu g.kg^{-1}$). Průměrné množství selenu v bramborách z konvenční produkce činilo 1,4 ± 0,9 $\mu g.kg^{-1}$ a nejvyšší hodnotu měly brambory od firmy BROP s.r.o. (1,9 ± 0,4 $\mu g.kg^{-1}$).

Průměrný obsah jodu v bramborách z ekologické produkce činil 63,8 ± 9,6 $\mu g.kg^{-1}$ s intervalem hodnot od 49,0 do 77,8 $\mu g.kg^{-1}$. Nejvyšší množství jodu měly z ekologické produkce brambory konzumní pozdní BIO (68,3 ± 10,6 $\mu g.kg^{-1}$). Průměrný obsah jodu brambor z konvenčního zemědělství byl 34,3 ± 31,8 $\mu g.kg^{-1}$. Stejně jako v případě selenu měly nejvyšší množství jodu brambory konzumní rané (firma BROP s.r.o.).

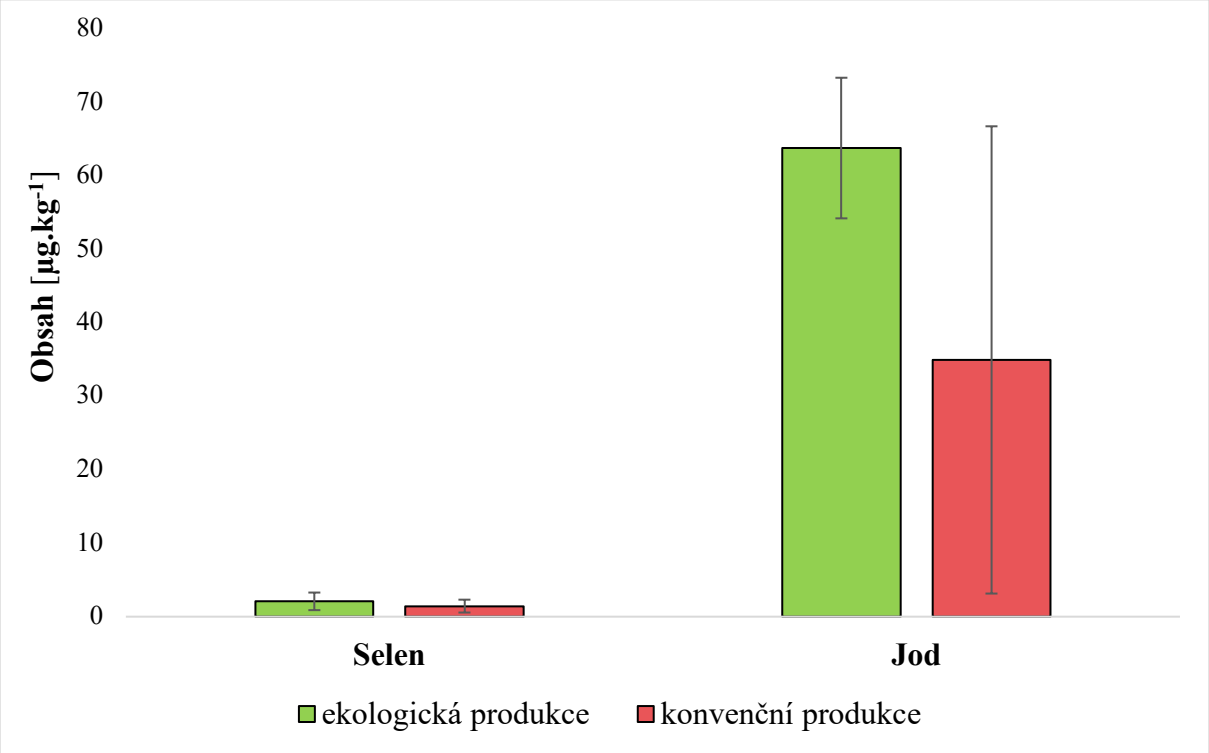
Průměrný obsah selenu ve vzorcích brambor byl 1,8 ± 1,1 $\mu g.kg^{-1}$ a průměrný obsah jodu 52,0 ± 27,5 $\mu g.kg^{-1}$.

Tabulka 7: Obsah selenu a jodu ve vzorcích brambor

Produkce	Brambory	Obsah [$\mu g.kg^{-1}$]	
		selen	**jod**
Ekologická	Brambory BIO Biohof	3,0 ± 0,3	67,7 ± 7,8
	Brambory BIO rané z ČR	< 1,5	55,3 ± 5,6
	Brambory konzumní pozdní BIO	< 1,5	68,3 ± 10,6
	Celkový průměr	2,1 ± 1,2	63,8 ± 9,6
	Interval hodnot	< 1,5 – 3,2	49,0 – 77,8
	S_R [%]	57,4	15,0
Konvenční	Brambory konzumní rané, BROP s.r.o.	1,9 ± 0,4	62,6 ± 14,0
	Česká farma – brambory konzumní rané	< 1,5	8,9 ± 1,8
	Česká produkce – brambory konzumní rané	< 1,5	< 8,0
	Celkový průměr	1,4 ± 0,9	34,3 ± 31,8
	Interval hodnot	< 1,5 – 2,3	< 8,0 – 75,3
	S_R [%]	60,9	92,6
Brambory souhrnně	**Celkový průměr**	1,8 ± 1,1	52,0 ± 27,5
	Interval hodnot	< 1,5 – 3,2	< 8,0 – 77,8
	p-hodnota	0,67859	0,00375



Graf 1: Průměrný obsah selenu a jodu v jednotlivých vzorcích brambor



Graf 2: Průměrný obsah selenu a jodu ve vzorcích brambor dle produkce

5.1.2 Cibule

Tabulka 8 a graf 3 uvádí průměrné obsahy selenu a jodu v jednotlivých vzorcích cibulí z ekologické a konvenční produkce. Průměrné množství obou prvků bylo vyšší ve vzorcích cibulí z ekologické produkce (graf 4). P-hodnota pro selen (0,64569) i jod (0,15809) je vyšší než stanovená hladina významnosti ($\alpha = 0,05$), proto neexistuje statisticky významný rozdíl mezi různými typy produkce (Příloha grafy 30 a 31).

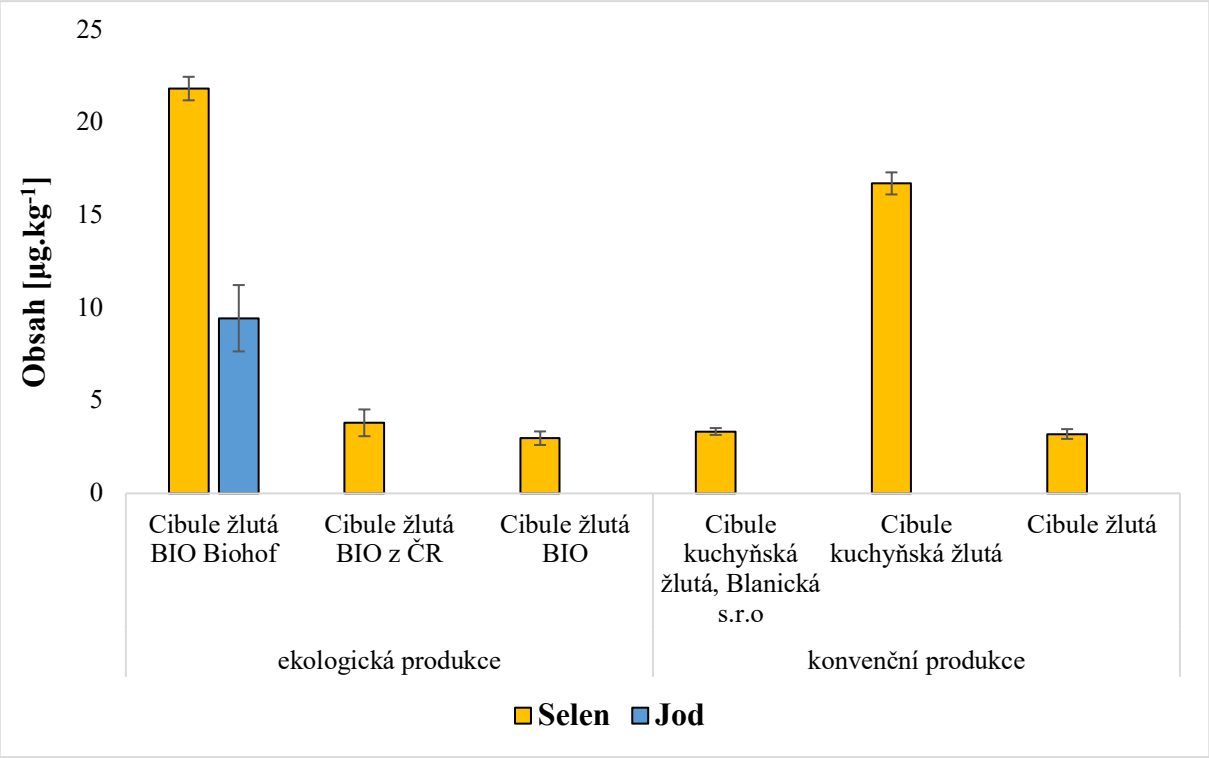
Průměrné množství selenu ve vzorcích cibulí z ekologické produkce činilo $9,6 \pm 9,3$ $\mu g.kg^{-1}$. Nejvyšší množství selenu měla cibule žlutá BIO Biohof, a to $21,9 \pm 0,6$ $\mu g.kg^{-1}$. Průměrný obsah selenu ve vzorcích cibulí z konvenčního zemědělství byl $7,8 \pm 6,7$ $\mu g.kg^{-1}$, nejvyšší množství selenu měl vzorek cibule kuchyňská žlutá z Egypta ($16,7 \pm 0,6$ $\mu g.kg^{-1}$).

Při analýzách vzorků cibulí byl nad mezí detekce stanoven obsah jodu pouze v jednom vzorku cibule, a to ekologicky vypěstované cibule žluté BIO Biohof ($9,5 \pm 1,8$ $\mu g.kg^{-1}$).

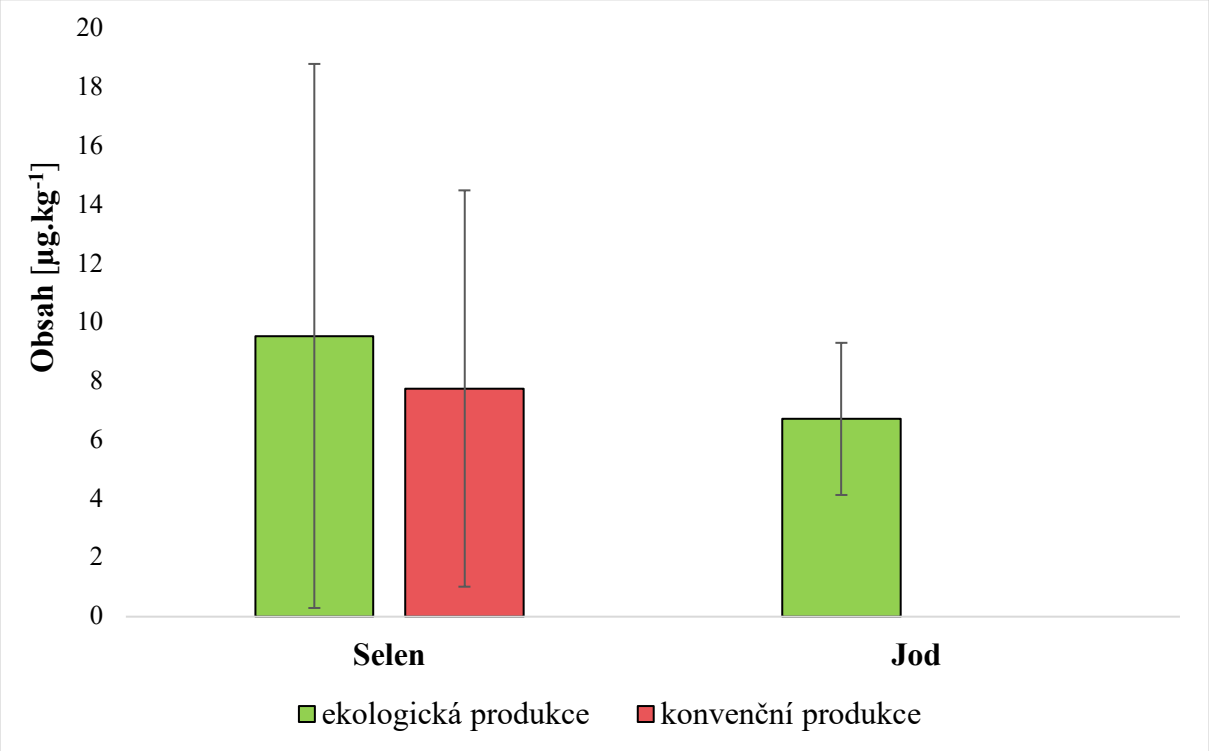
Průměrný obsah selenu ve vzorcích cibulí byl $8,7 \pm 7,9$ $\mu g.kg^{-1}$ a průměrný obsah jodu $5,6 \pm 3,4$ $\mu g.kg^{-1}$.

Tabulka 8: Obsah selenu a jodu ve vzorcích cibulí

Produkce	Cibule	Obsah [$\mu g.kg^{-1}$]	
		selen	**jod**
Ekologická	Cibule žlutá BIO Biohof	21,9 ± 0,6	9,5 ± 1,8
	Cibule žlutá BIO z ČR	3,8 ± 0,7	< 8,0
	Cibule žlutá BIO ze Španělska	3,0 ± 0,4	< 8,0
	Celkový průměr	9,6 ± 9,3	6,7 ± 2,6
	Interval hodnot	2,7 – 22,5	8,2 – 10,7
	S_R [%]	96,9	38,5
Konvenční	Cibule kuchyňská žlutá, Blanická s.r.o	3,3 ± 0,2	< 8,0
	Cibule kuchyňská žlutá z Egypta	16,7 ± 0,6	< 8,0
	Cibule žlutá z Nového Zélandu	3,2 ± 0,3	< 8,0
	Celkový průměr	7,8 ± 6,7	< 8,0
	Interval hodnot	3,0 – 17,2	< 8,0
	S_R [%]	86,9	-
Cibule souhrnně	**Celkový průměr**	8,7 ± 7,9	5,6 ± 3,4
	Interval hodnot	2,7 – 22,5	< 8,0 – 10,7
	p-hodnota	0,64569	0,15809



Graf 3: Průměrný obsah selenu a jodu v jednotlivých vzorcích cibulí



Graf 4: Průměrný obsah selenu a jodu ve vzorcích cibulí dle produkce

5.1.3 Čokolády

V tabulce 9 a grafu 5 jsou uvedené průměrné obsahy selenu a jodu ve vzorcích čokolád z ekologického a konvenčního zemědělství. Průměrný obsah selenu byl vyšší v čokoládách z konvenční produkce, kdežto obsah jodu v čokoládách z ekologické produkce (graf 6). Dle p-hodnoty selenu (0,37331) neexistuje signifikantní rozdíl mezi ekologickou a konvenční produkcí ve vzorcích čokolád (Příloha graf 32). V případě jodu je p-hodnota (0,00101) menší než stanovená hladina významnosti, proto existuje statisticky významný rozdíl mezi produkcemi (Příloha graf 33).

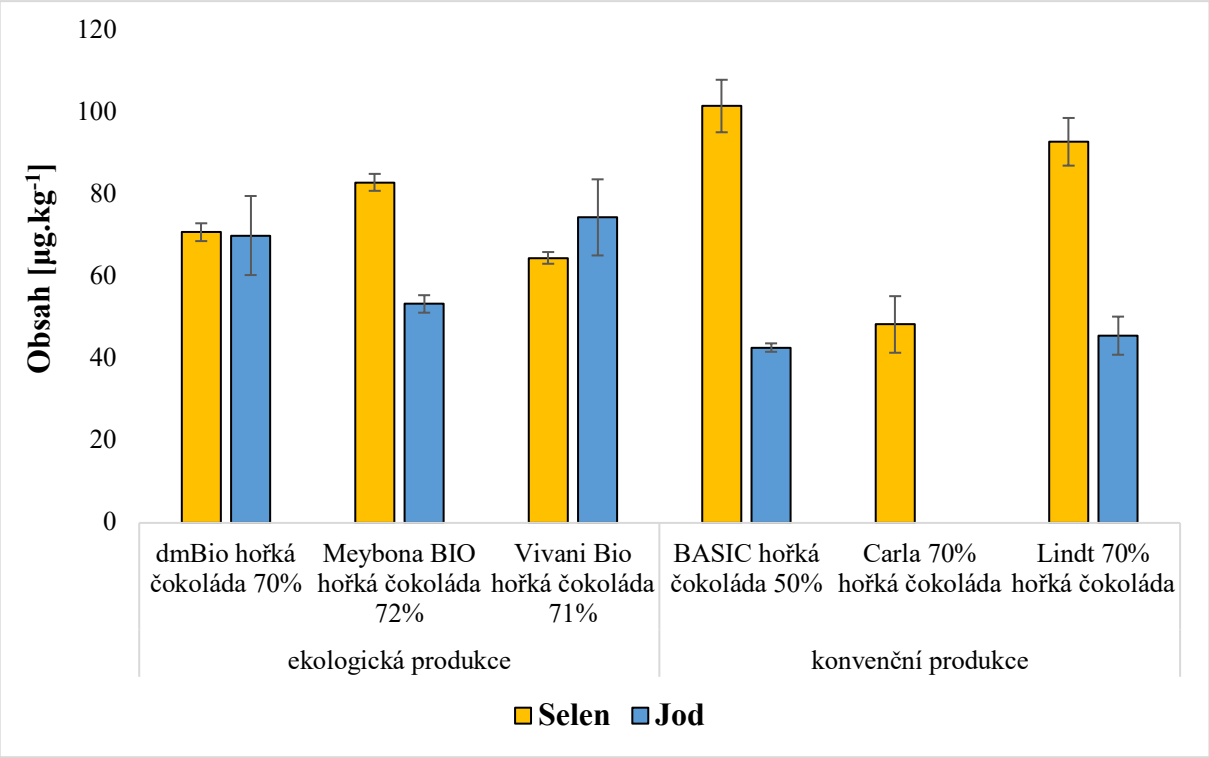
Průměrné množství selenu ve vzorcích čokolád z ekologické produkce bylo 72,8 ± 8,3 $\mu g.kg^{-1}$ s intervalem hodnot 63,3 – 85,3 $\mu g.kg^{-1}$, z nichž nejvyšší obsah měla Meybona BIO hořká čokoláda se 72% obsahem kakaa (83,0 ± 2,1 $\mu g.kg^{-1}$). Průměrný obsah selenu v čokoládách z konvenčního zemědělství byl stanoven 80,9 ± 25,3 $\mu g.kg^{-1}$, interval experimentálně získaných hodnot se pohyboval od 40,5 do 108,9 $\mu g.kg^{-1}$ selenu. Nejvyšší množství selenu v čokoládách z konvenční produkce i z čokolád celkově měl vzorek BASIC hořká čokoláda s 50% obsahem kakaa, který byl zakoupený v obchodním řetězci Albert, a to 101,6 ± 6,4 $\mu g.kg^{-1}$.

Průměrný obsah jodu v čokoládách z ekologického zemědělství byl stanoven 67,5 ± 11,5 $\mu g.kg^{-1}$ s intervalem hodnot 51,8 – 81,3 $\mu g.kg^{-1}$. Nejvyšší obsah měla hořká čokoláda Vivani Bio se 71% obsahem kakaa (74,4 ± 9,3 $\mu g.kg^{-1}$). Průměrné množství jodu v čokoládách z konvenční produkce bylo 36,1 ± 19,7 $\mu g.kg^{-1}$ (interval hodnot < 8,0 – 48,9 $\mu g.kg^{-1}$). Obsah jodu pod mezí detekce byl zaznamenán ve vzorku čokolády Carly zakoupené v obchodě Billa.

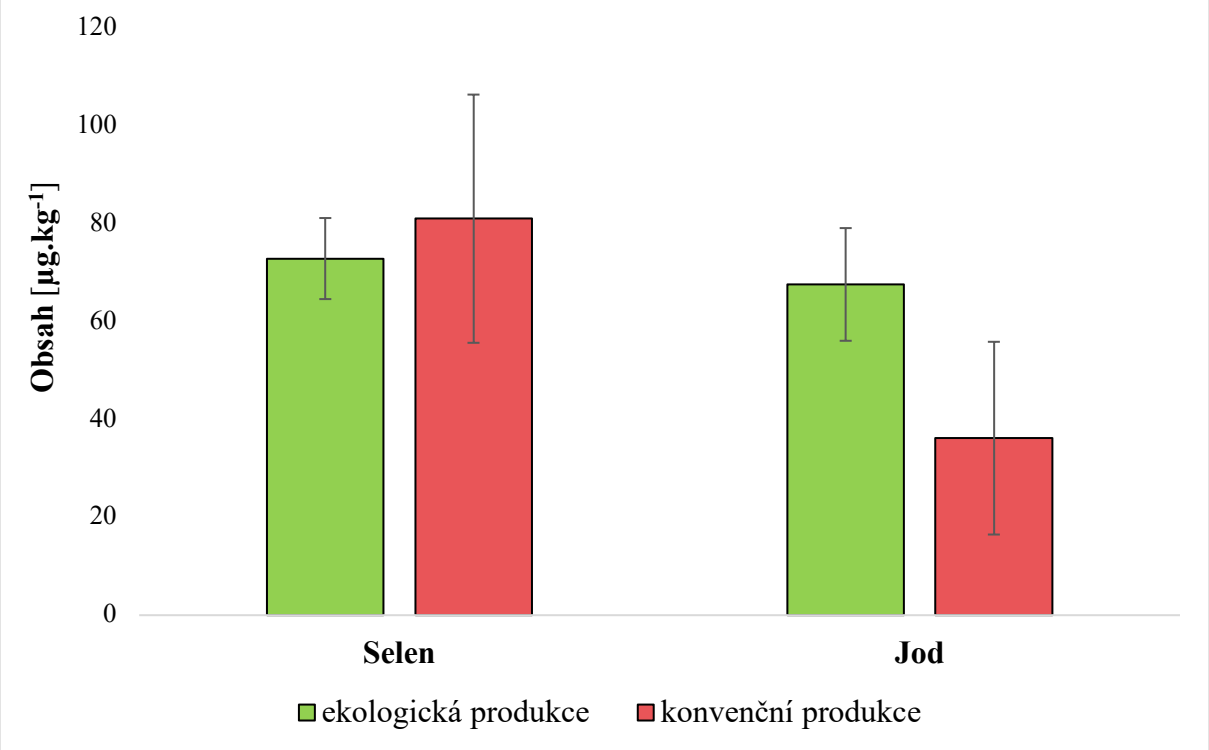
Průměrný obsah selenu ve vzorcích čokolád byl stanoven 76,9 ± 18,8 $\mu g.kg^{-1}$ a 55,4 ± 23,7 $\mu g.kg^{-1}$ jodu.

Tabulka 9: Obsah selenu a jodu ve vzorcích čokolád

Produkce	Čokolády	Obsah [$\mu g.kg^{-1}$]	
		selen	**jod**
Ekologická	dmBio hořká čokoláda 70%	70,8 ± 2,2	70,0 ± 9,6
	Meybona BIO hořká čokoláda 72%	83,0 ± 2,1	53,4 ± 2,1
	Vivani Bio hořká čokoláda 71%	64,6 ± 1,4	74,4 ± 9,3
	Celkový průměr	72,8 ± 8,3	67,5 ± 11,5
	Interval hodnot	63,3 – 85,3	51,8 – 81,3
	S_R [%]	11,4	17,0
Konvenční	BASIC hořká čokoláda 50%	101,6 ± 6,4	42,7 ± 1,0
	Carla 70% hořká čokoláda	48,4 ± 6,9	< 8,0
	Lindt 70% hořká čokoláda	92,9 ± 5,8	45,6 ± 4,6
	Celkový průměr	80,9 ± 25,3	36,1 ± 19,7
	Interval hodnot	40,5 – 108,9	< 8,0 – 48,9
	S_R [%]	31,3	54,4
Čokolády souhrnně	**Celkový průměr**	76,9 ± 18,8	55,4 ± 23,7
	Interval hodnot	40,5 – 108,9	< 8,0 – 81,3
	p-hodnota	0,37331	0,00101



Graf 5: Průměrný obsah selenu a jodu v jednotlivých vzorcích čokolád



Graf 6: Průměrný obsah selenu a jodu ve vzorcích čokolád dle produkce

5.1.4 Jablka

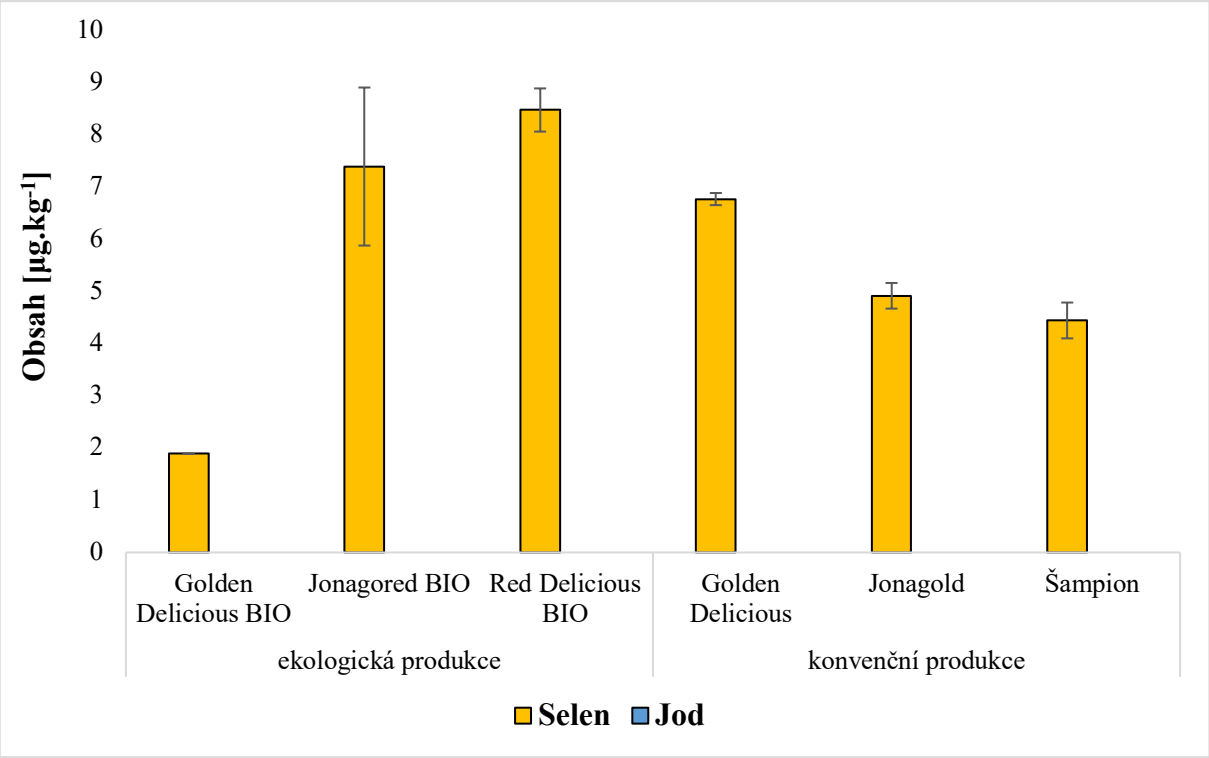
Průměrný obsah selenu a jodu ve vzorcích jablek z ekologické a konvenční produkce je znázorněn v tabulce 10 a grafu 7. Průměrný obsah selenu je vyšší v jablkách z ekologické produkce (graf 8). Jelikož je p-hodnota v případě selenu (0,63224) vyšší než stanovená hladina významnosti $\alpha = 0,05$, neexistuje tedy statisticky významný rozdíl mezi odlišnými produkcemi a obsahem selenu ve vzorcích jablek (Příloha graf 34). Pro jod nebyla p-hodnota stanovena (Příloha graf 35).

Průměrné množství selenu v jablkách z ekologické produkce bylo 5,9 ± 3,2 $\mu g.kg^{-1}$. Nejvyšší hodnotu obsahu selenu měl vzorek jablek Red Delicious BIO (8,5 ± 0,4 $\mu g.kg^{-1}$). Průměrný obsah selenu v jablkách z konvenční produkce byl 5,4 ± 1,1 $\mu g.kg^{-1}$. Nejvyšší množství selenu v této produkci měl vzorek jablek Golden Delicious, a to 6,8 ± 0,1 $\mu g.kg^{-1}$.

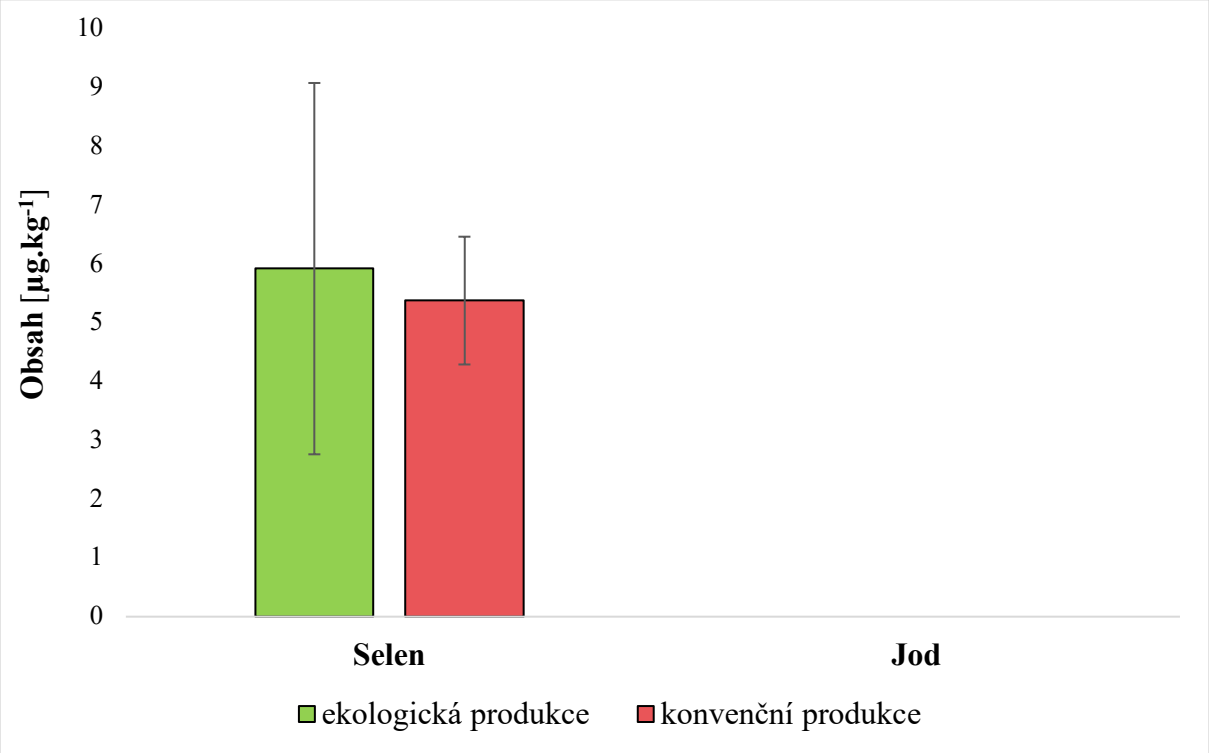
Průměrný obsah selenu ve všech vzorcích jablek byl 5,6 ± 2,3 $\mu g.kg^{-1}$. Průměrný obsah jodu ve všech analyzovaných vzorcích jablek se pohyboval pod mezí detekce.

Tabulka 10: Obsah selenu a jodu ve vzorcích jablek

Produkce	**Jablka**	**Obsah [$\mu g.kg^{-1}$]**	
		selen	**jod**
Ekologická	Golden Delicious BIO	1,9 ± 0,0	< 8,0
	Jonagored BIO	7,4 ± 1,5	< 8,0
	Red Delicious BIO	8,5 ± 0,4	< 8,0
	Celkový průměr	5,9 ± 3,2	-
	Interval hodnot	1,7 – 9,1	-
	S_R [%]	53,3	-
Konvenční	Golden Delicious	6,8 ± 0,1	< 8,0
	Jonagold	4,9 ± 0,2	< 8,0
	Šampion	4,4 ± 0,3	< 8,0
	Celkový průměr	5,4 ± 1,1	-
	Interval hodnot	4,1 – 6,9	-
	S_R [%]	20,2	-
Jablka souhrnně	**Celkový průměr**	5,6 ± 2,3	-
	Interval hodnot	1,7 – 9,1	-
	p-hodnota	0,63224	-



Graf 7: Průměrný obsah selenu a jodu v jednotlivých vzorcích jablek



Graf 8: Průměrný obsah selenu a jodu ve vzorcích jablek dle produkce

5.1.5 Kuřecí játra

V tabulce 11 a grafu 9 jsou uvedeny průměrné obsahy selenu a jodu ve vzorcích kuřecích jater z ekologické a konvenční produkce. Průměrné množství selenu bylo vyšší v ekologické produkci, což mohlo být způsobeno tím, že byl analyzovaný pouze jeden vzorek jater z ekologického zemědělství, jelikož v České republice není dostatečná nabídka těchto vzorků od více odlišných výrobců. V případě jodu tomu bylo naopak, vyšší množství jodu obsahovaly vzorky z konvenční produkce (graf 10). P-hodnota pro oba prvky byla menší než stanovená hladina významnosti, a proto mezi odlišnými produkcemi existuje statisticky významný rozdíl v obsahu obou prvků (Příloha grafy 36 a 37).

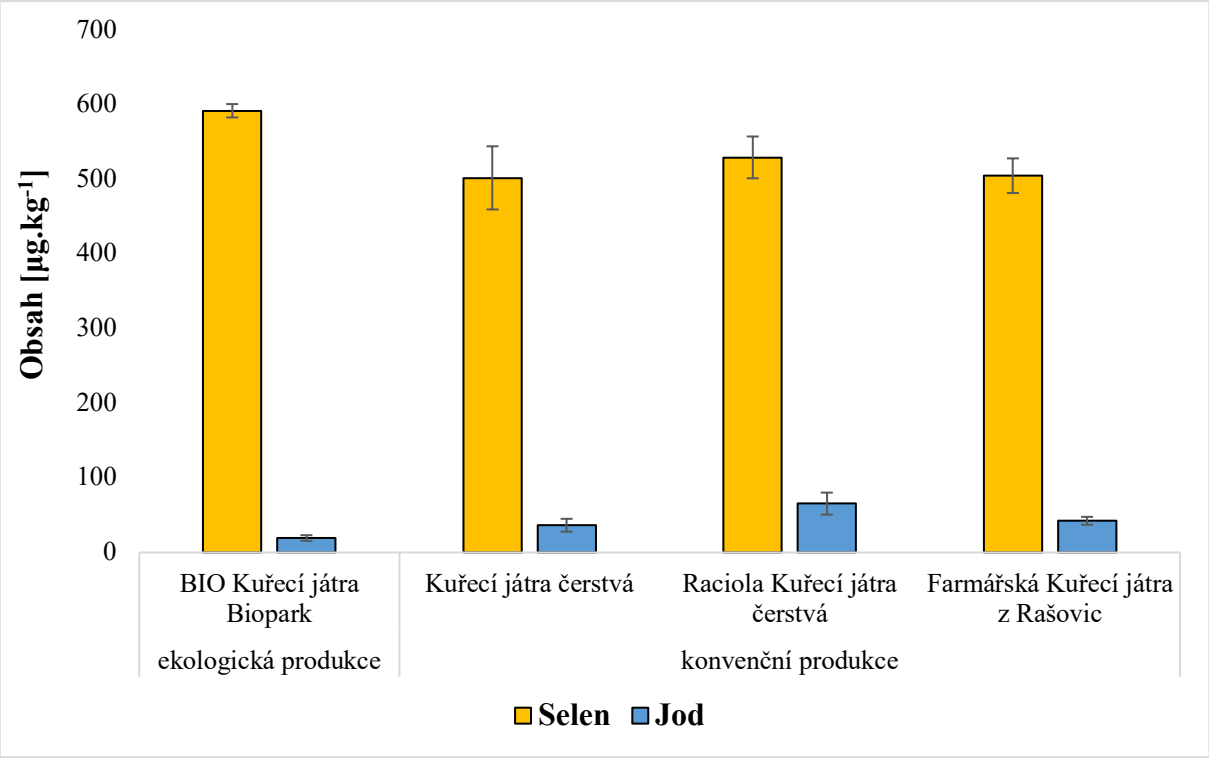
Průměrné množství selenu v kuřecích játrech Biopark z ekologické produkce činilo 592,3 ± 9,0 $\mu g.kg^{-1}$ s intervalem hodnot 585,9 – 602,5 $\mu g.kg^{-1}$. V konvenční produkci byl stanoven průměrný obsah selenu 512,4 ± 30,8 $\mu g.kg^{-1}$ (interval hodnot 453,4 – 554,3 $\mu g.kg^{-1}$), přičemž nejvyšší množství obsahoval vzorek značky Raciola (529,8 ± 28,0 $\mu g.kg^{-1}$).

Kuřecí játra z ekologického zemědělství měla průměrné množství jodu 19,3 ± 3,8 $\mu g.kg^{-1}$ (interval hodnot 16,0 – 23,5 $\mu g.kg^{-1}$). V konvenční produkci byl průměrný obsah jodu 47,3 ± 14,8 $\mu g.kg^{-1}$ s intervalem hodnot 30,4 – 75,9 $\mu g.kg^{-1}$ a nejvyšší množství obsahoval vzorek Raciola (65,5 ± 14,8 $\mu g.kg^{-1}$).

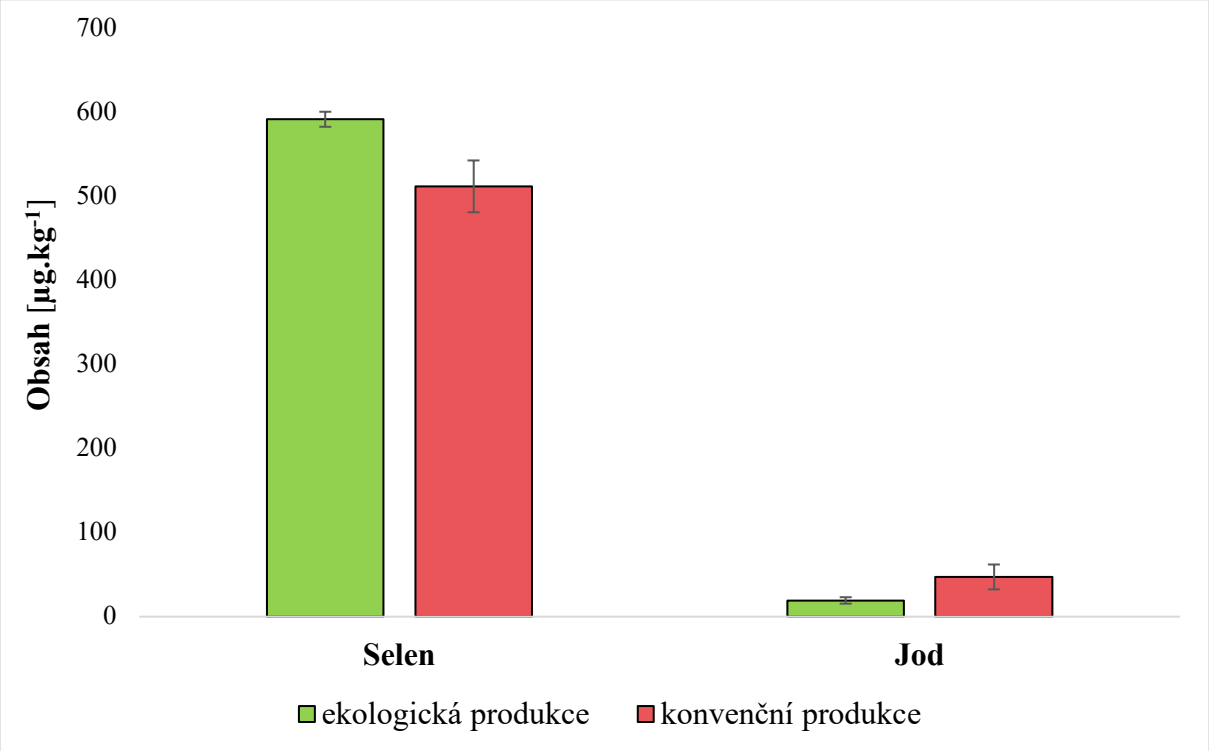
Průměrný obsah selenu v kuřecích játrech činil 532,4 ± 44,8 $\mu g.kg^{-1}$, respektive 38,9 ± 18,2 $\mu g.kg^{-1}$ jodu.

Tabulka 11: Obsah selenu a jodu ve vzorcích kuřecích jater

Produkce	**Kuřecí játra**	**Obsah [$\mu g.kg^{-1}$]**	
		selen	**jod**
Ekologická	BIO Kuřecí játra Biopark	592,3 ± 9,0	19,3 ± 3,8
	Celkový průměr	592,3 ± 9,0	19,3 ± 3,8
	Interval hodnot	585,9 – 602,5	16,0 – 23,5
	S_R [%]	1,5	19,9
Konvenční	Kuřecí játra čerstvá	502,3 ± 42,3	36,5 ± 8,6
	Raciola Kuřecí játra čerstvá	529,8 ± 28,0	65,5 ± 14,8
	Farmářská Kuřecí játra z Rašovic	505,2 ± 23,2	42,4 ± 5,3
	Celkový průměr	512,4 ± 30,8	47,3 ± 14,8
	Interval hodnot	453,4 – 554,3	30,4 – 75,9
	S_R [%]	6,0	31,3
Játra souhrnně	**Celkový průměr**	532,4 ± 44,8	38,9 ± 18,2
	Interval hodnot	453,4 – 602,5	16,0 – 75,9
	p-hodnota	0,00156	0,01405



Graf 9: Průměrný obsah selenu a jodu v jednotlivých vzorcích kuřecích jater



Graf 10: Průměrný obsah selenu a jodu ve vzorcích kuřecích jater dle produkce

5.1.6 Kuřecí prsní řízky

Průměrný obsah selenu a jodu ve vzorcích kuřecích prsních řízků z ekologické a konvenční produkce je uveden v tabulce 12 a grafu 11. Průměrné množství selenu v prsních řízcích je vyšší v konvenční než ekologické produkci, v případě jodu je tomu naopak (graf 12). Tato skutečnost mohla být zapříčiněna nedostatečnou možností zakoupit více vzorků pocházejících z ekologické produkce od různých chovatelů v České republice. P-hodnota v případě selenu (0,01383) je nižší než $\alpha = 0,05$, proto mezi těmito produkcemi existuje signifikantní rozdíl v obsahu selenu (Příloha graf 38). P-hodnota pro jod (0,30784) je vyšší než 0,05, a proto mezi oběma produkcemi neexistuje statisticky významný rozdíl v obsazích jodu (Příloha graf 39).

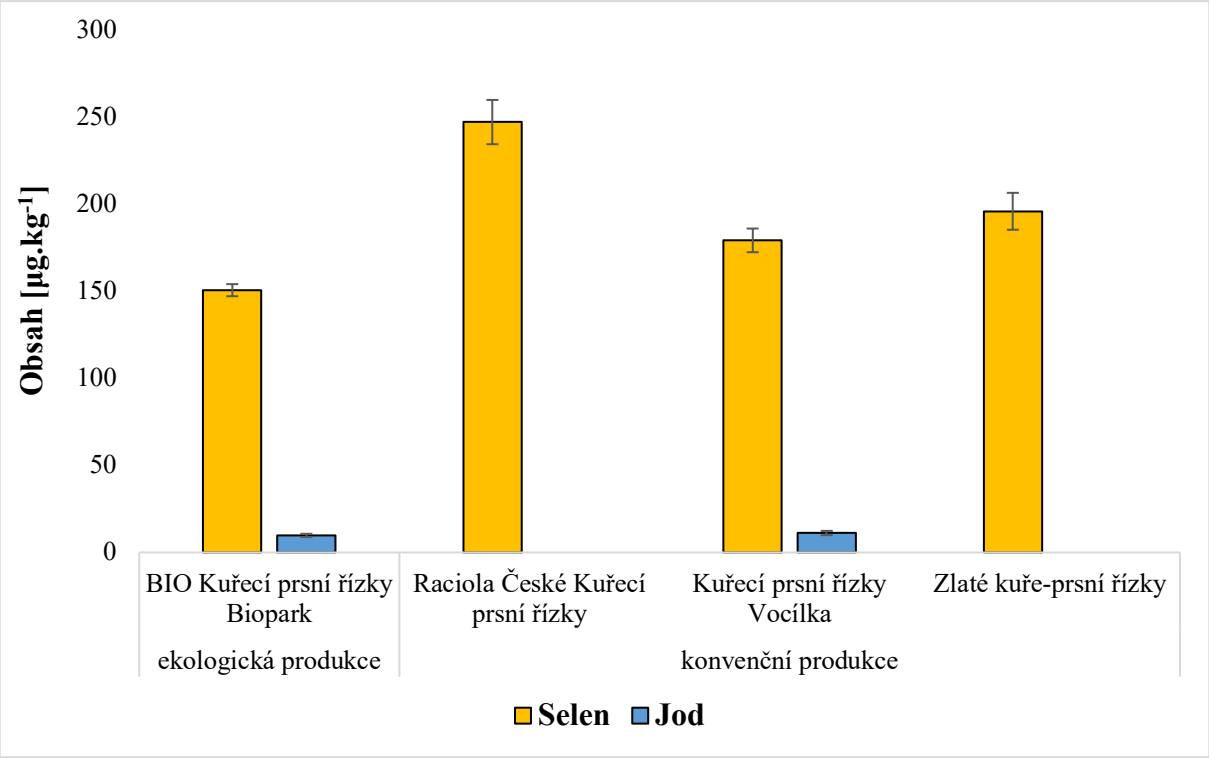
Průměrné množství selenu v kuřecích prsních řízcích Biopak z ekologické produkce bylo 150,7 ± 3,5 $\mu g.kg^{-1}$ (interval hodnot 148,1 – 154,7 $\mu g.kg^{-1}$). Průměrný obsah selenu ve vzorcích prsních řízků z konvenční produkce vykazoval hodnotu 207,6 ± 32,0 $\mu g.kg^{-1}$ s intervalem 171,9 – 258,2 $\mu g.kg^{-1}$. Nejvyšší obsah selenu měly prsní řízky Raciola (247,4 ± 12,7 $\mu g.kg^{-1}$).

Průměrný obsah jodu v prsních řízcích Biopark činil 9,8 ± 0,9 $\mu g.kg^{-1}$ s intervalem hodnot 8,9 – 10,7 $\mu g.kg^{-1}$. V konvenční produkci měly nejvyšší obsah jodu prsní řízky značky Vocílka, a to 11,2 ± 1,2 $\mu g.kg^{-1}$. V ostatních dvou vzorcích kuřecích prsních řízků z konvenční produkce byl obsah jodu pod mezí detekce.

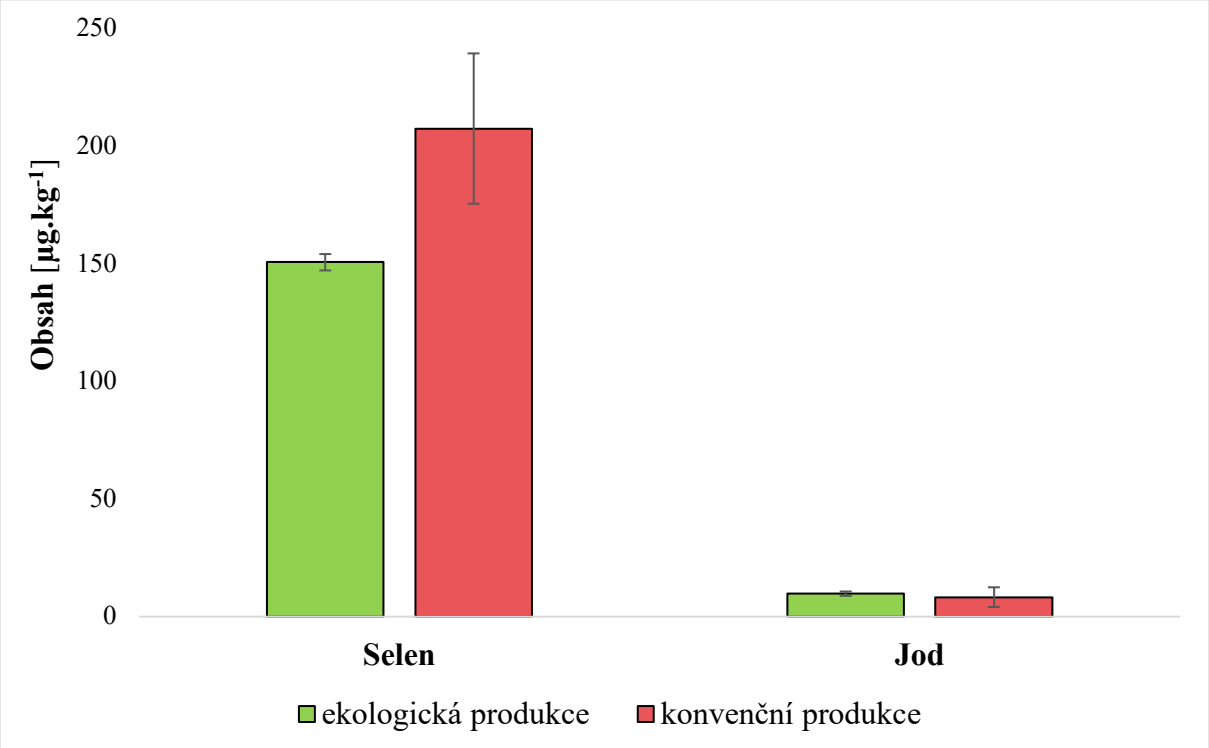
Průměrné množství selenu v kuřecích prsních řízcích bylo 193,4 ± 37,5 $\mu g.kg^{-1}$ a průměrné množství jodu 8,9 ± 3,8 $\mu g.kg^{-1}$.

Tabulka 12: Obsah selenu a jodu ve vzorcích kuřecích prsních řízků

Produkce	Kuřecí prsní řízky	Obsah [$\mu g.kg^{-1}$]	
		selen	**jod**
Ekologická	BIO Kuřecí prsní řízky Biopark	150,7 ± 3,5	9,8 ± 0,9
	Celkový průměr	150,7 ± 3,5	9,8 ± 0,9
	Interval hodnot	148,1 – 154,7	8,9 – 10,7
	S_R [%]	2,3	9,6
Konvenční	Raciola České Kuřecí prsní řízky	247,4 ± 12,7	< 8,0
	Kuřecí prsní řízky Vocílka	179,4 ± 6,8	11,2 ± 1,2
	Zlaté kuře-prsní řízky	196,1 ± 10,6	< 8,0
	Celkový průměr	207,6 ± 32,0	8,3 ± 4,2
	Interval hodnot	171,9 – 258,2	< 8,0 – 12,6
	S_R [%]	15,4	50,5
Prsní řízky souhrnně	**Celkový průměr**	193,4 ± 37,5	8,9 ± 3,8
	Interval hodnot	148,1 – 258,2	< 8,0 – 12,6
	p-hodnota	0,01383	0,30784



Graf 11: Průměrný obsah selenu a jodu v jednotlivých vzorcích kuřecích prsních řízků



Graf 12: Průměrný obsah selenu a jodu ve vzorcích kuřecích prsních řízků dle produkce

5.1.7 Plnotučná kravská mléka

Průměrná koncentrace selenu a jodu ve vzorcích plnotučných kravských mlék z ekologické a konvenční produkce je zobrazena v tabulce 13 a grafu 13. Průměrný obsah obou prvků je vyšší ve vzorcích mlék z konvenčního zemědělství (graf 14). P-hodnota pro selen je 0,00026, proto mezi ekologickou a konvenční produkcí existuje statisticky významný rozdíl v obsahu selenu (Příloha graf 40). P-hodnota pro jod (0,27246) je vyšší než stanovená hladina významnosti, proto neexistuje signifikantní rozdíl mezi oběma produkcemi v koncentraci jodu (Příloha graf 41).

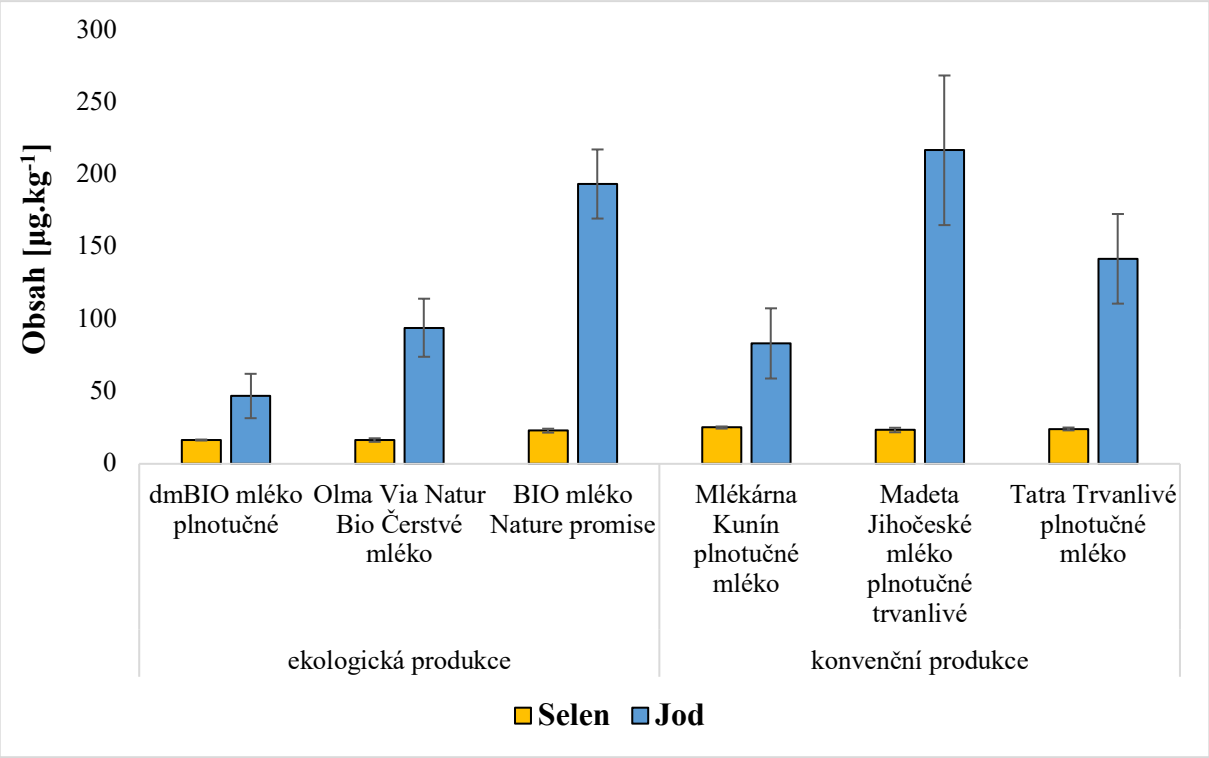
Průměrný obsah selenu ve vzorcích mlék vyprodukovaných v ekologickém zemědělství činil 18,6 ± 3,4 $\mu g.kg^{-1}$ s intervalem hodnot 15,7 – 23,9 $\mu g.kg^{-1}$. Nejvyšší koncentraci selenu obsahovalo mléko Natur promise (23,0 ± 1,3 $\mu g.kg^{-1}$). V konvenční produkci byl průměrný obsah selenu 24,2 ± 1,2 $\mu g.kg^{-1}$ (interval hodnot 22,0 – 25,9 $\mu g.kg^{-1}$). Nejvyšší množství selenu mělo mléko z mlékárny Kunín (25,1 ± 0,7 $\mu g.kg^{-1}$).

Průměrné množství jodu ve vzorcích mlék z ekologické produkce bylo 111,6 ± 67,2 $\mu g.kg^{-1}$ s intervalem hodnot od 37,5 do 218,6 $\mu g.kg^{-1}$. Nejvíce jodu, stejně jako selenu, obsahovalo mléko Natur promise (193,7 ± 23,9 $\mu g.kg^{-1}$) z ekologické produkce. Průměrný obsah jodu ve vzorcích mlék z konvenčního zemědělství byl 147,4 ± 66,5 $\mu g.kg^{-1}$ (interval hodnot 55,8 – 273,0 $\mu g.kg^{-1}$). Nejvyšší koncentrace jodu byla stanovena v mléce Madeta (217,0 ± 51,8 $\mu g.kg^{-1}$).

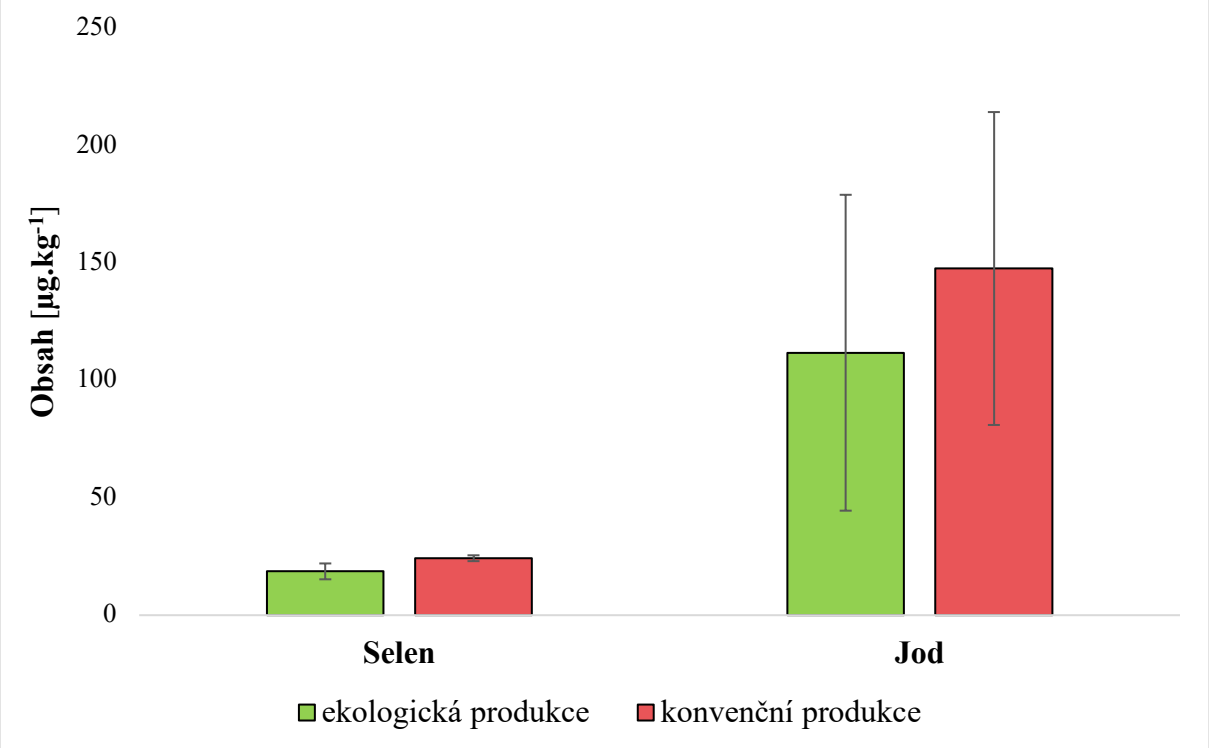
Průměrný obsah selenu ve vzorcích plnotučných kravských mlék byl 21,4 ± 3,8 $\mu g.kg^{-1}$ a průměrný obsah jodu 129,5 ± 67,4 $\mu g.kg^{-1}$.

Tabulka 13: Obsah selenu a jodu ve vzorcích plnotučných kravských mlék

Produkce	Plnotučná kravská mléka	Obsah [$\mu g.kg^{-1}$]	
		selen	**jod**
Ekologická	dmBIO mléko plnotučné	16,5 ± 0,3	46,9 ± 15,4
	Olma Via Natur Bio Čerstvé mléko	16,5 ± 1,2	94,2 ± 20,1
	BIO mléko Nature promise	23,0 ± 1,3	193,7 ± 23,9
	Celkový průměr	18,6 ± 3,4	111,6 ± 67,2
	Interval hodnot	15,7 – 23,9	37,5 – 218,6
	S_R [%]	18,1	60,2
Konvenční	Mlékárna Kunín plnotučné mléko	25,1 ± 0,7	83,4 ± 24,3
	Madeta Jihočeské mléko plnotučné trvanlivé	23,4 ± 1,6	217,0 ± 51,8
	Tatra Trvanlivé plnotučné mléko	24,1 ± 1,0	141,9 ± 31,0
	Celkový průměr	24,2 ± 1,2	147,4 ± 66,5
	Interval hodnot	22,0 – 25,9	55,8 – 273,0
	S_R [%]	5,1	45,1
Mléka souhrnně	**Celkový průměr**	21,4 ± 3,8	129,5 ± 67,4
	Interval hodnot	15,7 – 25,9	37,5 – 273,0
	p-hodnota	0,00026	0,27246



Graf 13: Průměrný obsah selenu a jodu v jednotlivých vzorcích plnotučných mlék



Graf 14: Průměrný obsah selenu a jodu ve vzorcích plnotučných mlék dle produkce

5.1.8 Rýže

V tabulce 14 a grafu 15 je uvedeno průměrné množství selenu a jodu ve vzorcích rýží z ekologické a konvenční produkce. Průměrný obsah selenu i jodu byl vyšší ve vzorcích rýží z ekologického zemědělství (graf 16). P-hodnoty pro oba prvky jsou menší než $\alpha = 0,05$, proto mezi odlišnými produkcemi existuje signifikantní rozdíl v obsahu obou prvků (Příloha grafy 42 a 43).

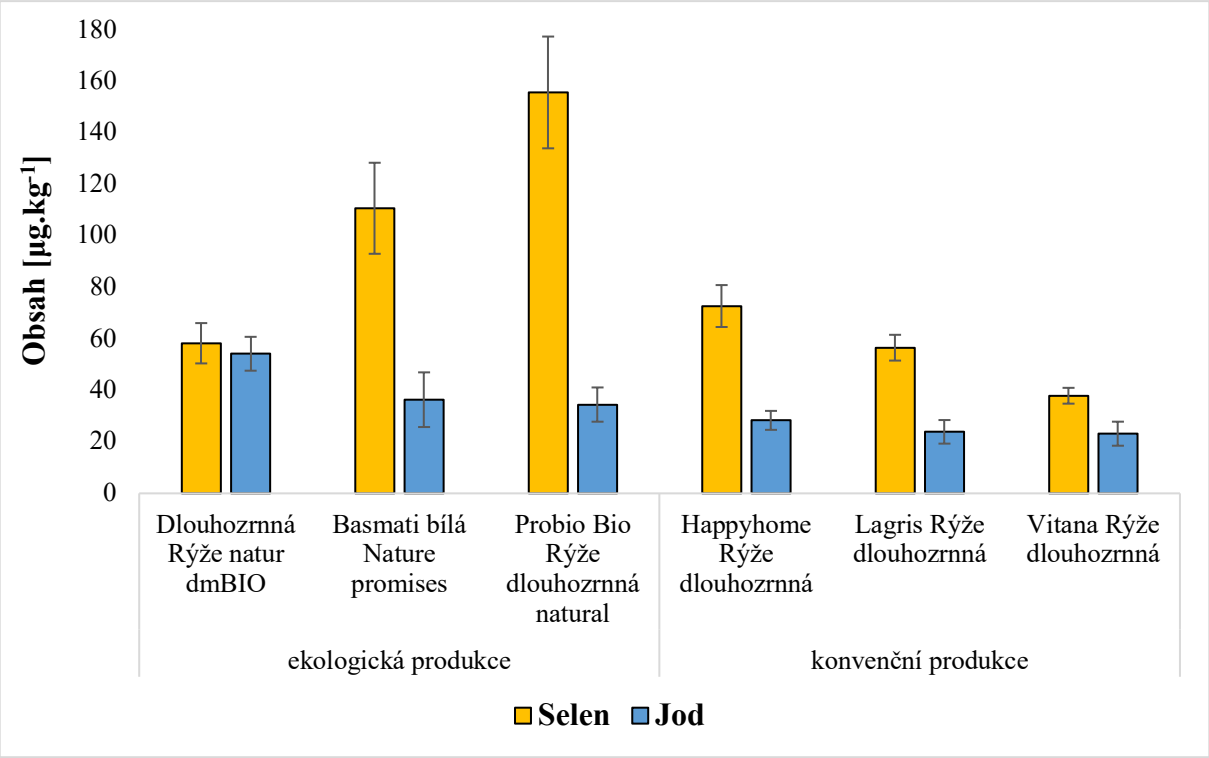
Průměrné množství selenu ve vzorcích rýží vyprodukovaných v ekologickém zemědělství činilo 108,4 ± 44,7 $\mu g.kg^{-1}$ (interval hodnot 53,0 – 175,7 $\mu g.kg^{-1}$), nejvyšší obsah měla rýže Probio Bio (155,9 ± 21,7 $\mu g.kg^{-1}$). Průměrný obsah selenu v rýžích z konvenční produkce byl 55,8 ± 15,9 $\mu g.kg^{-1}$ (interval hodnot 34,5 – 79,4 $\mu g.kg^{-1}$). Nejvyšší množství selenu obsahovala z konvenčního zemědělství rýže Happyhome (72,8 ± 8,2 $\mu g.kg^{-1}$).

Vzorky rýží z ekologické produkce měly průměrný obsah jodu 41,7 ± 11,8 $\mu g.kg^{-1}$ s intervalem hodnot 27,3 – 61,8 $\mu g.kg^{-1}$. Nejvyšší množství jodu bylo stanoveno ve vzorku z dm drogerie (Rýže natur dmBIO). V konvenčním zemědělství byl průměrný obsah jodu 25,2 ± 4,5 $\mu g.kg^{-1}$ s intervalem hodnot 18,8 – 32,3 $\mu g.kg^{-1}$. Nejvyšší množství jodu, obdobně jako selenu, obsahoval vzorek Happyhome z obchodního řetězce Billa.

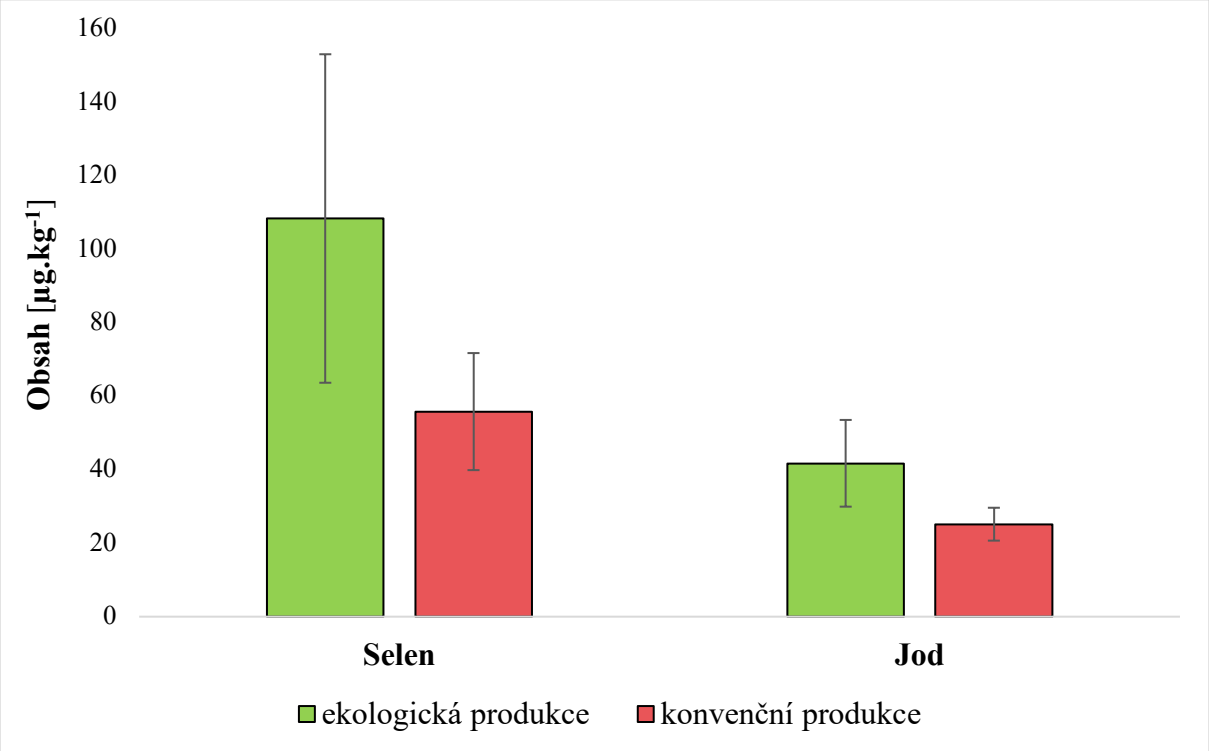
Průměrný obsah selenu ve vzorcích rýží byl 82,1 ± 42,3 $\mu g.kg^{-1}$ a 33,5 ± 12,2 $\mu g.kg^{-1}$ jodu.

Tabulka 14: Obsah selenu a jodu ve vzorcích rýží

Produkce	Rýže	Obsah [$\mu g.kg^{-1}$]	
		selen	**jod**
Ekologická	Dlouhozrnná Rýže natur dmBIO	58,4 ± 7,8	54,3 ± 6,6
	Basmati bílá Nature promises	110,9 ± 17,7	36,4 ± 10,6
	Probio Bio Rýže dlouhozrnná natural	155,9 ± 21,7	34,5 ± 6,7
	Celkový průměr	108,4 ± 44,7	41,7 ± 11,8
	Interval hodnot	53,0 – 175,7	27,3 – 61,8
	S_R [%]	41,3	28,3
Konvenční	Happyhome Rýže dlouhozrnná	72,8 ± 8,2	28,4 ± 3,7
	Lagris Rýže dlouhozrnná	56,6 ± 5,0	23,9 ± 4,6
	Vitana Rýže dlouhozrnná	38,0 ± 3,1	23,2 ± 4,7
	Celkový průměr	55,8 ± 15,9	25,2 ± 4,5
	Interval hodnot	34,5 – 79,4	18,8 – 32,3
	S_R [%]	28,5	17,8
Rýže souhrnně	**Celkový průměr**	82,1 ± 42,3	33,5 ± 12,2
	Interval hodnot	34,5 – 175,7	18,8 – 61,8
	p-hodnota	0,00431	0,00117



Graf 15: Průměrný obsah selenu a jodu v jednotlivých vzorcích rýží



Graf 16: Průměrný obsah selenu a jodu ve vzorcích rýží dle produkce

5.1.9 Vejce

5.1.9.1 Bílky

Průměrný obsah selenu a jodu ve vzorcích bílků z ekologické a konvenční produkce je uveden v tabulce 15 a grafu 17. Průměrné množství selenu bylo vyšší v bílcích z konvenčního zemědělství a jodu z ekologického zemědělství (graf 18). P-hodnoty pro oba prvky jsou nižší než stanovená hladina významnosti, a proto mezi ekologickou a konvenční produkcí existuje statisticky významný rozdíl v obsahu obou prvků (Příloha grafy 44 a 45).

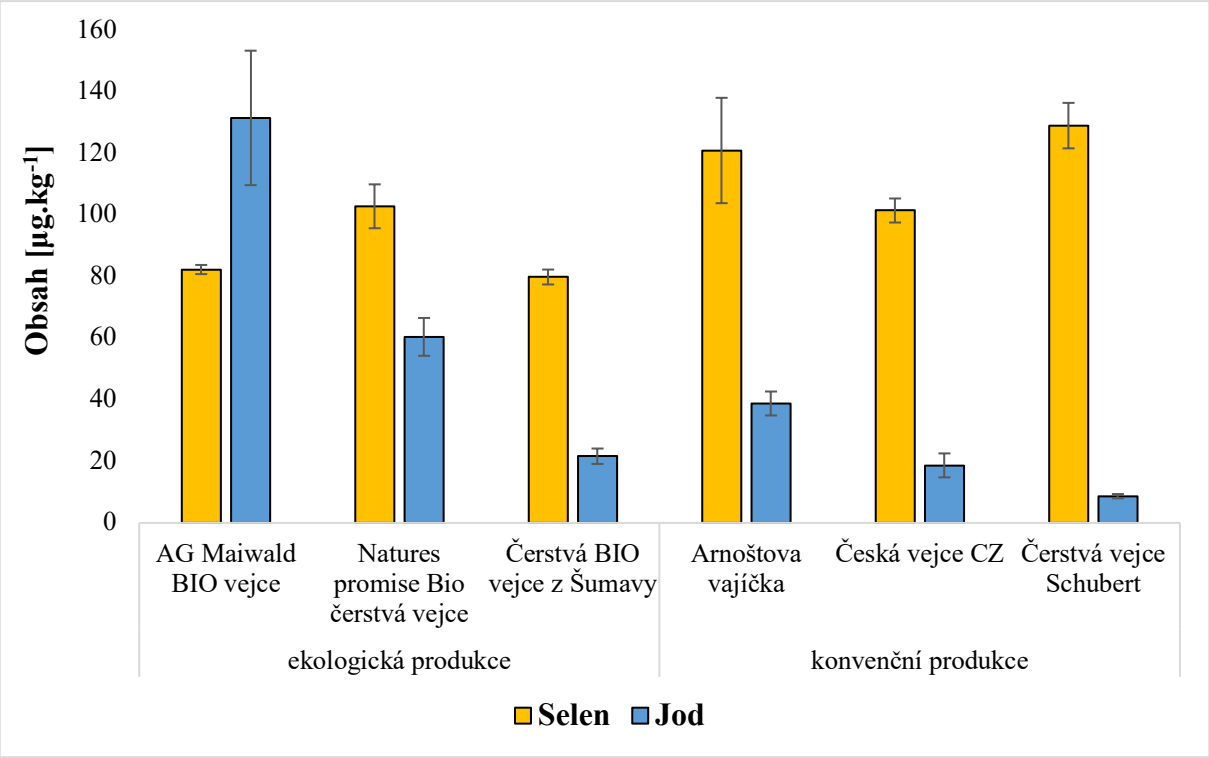
Průměrný obsah selenu ve vzorcích bílků z ekologického zemědělství byl $88{,}4 \pm 11{,}6$ $\mu g.kg^{-1}$ s intervalem hodnot 78,0 – 109,7 $\mu g.kg^{-1}$. Nejvyšší množství selenu obsahoval z ekologické produkce bílek z vejce Natures promise Bio ($102{,}9 \pm 7{,}1$ $\mu g.kg^{-1}$). Průměrný obsah selenu v bílcích z konvenční produkce činil $117{,}2 \pm 15{,}5$ $\mu g.kg^{-1}$ s intervalem hodnot od 97,1 do 135,6 $\mu g.kg^{-1}$, nejvyšší obsah selenu měl bílek z vejce Schubert ($129{,}1 \pm 7{,}4$ $\mu g.kg^{-1}$).

Průměrné množství jodu v bílcích z ekologické produkce činilo $71{,}2 \pm 49{,}6$ $\mu g.kg^{-1}$ (interval hodnot 18,9 – 154,7 $\mu g.kg^{-1}$). Nejvyšší obsah měl bílek z vejce Maiwald ($131{,}6 \pm 21{,}8$ $\mu g.kg^{-1}$). Obsah jodu v bílcích z konvenčního zemědělství byl průměrně $24{,}4 \pm 14{,}3$ $\mu g.kg^{-1}$ (interval hodnot 8,2 – 43,2 $\mu g.kg^{-1}$), nejvyšší množství jodu obsahovaly bílky Arnoštových vajíček ($38{,}8 \pm 3{,}9$ $\mu g.kg^{-1}$).

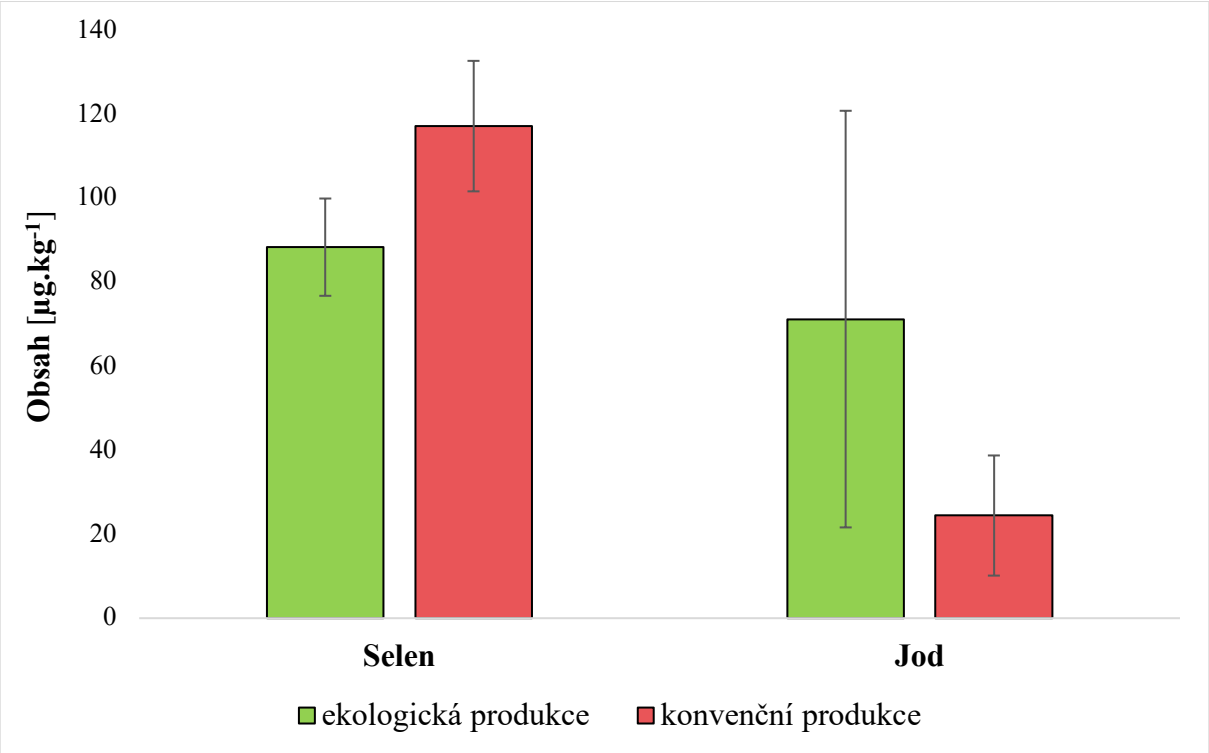
Průměrný obsah selenu ve vzorcích bílků činil $102{,}8 \pm 19{,}9$ $\mu g.kg^{-1}$ a průměrný obsah jodu $50{,}8 \pm 44{,}4$ $\mu g.kg^{-1}$ jodu.

Tabulka 15: Obsah selenu a jodu ve vzorcích bílků

Produkce	Bílky	Obsah [$\mu g.kg^{-1}$]	
		selen	**jod**
Ekologická	AG Maiwald BIO vejce	82,3 ± 1,5	131,6 ± 21,8
	Natures promise Bio čerstvá vejce	102,9 ± 7,1	60,4 ± 6,2
	Čerstvá BIO vejce z Šumavy	79,9 ± 2,4	21,7 ± 2,5
	Celkový průměr	88,4 ± 11,6	71,2 ± 49,6
	Interval hodnot	78,0 – 109,7	18,9 – 154,7
	S_R [%]	13,1	69,7
Konvenční	Arnoštova vajíčka	121,0 ± 17,1	38,8 ± 3,9
	Česká vejce CZ	101,5 ± 3,9	18,7 ± 3,9
	Čerstvá vejce Schubert	129,1 ± 7,4	8,7 ± 0,7
	Celkový průměr	117,2 ± 15,5	24,4 ± 14,3
	Interval hodnot	97,1 – 135,6	8,2 – 43,2
	S_R [%]	13,3	58,5
Bílky souhrnně	**Celkový průměr**	102,8 ± 19,9	50,8 ± 44,4
	Interval hodnot	78,0 – 135,6	8,2 – 154,7
	p-hodnota	0,00039	0,01685



Graf 17: Průměrný obsah selenu a jodu v jednotlivých vzorcích bílků



Graf 18: Průměrný obsah selenu a jodu ve vzorcích bílků dle produkce

5.1.9.2 Žloutky

V tabulce 16 a grafu 19 jsou uvedeny průměrné obsahy selenu a jodu v jednotlivých vzorcích žloutků z ekologického a konvenčního zemědělství. Průměrné množství obou prvků bylo vyšší ve žloutcích z ekologické produkce (graf 20). P-hodnota pro selen (0,05790) i jod (0,53288) byla vyšší než $\alpha = 0,05$, mezi ekologickou a konvenční produkcí tedy neexistuje statisticky signifikantní rozdíl v obsahu selenu a jodu (Příloha grafy 46 a 47).

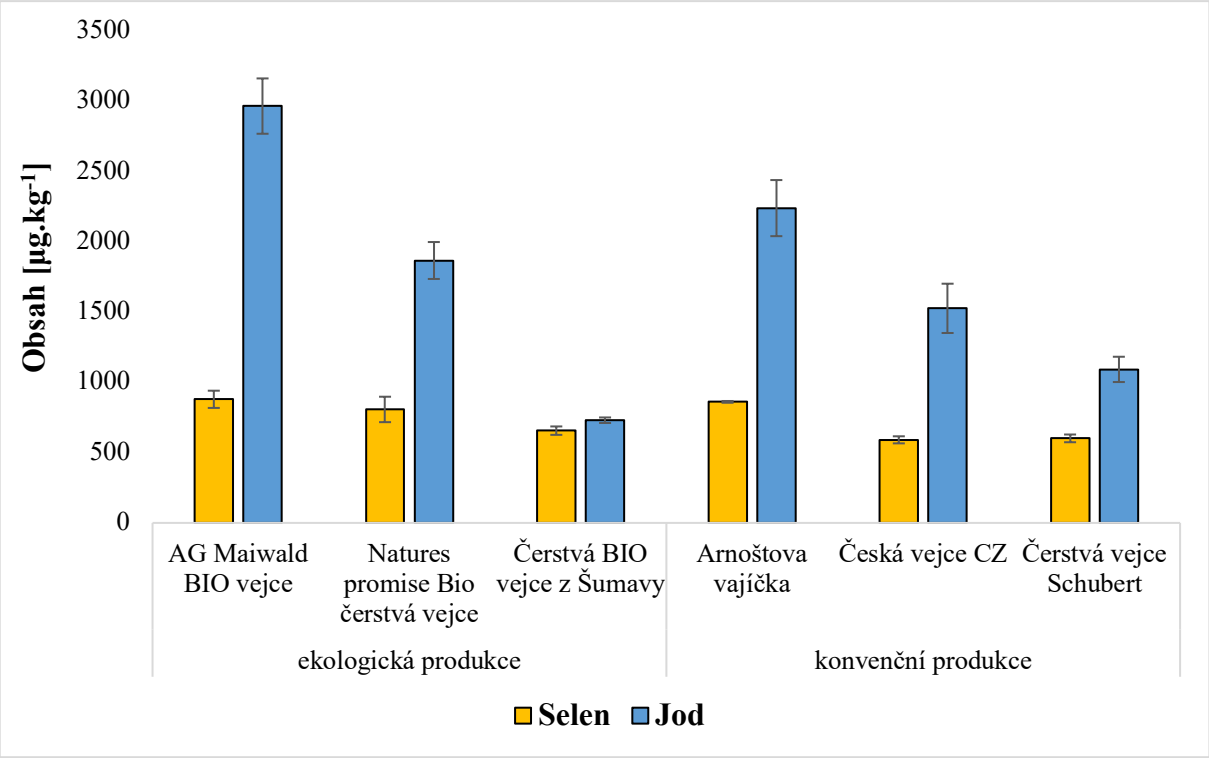
Průměrné množství selenu ve vzorcích žloutků z ekologické produkce činilo 780,2 ± 113,5 $\mu g.kg^{-1}$ (interval hodnot 630,6 – 931,2 $\mu g.kg^{-1}$). Nejvyšší obsah měly žloutky z Maiwald BIO vajec (878,5 ± 61,2 $\mu g.kg^{-1}$). Ve žloutcích z konvenčního zemědělství byl průměrný obsah selenu 661,8 ± 124,2 $\mu g.kg^{-1}$ (interval hodnot 571,6 – 864,7 $\mu g.kg^{-1}$), přičemž nejvyšší obsah měly žloutky z Arnoštových vajec (860,3 ± 6,2 $\mu g.kg^{-1}$).

Průměrný obsah jodu ve vzorcích žloutků z ekologického zemědělství byl 1852,5 ± 974,1 $\mu g.kg^{-1}$ s intervalem hodnot 707,2 – 3166,5 $\mu g.kg^{-1}$. Nejvyšší množství jodu stejně jako selenu, měly žloutky z Maiwald BIO vajec (2962,5 ± 196,6 $\mu g.kg^{-1}$). Průměrná hodnota obsahu jodu ve žloutcích z konvenční produkce byla 1617,8 ± 520,4 $\mu g.kg^{-1}$ s intervalem hodnot 1009,3 – 2356,7 $\mu g.kg^{-1}$. Nejvyšší koncentraci jodu měly žloutky z Arnoštových vajec (2237,4 ± 199,3 $\mu g.kg^{-1}$).

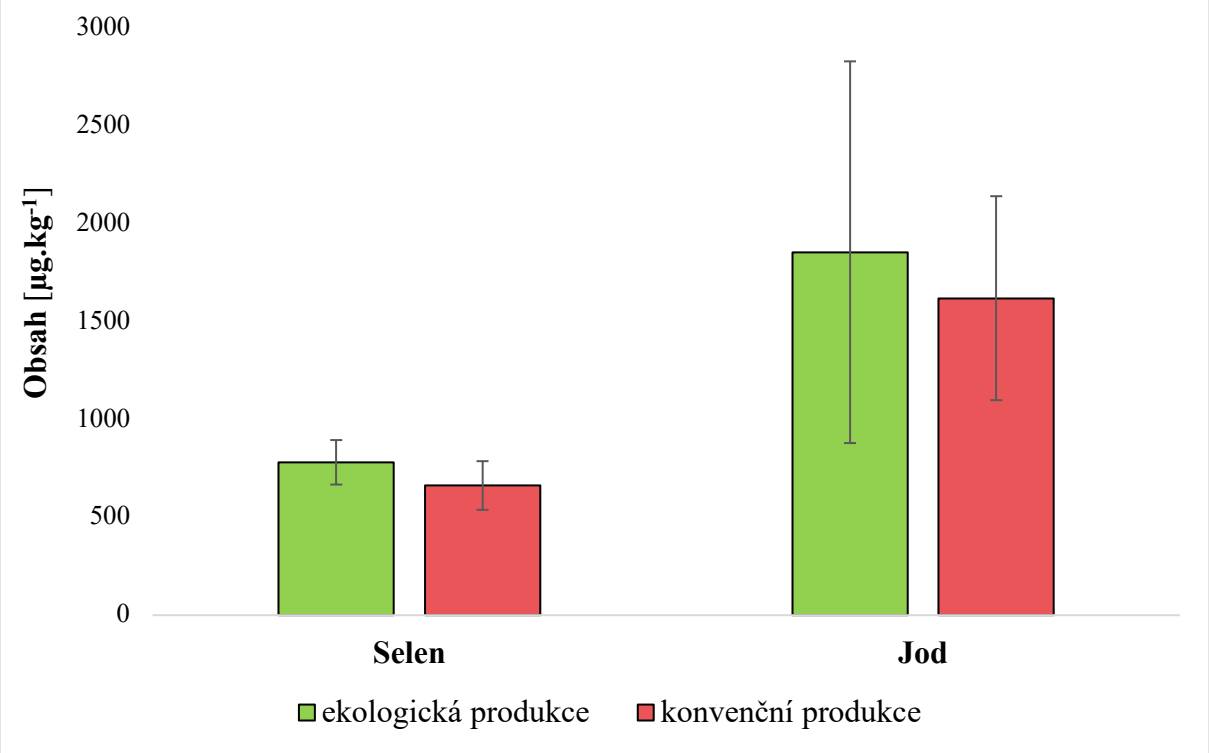
Průměrné množství selenu ve žloutcích bylo 724,5 ± 130,0 $\mu g.kg^{-1}$ a průměrné množství jodu 1735,1 ± 767,1 $\mu g.kg^{-1}$.

Tabulka 16: Obsah selenu a jodu ve vzorcích žloutků

Produkce	**Žloutky**	**Obsah [$\mu g.kg^{-1}$]**	
		selen	**jod**
Ekologická	AG Maiwald BIO vejce	878,5 ± 61,2	2962,5 ± 196,6
	Natures promise Bio čerstvá vejce	806,5 ± 90,4	1865,0 ± 131,2
	Čerstvá BIO vejce z Šumavy	655,7 ± 29,9	729,8 ± 19,6
	Celkový průměr	780,2 ± 113,5	1852,5 ± 974,1
	Interval hodnot	630,6 – 931,2	707,2 – 3166,5
	S_R [%]	14,6	52,6
Konvenční	Arnoštova vajíčka	860,3 ± 6,2	2237,4 ± 199,3
	Česká vejce CZ	590,5 ± 25,2	1524,9 ± 175,2
	Čerstvá vejce Schubert	600,8 ± 27,5	1091,1 ± 89,9
	Celkový průměr	661,8 ± 124,2	1617,8 ± 520,4
	Interval hodnot	571,6 – 864,7	1009,3 – 2356,7
	S_R [%]	18,8	32,2
Žloutky souhrnně	**Celkový průměr**	724,5 ± 130,0	1735,1 ± 767,1
	Interval hodnot	571,6 – 931,2	707,2 – 3166,5
	p-hodnota	0,05790	0,53288



Graf 19: Průměrný obsah selenu a jodu v jednotlivých vzorcích žloutků



Graf 20: Průměrný obsah selenu a jodu ve vzorcích žloutků dle produkce

5.1.10 Ryby

Průměrné obsahy selenu a jodu v různých druzích mořských a sladkovodních ryb jsou uvedeny v tabulce 17 a grafu 21. Průměrné množství obou prvků je vyšší v mořských rybách (graf 22). Získaná p-hodnota pro selen (0,12290) znamená, že obsah selenu v analyzovaných vzorcích mořských i sladkovodních ryb nezávisí na jejich původu (Příloha graf 48). V případě jodu tomu bylo naopak (p = 0,03840), z toho vyplývá, že obsah jodu v mořských rybách je statisticky významně vyšší než v rybách sladkovodních (Příloha graf 49). Z důvodu nedostatečné nabídky obchodních řetězců v České republice nebylo možné zajistit vzorky ryb z ekologického zemědělství, proto byly vybrány pouze ryby z konvenční produkce.

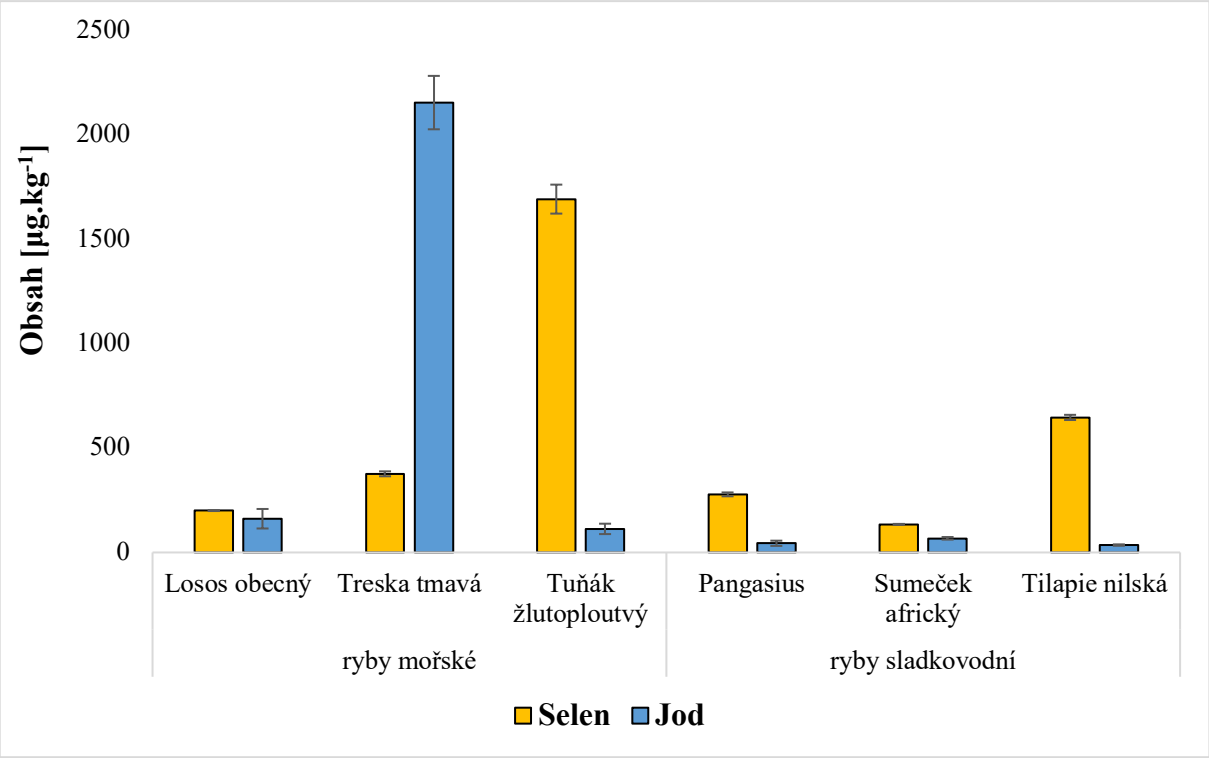
Průměrný obsah selenu v mořských rybách byl 756,5 ± 706,8 $\mu g.kg^{-1}$ s intervalem hodnot od 198,3 do 1761,7 $\mu g.kg^{-1}$. Nejvyšší množství selenu bylo stanoveno v tuňáku žlutoploutvém (*Thunnus albacares*), a to 1692,2 ± 69,4 $\mu g.kg^{-1}$. Průměrný obsah selenu ve sladkovodních rybách činil 353,1 ± 229,0 $\mu g.kg^{-1}$ (interval hodnot 131,9 – 659,2 $\mu g.kg^{-1}$). Nejvyšší množství selenu ze sladkovodních ryb měla tilapie nilská (*Oreochromis niloticus*), konkrétně 646,7 ± 12,4 $\mu g.kg^{-1}$.

Průměrný obsah jodu v mořských rybách činil 809,6 ± 1011,3 $\mu g.kg^{-1}$ (interval hodnot 96,0 – 2283,9 $\mu g.kg^{-1}$). Nejvyšší množství 2154,5 ± 127,9 $\mu g.kg^{-1}$ jodu bylo nalezeno ve vzorku tresky tmavé (*Pollachius virens*). Průměrný obsah jodu ve sladkovodních rybách byl 49,0 ± 16,2 $\mu g.kg^{-1}$ s intervalem hodnot 31,8 – 72,7 $\mu g.kg^{-1}$. Nejvyšší množství jodu ze sladkovodních ryb vykazoval sumeček africký (*Clarias gariepinus*), a to 67,7 ± 6,2 $\mu g.kg^{-1}$.

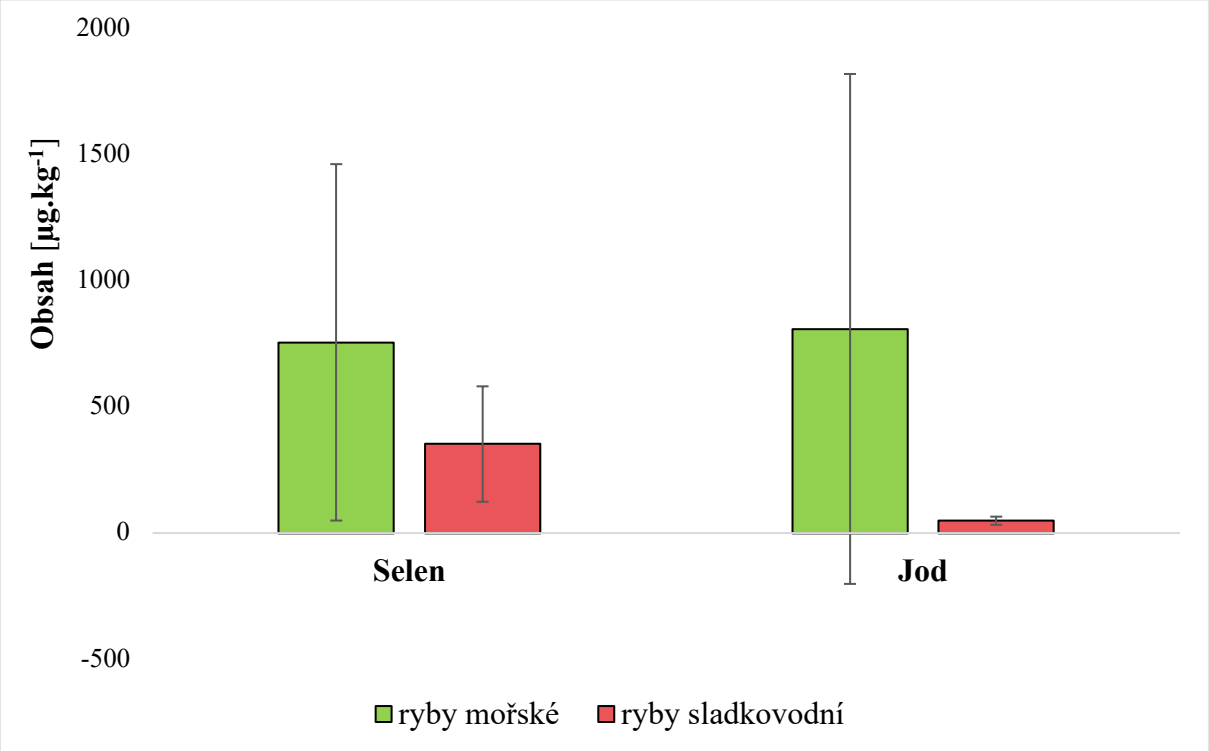
Průměrné množství selenu ve vzorcích ryb bylo 554,8 ± 550,3 $\mu g.kg^{-1}$ a průměrné množství jodu 429,3 ± 796,6 $\mu g.kg^{-1}$.

Tabulka 17: Obsah selenu a jodu ve vzorcích mořských a sladkovodních ryb

Druh	**Ryby**	**Obsah [$\mu g.kg^{-1}$]**	
		selen	**jod**
Mořské	Losos obecný (*Salmo salar*)	200,6 ± 2,3	161,5 ± 46,7
	Treska tmavá (*Pollachius virens*)	376,6 ± 11,9	2154,5 ± 127,9
	Tuňák žlutoploutvý (*Thunnus albacares*)	1692,2 ± 69,4	112,9 ± 24,9
	Celkový průměr	756,5 ± 706,8	809,6 ± 1011,3
	Interval hodnot	198,3 – 1761,7	96,0 – 2283,9
	S_R [%]	93,4	124,9
Sladkovodní	Pangasius (*Pangasius* spp.)	278,1 ± 9,3	43,9 ± 12,6
	Sumeček africký (*Clarias gariepinus*)	134,5 ± 2,3	67,7 ± 6,2
	Tilapie nilská (*Oreochromis niloticus*)	646,7 ± 12,4	35,4 ± 3,3
	Celkový průměr	353,1 ± 229,0	49,0 ± 16,2
	Interval hodnot	131,9 – 659,2	31,8 – 72,7
	S_R [%]	64,8	33,0
Ryby souhrnně	**Celkový průměr**	554,8 ± 550,3	429,3 ± 796,6
	Interval hodnot	131,9 – 1761,7	31,8 – 2283,9
	p-hodnota	0,12290	0,03840



Graf 21: Průměrný obsah selenu a jodu v jednotlivých vzorcích ryb



Graf 22: Průměrný obsah selenu a jodu ve vzorcích ryb dle původu

5.2 Obsah selenu a jodu ve vybraných potravinách

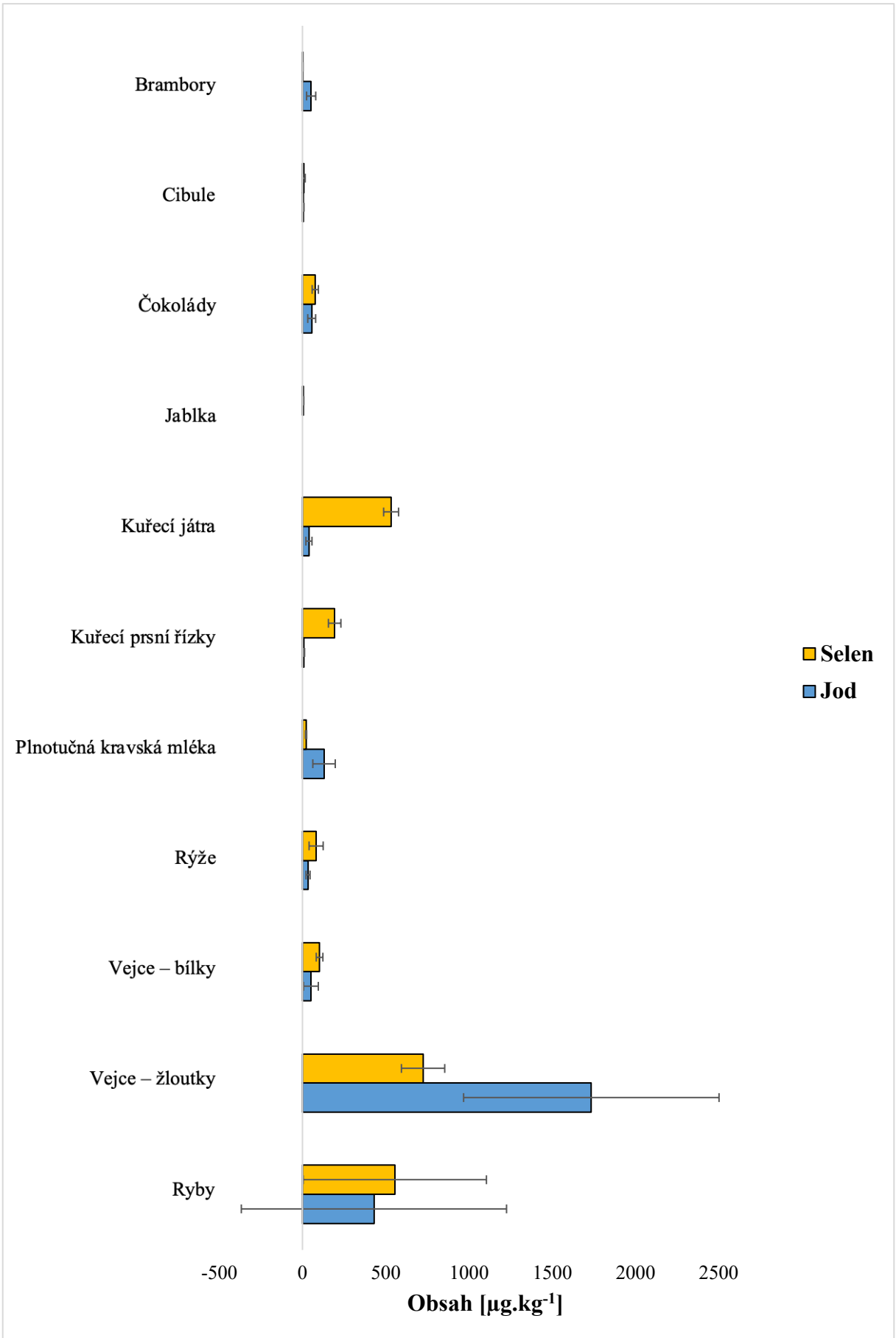
Průměrné obsahy selenu a jodu ve vybraných komoditách jsou znázorněny v grafu 23, respektive v grafu 24 dle ekologické a konvenční produkce.

Pořadí analyzovaných komodit potravin dle klesajícího průměrného obsahu selenu a jodu je uvedeno v tabulce 18. Nejvyšší průměrné množství obou prvků bylo stanoveno ve vzorcích žloutků (724,5 ± 130,0 $\mu g.kg^{-1}$ selenu a 1735,1 ± 767,1 $\mu g.kg^{-1}$ jodu). Nejnižší průměrný obsah selenu byl zaznamenán ve vzorcích brambor (1,8 ± 1,1 $\mu g.kg^{-1}$), v případě jodu ve vzorcích jablek, jelikož se obsahy jodu ve všech vzorcích pohybovaly pod mezí detekce (< 8,0 $\mu g.kg^{-1}$). Velmi nízký průměrný obsah jodu byl zjištěn i ve vzorcích cibulí, neboť pouze v jednom vzorku cibule byl stanovený obsah jodu nad mezí detekce. Konkrétně se jednalo o ekologicky vypěstovanou cibuli BIO Biohof s průměrným obsahem 9,5 ± 1,8 $\mu g.kg^{-1}$ jodu.

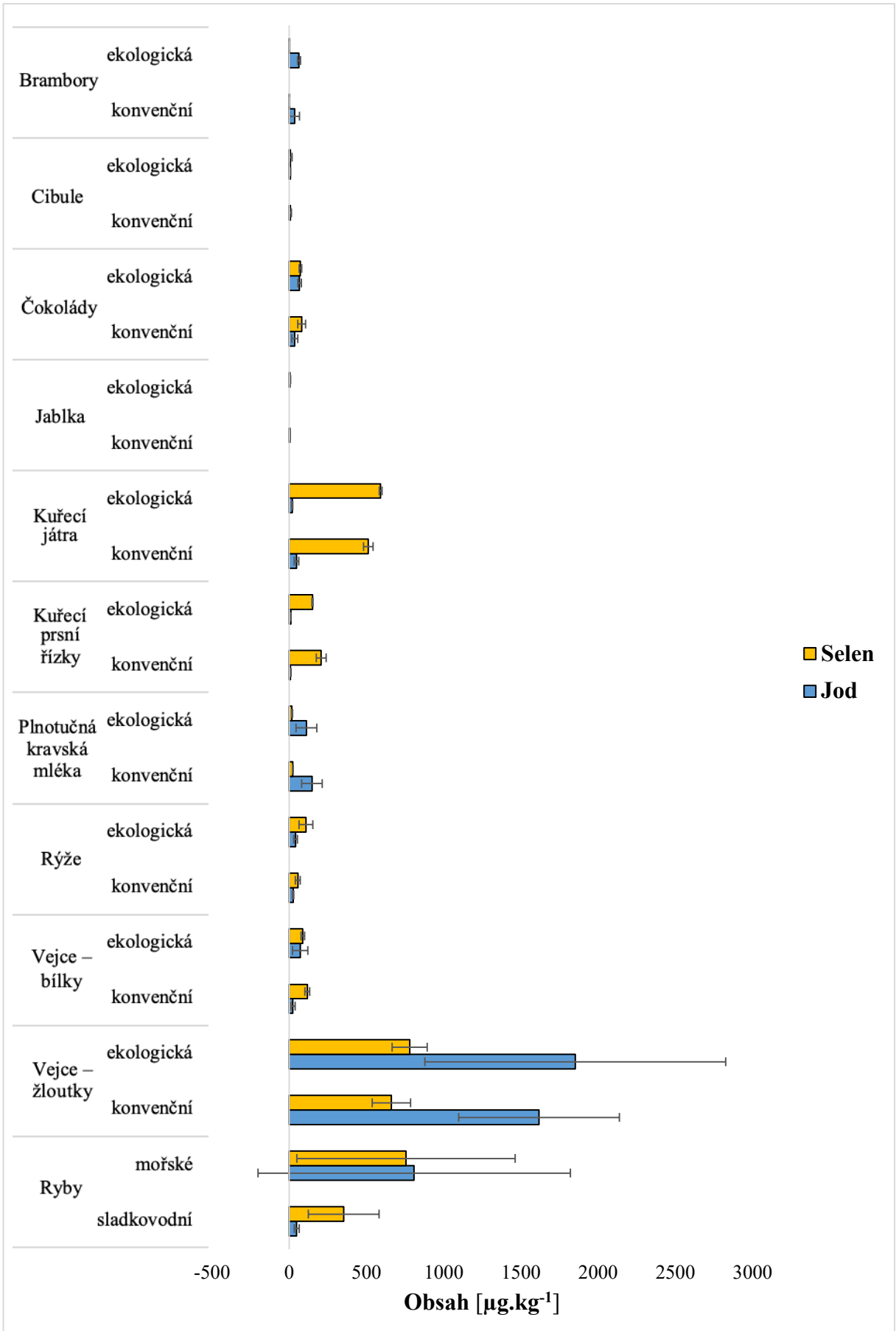
Tabulka 18: Pořadí průměrného klesajícího obsahu selenu a jodu v potravinách dle komodit

Pořadí	Obsah [$\mu g.kg^{-1}$]	
	selen	**jod**
1.	žloutky 724,5 ± 130,0	žloutky 1735,1 ± 767,1
2.	ryby 554,8 ± 550,3	ryby 429,3 ± 796,6
3.	kuřecí játra 532,4 ± 44,8	plnotučná kravská mléka 129,5 ± 67,4
4.	kuřecí prsní řízky 193,4 ± 37,5	čokolády 55,4 ± 23,7
5.	bílky 102,8 ± 19,9	brambory 52,2 ± 27,5
6.	rýže 82,1 ± 42,3	bílky 50,8 ± 44,4
7.	čokolády 76,9 ± 18,8	kuřecí játra 38,9 ± 18,2
8.	plnotučná kravská mléka 21,4 ± 3,8	rýže 33,5 ± 12,2
9.	cibule 8,7 ± 7,9	kuřecí prsní řízky 8,9 ± 3,8
10.	jablka 5,6 ± 2,3	cibule 5,6 ± 3,4
11.	brambory 1,8 ± 1,1	jablka < 4,0

Pomocí metody analýzy rozptylu byl sledován průměrný obsah selenu a jodu v jednotlivých komoditách potravin (Příloha grafy 26 a 27). Pro analyzovaný soubor dat selenu i jodu byla vypočtena p = 0,0000, proto existovala alespoň jedna komodita, která se v obsahu selenu nebo jodu statisticky lišila od ostatních. Pro podrobnější vyhodnocení byl použit Scheffého test (Kapitola 5.2.1 a 5.2.2), ve kterém byly sledovány statisticky významné rozdíly v obsahu selenu i jodu mezi jednotlivými komoditami potravin.



Graf 23: Průměrný obsah selenu a jodu ve vybraných potravinách



Graf 24: Průměrný obsah selenu a jodu ve vybraných potravinách dle produkce

Současně byla pro obsahy obou prvků v jednotlivých komoditách vypočtena relativní směrodatná odchylka (tabulka 19), na základě které je patrné, že nejvíce variabilní byly v případě selenu vzorky ekologicky vypěstované cibule (S_R = 96,9 %), zatímco nejvyšší rozdíly v obsahu jodu vykazovaly vzorky mořských ryb (S_R = 124,9 %). Naopak nejnižší variabilita v množství selenu byla zjištěna ve vzorcích plnotučných kravských mlék z konvenční produkce (S_R = 5,1 %) a nejnižší rozdíly v obsahu jodu byly detekovány ve vzorcích ekologicky vypěstovaných brambor (S_R = 15,0 %). Nejnižší variabilitu v obsahu selenu v ekologické produkci vykazovaly vzorky čokolád (S_R = 11,4 %). Největší rozptyl ve vzorcích z konvenční produkce byl zjištěn v cibulích (S_R = 86,9 %). V případě jodu byly v ekologickém zemědělství nejvíce variabilní vzorky bílků (S_R = 69,7 %). V konvenční produkci byl největší rozptyl pro obsah jodu vyhodnocen ve vzorcích brambor (S_R = 92,6 %), kdežto nejnižší rozptyl byl zjištěn ve vzorcích rýží (S_R = 17,8 %). Největší rozdíly ve variabilitě v rámci stejných komodit byly shledány v průměrných hodnotách selenu ve vzorcích jablek (S_R = 53,3 % v ekologické a S_R = 20,2 % v konvenční produkci), u jodu se jednalo o skupinu ryb (S_R = 124,9 % mořské, respektive S_R = 33,0 % sladkovodní ryby). V případě kuřecích jater a prsních řízků (*) z ekologické produkce se nejednalo o variabilitu obsahů v rámci jedné komodity potravin, ale o rozptyl (směrodatnou odchylku) ze 3 paralelních stanovení jednoho vzorku.

Tabulka 19: Relativní směrodatná odchylka ve vybraných komoditách

Komodita	Produkce/Původ	Relativní směrodatná odchylka [%]	
		selen	jod
Brambory	ekologická	57,4	15,0
	konvenční	60,9	92,6
Cibule	ekologická	96,9	38,5
	konvenční	86,9	-
Čokolády	ekologická	11,4	17,0
	konvenční	31,3	54,4
Jablka	ekologická	53,3	-
	konvenční	20,2	-
Kuřecí játra	ekologická	1,5*	19,9*
	konvenční	6,0	31,3
Kuřecí prsní řízky	ekologická	2,3*	9,6*
	konvenční	15,4	50,5
Plnotučná kravská mléka	ekologická	18,1	60,2
	konvenční	5,1	45,1
Rýže	ekologická	41,3	28,3
	konvenční	28,5	17,8
Bílky	ekologická	13,1	69,7
	konvenční	13,3	58,5
Žloutky	ekologická	14,6	52,6
	konvenční	18,8	32,2
Ryby	mořské	93,4	124,9
	sladkovodní	64,8	33,0

5.2.1 Rozdíly v obsahu selenu v potravinách

Z výsledků Scheffého testu v tabulce 20 vyplývá, že mezi komoditami brambor, cibulí, čokolád, jablek, kuřecích prsních řízků, plnotučných kravských mlék, rýží a bílků neexistuje statisticky významný rozdíl z hlediska průměrného obsahu selenu. Statisticky významně vyšší obsah selenu ve srovnání s uvedenými komoditami byl stanoven pouze ve vzorcích kuřecích jater, žloutků a ryb. Rozdíly v obsahu selenu ve třech komoditách s nejvyšším množstvím selenu (kuřecí játra, žloutky a ryby) nejsou statisticky významné.

Tabulka 20: Průměrný obsah selenu ve vybraných potravinách (Scheffého test)

*	B	C	Č	J	KJ	KPŘ	PKM	R	VB	VŽ	RMS
B		1,000000	0,998733	1,000000	0,000000	0,633602	1,000000	0,997758	0,985841	0,000000	0,000000
C	1,000000		0,999365	1,000000	0,000000	0,659294	1,000000	0,998785	0,990398	0,000000	0,000000
Č	0,998733	0,999365		0,999071	0,000007	0,979003	0,999903	1,000000	1,000000	0,000000	0,000000
J	1,000000	1,000000	0,999071		0,000000	0,635221	1,000000	0,998281	0,987713	0,000000	0,000000
KJ	0,000000	0,000000	0,000007	0,000000		0,022686	0,000000	0,000010	0,000037	0,617781	1,000000
KPŘ	0,633602	0,659294	0,979003	0,635221	0,022686		0,755201	0,985162	0,997178	0,000000	0,001968
PKM	1,000000	1,000000	0,999903	1,000000	0,000000	0,755201		0,999779	0,997083	0,000000	0,000000
R	0,997758	0,998785	1,000000	0,998281	0,000010	0,985162	0,999779		1,000000	0,000000	0,000000
VB	0,985841	0,990398	1,000000	0,987713	0,000037	0,997178	0,997083	1,000000		0,000000	0,000000
VŽ	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,617781	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000		0,640976
RMS	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	1,000000	0,001968	0,000000	0,000000	0,000000	0,640976	

B** = brambory; ***C = cibule; ***Č*** = čokolády; ***J*** = jablka; ***KJ*** = kuřecí játra; ***KPŘ*** = kuřecí prsní řízky; ***PKM*** = plnotučná kravská mléka; ***R*** = rýže; ***VB*** = vejce – bílky; ***VŽ*** = vejce – žloutky; ***RMS*** = ryby

5.2.2 Rozdíly v obsahu jodu v potravinách

Signifikantně vyšší průměrný obsah jodu v analyzovaných vzorcích potravin byl stanoven pouze ve vzorcích žloutků (tabulka 21). Tato komodita se svým průměrným obsahem jodu liší od všech ostatních skupin potravin. Průměrné obsahy jodu ve zbylých analyzovaných komoditách potravin nevykazují statisticky významné rozdíly.

Tabulka 21: Průměrný obsah jodu ve vybraných potravinách (Scheffého test)

*	B	C	Č	J	KJ	KPŘ	PKM	R	VB	VŽ	RMS
B		1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	0,999995	1,000000	1,000000	0,000000	0,458937
C	1,000000		1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	0,999731	1,000000	1,000000	0,000000	0,279601
Č	1,000000	1,000000		1,000000	1,000000	1,000000	0,999998	1,000000	1,000000	0,000000	0,570066
J	1,000000	1,000000	1,000000		1,000000	1,000000	0,999793	1,000000	1,000000	0,000000	0,352152
KJ	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000		1,000000	0,999997	1,000000	1,000000	0,000000	0,672911
KPŘ	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000		0,999940	1,000000	1,000000	0,000000	0,504311
PKM	0,999995	0,999731	0,999998	0,999793	0,999997	0,999940		0,999976	0,999996	0,000000	0,793313
R	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	0,999976		1,000000	0,000000	0,376649
VB	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	0,999996	1,000000		0,000000	0,465138
VŽ	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000		0,000000
RMS	0,458937	0,279601	0,570066	0,352152	0,672911	0,504311	0,793313	0,376649	0,465138	0,000000	

B** = brambory; ***C = cibule; ***Č*** = čokolády; ***J*** = jablka; ***KJ*** = kuřecí játra; ***KPŘ*** = kuřecí prsní řízky; ***PKM*** = plnotučná kravská mléka; ***R*** = rýže; ***VB*** = vejce – bílky; ***VŽ*** = vejce – žloutky; ***RMS*** = ryby

6 Diskuze

V posledních letech roste konzumace potravin z ekologické produkce a dochází tím k náhradě produkce konvenční. Tato skutečnost je zapříčiněna především obavami, které jsou vyvolané nepříznivými účinky na lidské zdraví a životní prostředí, jelikož se v běžné produkci potravin hojně používají například hormony, antibiotika, pesticidy a hnojiva. Z tohoto důvodu jsou spotřebitelé ochotni za výrobky z ekologického zemědělství, které jsou považovány obecně za zdravější, zaplatit i vyšší cenu (González et al. 2019; Liu et al. 2020).

V této práci bylo stanoveno množství selenu a jodu v 10 různých komoditách potravin z ekologické a konvenční produkce (brambory, cibule, čokolády, jablka, kuřecí játra, kuřecí prsní řízky, plnotučná kravská mléka, rýže, vejce a ryby). Nejvyšší průměrný obsah selenu i jodu byl shodně detekován ve vzorcích vaječných žloutků, a to 724,5 ± 130,0 $\mu g.kg^{-1}$ selenu, respektive 1735,1 ± 767,1 $\mu g.kg^{-1}$ jodu. Při porovnání obsahu selenu a jodu v obou produkcích bylo nejvyšší průměrné množství těchto prvků zjištěno ve žloutcích z ekologického zemědělství. Naopak nejnižší průměrné hodnoty selenu byly stanoveny v bramborách (1,8 ± 1,1 $\mu g.kg^{-1}$). Nejméně jodu bylo zjištěno ve vzorcích jablek, ve kterých se obsah jodu vždy pohyboval pod mezí detekce.

6.1 Porovnání stanovených obsahů Se a I v potravinách s jinými studiemi

Obsah prvků se ve vzorcích brambor pohyboval v rozmezí hodnot < 1,5 až 3,2 $\mu g.kg^{-1}$ selenu a < 8,0 – 77,8 $\mu g.kg^{-1}$ jodu. Podobné množství selenu v bramborách bylo stanoveno například ve studiích Barclay et al. (1995) (0,7 – 2,8 $\mu g.kg^{-1}$), Kadrabová et al. (1997) (0,5 – 5,7 $\mu g.kg^{-1}$) a Smrkolj et al. (2005) (1,1 – 1,7 $\mu g.kg^{-1}$). Většina literárních zdrojů však uvádí nižší hodnoty obsahu jodu v bramborách, a to konkrétně rozsahy 4,0 – 26,0 $\mu g.kg^{-1}$ (Haldimann et al. 2005) a 18,0 – 37,0 $\mu g.kg^{-1}$ (Velíšek & Hajšlová 2009).

Množství selenu ve vzorcích cibulí bylo stanoveno v rozmezí 2,7 – 22,5 $\mu g.kg^{-1}$. Srovnatelného výsledku při stanovení selenu ve vzorcích cibulí dosáhli Kadrabová et al. (1997), a to 0,7 – 21,9 $\mu g.kg^{-1}$, nebo Smrkolj et al. (2005) s cca polovičními hodnotami od 1,1 do 10,5 $\mu g.kg^{-1}$. Obsah jodu v cibulích byl v rozsahu < 8,0 – 10,7 $\mu g.kg^{-1}$, avšak pouze jeden vzorek z této studie byl nad hodnotou meze detekce. Todorov et al. (2018) ve své studii porovnávali průměrné množství jodu v různých potravinách pomocí dvou metod, ICP-MS a AAS. Pomocí ICP-MS byla v cibulích stanovena průměrná hodnota 3,9 ± 0 $\mu g.kg^{-1}$ jodu, což se shoduje s výsledky této studie, zatímco při stanovení jodu metodou AAS se obsah jodu v cibulích pohyboval pod mezí detekce.

Množství obou prvků v čokoládách se pohybovalo v rozmezí 40,5 – 108,9 $\mu g.kg^{-1}$ selenu, respektive < 8,0 – 81,3 $\mu g.kg^{-1}$ jodu. Barclay et al. (1995) stanovili srovnatelné množství selenu v čokoládách, a to 15,0 – 110,0 $\mu g.kg^{-1}$, zatímco Navarro-Alarcon & Cabrera-Vique (2008) pouze 39,0 – 41,0 $\mu g.kg^{-1}$. Dellavalle & Barbano (1984) ve své studii zjistili průměrné množství jodu v čokoládách v rozmezí hodnot od 7,2 do 106,2 $\mu g.kg^{-1}$, avšak Velíšek & Hajšlová (2009) uvádí pouze 33,0 $\mu g.kg^{-1}$. Hodnoty obsahu jodu v různých čokoládách stanovené v této studii jsou v souladu s výsledky Dellavalle & Barbano (1984).

Obsah selenu ve vzorcích jablek byl stanoven v rozmezí hodnot 1,7 – 9,1 $\mu g.kg^{-1}$. Kadrabová et al. (1997) uvádí hodnoty 0,8 – 2,5 $\mu g.kg^{-1}$, což je řádově shodné s výsledky této studie, avšak Navarro-Alarcon & Cabrera-Vique (2008) zjistili až dvacetinásobný obsah selenu v jablkách, a to 4,5 – 50,0 $\mu g.kg^{-1}$. Současně množství jodu ve všech vzorcích jablek bylo pod mezí detekce. Stejný výsledek získali i Todorov et al. (2018), kteří stanovovali množství jodu v jablkách jak metodou ICP-MS, tak metodou AAS. Fiedlerová (1998) stanovila pomocí AAS obsah jodu v jablkách v rozmezí od 0 do 10 $\mu g.kg^{-1}$, což rovněž odpovídá výsledkům této studie.

Množství selenu ve vzorcích kuřecích jater bylo v rozmezí od 453,4 do 602,5 $\mu g.kg^{-1}$. O něco nižší hodnoty (323,4 – 464,8 $\mu g.kg^{-1}$) obsahu selenu ve vzorcích kuřecích jater zjistili metodou AAS Kadrabová et al. (1997), zatímco maximální hodnota (280,0 – 1420,0 $\mu g.kg^{-1}$) stanovená ve studii Díaz-Alarcón et al. (1996) byla více než dvojnásobná ve srovnání s touto studií. Množství jodu ve vzorcích kuřecích jater se nacházelo v intervalu 16,0 – 75,9 $\mu g.kg^{-1}$. V České republice Hejtmánková et al. (2005) stanovili obsah jodu v játrech různých hospodářských zvířat pomocí vysokoúčinné kapalinové chromatografie (HPLC) s elektrochemickým detektorem. V kuřecích játrech byl jod stanoven v rozmezí hodnot 62,0 – 265,0 $\mu g.kg^{-1}$, v hovězích 50,0 – 182,0 $\mu g.kg^{-1}$ a ve vepřových 107,0 – 182,0 $\mu g.kg^{-1}$. Tyto rozdílné hodnoty mohou být zapříčiněny odlišnou genetickou výbavou zvířat a prostředím, v němž se zvířata vyskytují, klimatickými podmínkami i krmivy, která jsou zvířatům podávána.

Množství selenu v kuřecích prsních řízcích bylo stanoveno v rozmezí 148,1 – 258,2 $\mu g.kg^{-1}$. Díaz-Alarcón et al. (1996), Kadrabová et al. (1997) a Smrkolj et al. (2005) ve svých studiích však v odpovídajících vzorcích stanovili výrazně méně selenu, konkrétně 58,0 – 84,0 $\mu g.kg^{-1}$, 116,2 – 132,0 $\mu g.kg^{-1}$ a 97,0 – 154,0 $\mu g.kg^{-1}$. Obsah jodu se v kuřecích prsních řízcích pohyboval v intervalu < 8,0 až 12,6 $\mu g.kg^{-1}$. Pod mezí detekce byly i obsahy jodu v kuřecích prsních řízcích, které analyzovala Hejtmánková et al. (2005). Nízkou hodnotu obsahu jodu v kuřecí svalovině, a to < LOD až 5,0 $\mu g.kg^{-1}$, uvedli ve své knize i Velíšek & Hajšlová (2009).

Koncentrace selenu ve vzorcích plnotučných kravských mlék činila 15,7 – 25,9 $\mu g.kg^{-1}$. Velmi podobného výsledku ve svých studiích dosáhli především Navarro-Alarcon & Cabrera-Vique (2008), konkrétně 13,1 – 21,9 $\mu g.kg^{-1}$, nebo Barclay et al. (1995), který stanovil 7,0 – 34,0 $\mu g.kg^{-1}$. Rozsah stanoveného množství jodu ve vzorcích plnotučných kravských mlék byl 37,5 – 273,0 $\mu g.kg^{-1}$. V dalších studiích byl zjištěný obsah jodu v mlécích poměrně rozmanitý, například 46,0 – 187,0 $\mu g.kg^{-1}$ (Fiedlerová 1998), 330,0 – 1107,0 $\mu g.kg^{-1}$ (Haldimann et al. 2005), 53,0 – 605,0 $\mu g.kg^{-1}$ (Hejtmánková et al. 2005), nebo 50,0 – 550,0 $\mu g.kg^{-1}$ (Tinggi et al. 2012), i když poslední dva autoři se ve svých výsledcích téměř shodují.

Obsah obou prvků ve vzorcích rýží byl 34,5 – 175,7 $\mu g.kg^{-1}$ selenu, respektive 18,8 – 61,8 $\mu g.kg^{-1}$ jodu. Barclay et al. (1995) ve vzorcích rýží stanovili o něco vyšší obsah selenu (68,0 – 230,0 $\mu g.kg^{-1}$), naopak Navarro-Alarcon & Cabrera-Vique (2008) zjistili maximálně 45,3 $\mu g.kg^{-1}$ selenu, což není ani ¼ maximálního množství selenu stanoveného v této studii. Zároveň Haldimann et al. (2005) uvádějí více než desetinásobné množství jodu (11 – 934 $\mu g.kg^{-1}$), než bylo zjištěno v této studii.

Množství selenu ve vzorcích vaječných bílků se pohybovalo v intervalu hodnot od 78,0 do 135,6 $\mu g.kg^{-1}$. Studie zabývající se stanovením selenu ve vzorcích bílků uvádí

srovnatelné hodnoty v rozmezí 81,6 – 108,8 μg.kg^{-1} (Kadrabová et al. 1997), či nižší hodnoty 61,0 – 70,0 μg.kg^{-1} (Smrkolj et al. 2005). Stanovený obsah jodu byl 8,2 až 154,7 μg.kg^{-1}. Haldimann et al. (2005) stanovili 132 – 347 μg.kg^{-1} jodu ve vaječných bílcích a Kučera (2009) pouze 30,0 μg.kg^{-1}. Další autoři uvádějí velmi rozdílné výsledky.

Obsah obou prvků ve vzorcích vaječných žloutků se nacházel v rozmezí hodnot 571,6 – 931,2 μg.kg^{-1} selenu, respektive 707,2 – 3166,5 μg.kg^{-1} jodu. Studie zabývající se stanovením obsahu selenu uvádějí přibližně poloviční množství, a to 281,7 – 443,0 μg.kg^{-1} (Kadrabová et al. 1997) nebo 351,0 – 424,0 μg.kg^{-1} (Smrkolj et al. 2005). V jiných studiích byl stanoven i nižší obsah jodu. Haldimann et al. (2005) uvádějí obsah jodu ve žloutcích v rozmezí 711,0 – 2600,0 μg.kg^{-1}, Kučera (2009) pouze 1200 μg.kg^{-1}. Vyšší hodnoty v této práci mohly být způsobeny suplementací krmiva selenem a jodem. Dále se lze domnívat, že vzorky vajec AG Maiwald BIO z ekologické produkce a Arnoštova vajíčka z konvenční produkce mohly pocházet z chovů, které dostávají krmné směsi fortifikované jodem. Výsledný průměrný obsah jodu v těchto vzorcích žloutků byl oproti některým dalším analyzovaným vzorkům vaječných žloutků více než dvojnásobný.

Množství selenu a jodu v rybách bylo stanoveno ve velmi širokém rozmezí, konkrétně od 131,9 do 1761,7 μg.kg^{-1} selenu a 31,8 – 2283,9 μg.kg^{-1} jodu. V mořských rybách bylo zjištěno 198,3 – 1761,7 μg.kg^{-1} selenu a 96,0 – 2283,9 μg.kg^{-1} jodu. Ve sladkovodních rybách byly nalezeny nižší obsahy obou prvků, konkrétně 131,9 – 659,2 μg.kg^{-1} selenu a 31,8 – 72,7 μg.kg^{-1} jodu. Vyšší obsah selenu a jodu v mořských rybách oproti sladkovodním je popsán i ve většině odborných či vědeckých článků. Například Hejtmánková et al. (2005) stanovovali metodou HPLC obsah jodu v různých druzích ryb. Bylo prokázáno, že množství jodu je vyšší v mořských rybách než v rybách sladkovodních. Ke stejnému závěru došli ve své studii také Kadrabová et al. (1997), kteří stanovili 505,0 – 520,7 μg.kg^{-1} selenu v mořských rybách a 196,1 – 272,5 μg.kg^{-1} selenu v rybách sladkovodních. Obdobně Haldimann et al. (2005) uvádějí 387,0 – 6926,0 μg.kg^{-1} jodu v mořských a 11,0 – 1571,0 μg.kg^{-1} jodu ve sladkovodních rybách. Kučera (2009) uvádí oproti této studii až dvojnásobné množství jodu v mořských (471,0 – 4591,0 μg.kg^{-1}) i sladkovodních (68,0 – 194,0 μg.kg^{-1}) rybách. Tinggi et al. (2012) ve své studii stanovili 320,0 – 1440,0 μg.kg^{-1} jodu v mořských a pouze 3,0 – 410,0 μg.kg^{-1} jodu ve sladkovodních rybách. Vyšší hodnoty obou prvků v mořských rybách jsou zapříčiněny vyplavováním selenu a jodu z půdy či hornin do moří a oceánů, kde se kumulují v mořských rostlinách i živočiších.

Na závěr je nutno říci, že příčinou rozdílného obsahu obou prvků v různých studiích může být především rozdílná lokalita chovu hospodářských zvířat či pěstování plodin, odlišné krmivo podávané zvířatům či suplementace krmiv. V případě rostlinných vzorků by bylo pro doplnění v této studii vhodné provést rozbor půdy, na které byly vybrané potraviny pěstovány a zjistit, zda byla použita hnojiva. U živočišných vzorků by bylo užitečné získat podrobnější informace o použitých krmivech a veterinárních lécích, které jsou zvířatům podávány pro zlepšení jejich zdravotního stavu. Pro analyzované vzorky potravin pocházející z tržní sítě jsou však tyto informace nedostupné.

6.2 Vyhodnocení hypotézy 1

H_1: Obsah selenu a jodu ve stejných potravinách závisí na jejich původu.

Statistickými metodami byl testován případný rozdíl mezi ekologickou a konvenční produkcí ve stejných skupinách potravin. V tabulce 22 je uvedeno výsledné potvrzení či zamítnutí testované hypotézy jednotlivě pro analyzované komodity. Pro přijetí byla stanovena hodnota statistické významnosti $p < 0,05$. V případě potvrzení hypotézy existoval statisticky významný rozdíl v průměrném obsahu selenu či jodu mezi ekologickou a konvenční produkcí, pokud byla hypotéza zamítnuta, mezi ekologickou a konvenční produkcí neexistoval signifikantní rozdíl v průměrném obsahu selenu nebo jodu.

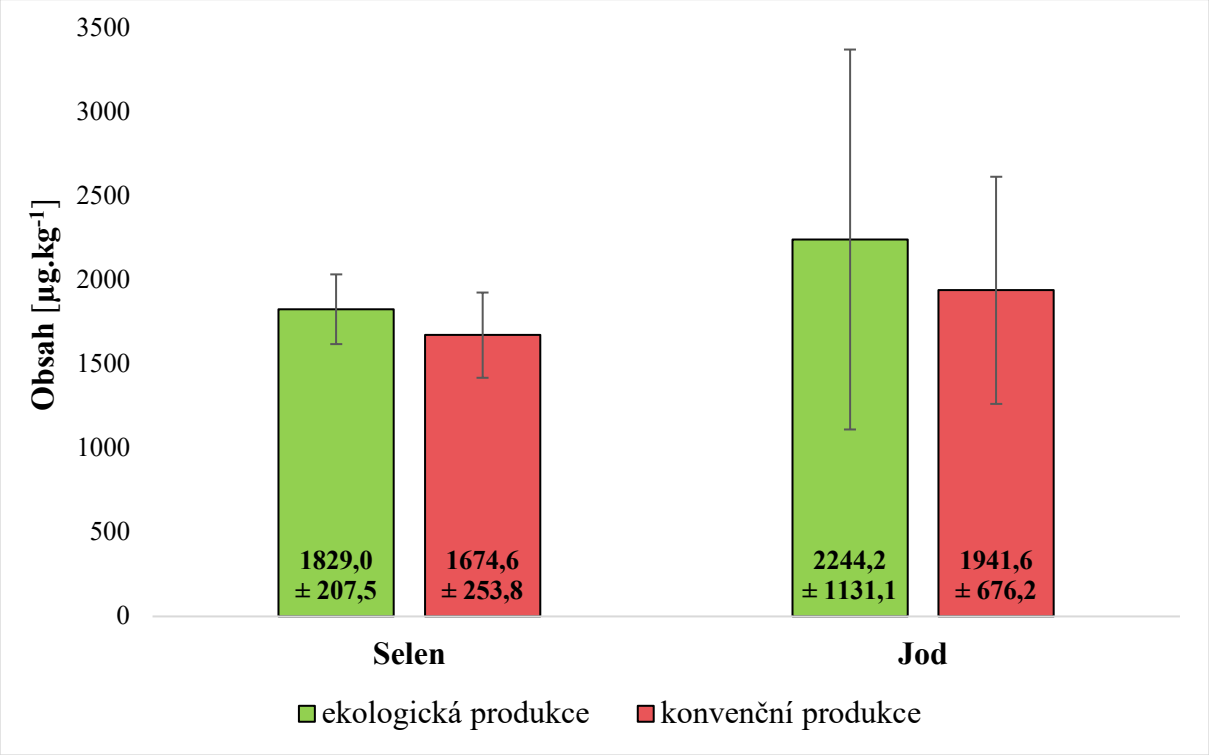
Při vyhodnocování statistické významnosti průměrného obsahu selenu ve stejných potravinových komoditách byla navržená hypotéza v 5 komoditách potvrzena a v 6 zamítnuta. Průměrné množství selenu v kuřecích játrech ($p = 0,00156$), kuřecích prsních řízcích ($p = 0,01383$), plnotučných kravských mlécích ($p = 0,00026$), rýžích ($p = 0,00431$) a vaječných bílcích ($p = 0,00039$) bylo v ekologické a konvenční produkci statisticky významně odlišné. Zatímco v kuřecích játrech a rýžích z ekologické produkce byl stanoven vyšší průměrný obsah selenu, ve vzorcích kuřecích prsních řízků, plnotučných kravských mlék a vaječných bílků byl vyšší obsah selenu zjištěn v produktech z konvenčního zemědělství. Naopak brambory ($p = 0,67859$), cibule ($p = 0,64569$), čokolády ($p = 0,37331$), jablka ($p = 0,63224$), žloutky ($p = 0,05790$) měly průměrný obsah selenu v ekologické a konvenční produkci srovnatelný a nebyl mezi vzorky z ekologické a konvenční produkce statisticky významný rozdíl, avšak mírně vyšší průměrný obsah selenu v ekologické oproti konvenční produkci byl zjištěn ve vzorcích brambor, cibulí, jablek a vaječných žloutků. Průměrné množství selenu v mořských a sladkovodních rybách nebylo statisticky významně rozdílné ($p = 0,12290$), nicméně vyšší obsah měly mořské ryby.

Během hodnocení statistické významnosti průměrného množství jodu ve stejných potravinách byla stanovená hypotéza v 6 komoditách potvrzena a ve 4 zamítnuta. Průměrný obsah jodu v bramborách ($p = 0,00375$), čokoládách ($p = 0,00101$), kuřecích játrech ($p = 0,01405$), rýžích ($p = 0,00117$) a vaječných bílcích ($p = 0,01685$) byl v ekologické a konvenční produkci statisticky významně rozdílný. Vyšší obsah jodu původem z ekologické produkce byl stanoven v bramborách, čokoládách, rýžích a vaječných bílcích, naopak vyšší obsah jodu v konvenčních produktech byl zjištěn pouze ve vzorcích kuřecích jater. Rovněž obsah jodu v mořských a sladkovodních rybách byl statisticky významně odlišný ($p = 0,03840$), mořské ryby měly vyšší průměrný obsah než sladkovodní ryby. Průměrné množství jodu v cibulích ($p = 0,15809$), kuřecích prsních řízcích ($p = 0,30784$), plnotučných kravských mlécích ($p = 0,27246$) a vaječných žloutcích ($p = 0,53288$) nezáleželo na tom, zda vzorky pocházejí z ekologické nebo konvenční produkce, nicméně lehce vyšší průměrné množství jodu v ekologické produkci bylo stanoveno ve vzorcích cibulí, kuřecích prsních řízků a vaječných žloutků. Ve všech vzorcích jablek byly obsahy jodu vždy pod mezí detekce, vzorky jablek z obou typů produkce jsou tedy srovnatelné, avšak hypotéza nemohla být z tohoto důvodu statistickými metodami ověřena.

Tabulka 22: Přehled potvrzení a zamítnutí hypotézy 1 ve stejných potravinách

Komodita	Selen	Jod
Brambory	zamítnuta	potvrzena
Cibule	zamítnuta	zamítnuta
Čokolády	zamítnuta	potvrzena
Jablka	zamítnuta	-
Kuřecí játra	potvrzena	potvrzena
Kuřecí prsní řízky	potvrzena	zamítnuta
Plnotučná kravská mléka	potvrzena	zamítnuta
Rýže	potvrzena	potvrzena
Vejce – bílky	potvrzena	potvrzena
Vejce – žloutky	zamítnuta	zamítnuta
Ryby	zamítnuta	potvrzena

Na závěr nelze jednoznačně říci, zda průměrný obsah selenu a jodu v analyzovaných potravinách závisí na jejich původu, jelikož potvrzení a zamítnutí navržené hypotézy je pro oba prvky poměrně vyvážené (45 % potvrzeno a 55 % zamítnuto, respektive 60 % potvrzeno a 40 % zamítnuto). Po sečtení průměrných obsahů selenu a jodu ve všech vybraných potravinách (vyjma ryb) lze teoreticky předpokládat, že potraviny z ekologické produkce mají lehce vyšší obsah těchto prvků (viz graf 25). Pokud by jedinec konzumoval tyto vybrané potraviny z ekologické produkce, mohl by si hypoteticky zajistit vyšší příjem selenu a jodu do organismu. Konzumací mořských ryb se s největší pravděpodobností zvýší výrazněji přísun jodu do organismu, jak již bylo uvedeno i dalšími autory (Kadrabová et al. 1997; Haldimann et al. 2005; Hejtmánková et al. 2005; Kučera 2009; Tinggi et al. 2012).



Graf 25: Součet průměrného obsahu selenu a jodu v analyzovaných potravinách

6.3 Vyhodnocení hypotézy 2

H_2: Obsah selenu a jodu v různých potravinách se liší.

Statistickými metodami byly testovány signifikantní rozdíly obsahů selenu a jodu mezi jednotlivými komoditami potravin. Pro potvrzení navržené hypotézy byla stanovena hodnota statistické významnosti $p < 0,05$. Hypotéza byla potvrzena, pokud existoval statisticky významný rozdíl v průměrných obsazích selenu a jodu v různých potravinách. Jestliže neexistoval signifikantní rozdíl mezi průměrným obsahem selenu nebo jodu v různých potravinách, hypotéza byla zamítnuta.

Průměrné obsahy selenu jsou dle Scheffého testu (tab. 20) statisticky významně vyšší v kuřecích játrech, vaječných žloutcích a rybách ve srovnání s ostatními analyzovanými potravinami. Rozdíly v obsahu selenu v těchto třech komoditách nejsou statisticky významné. Lehce vyšší množství selenu, nikoliv však statisticky významné, bylo zjištěno ve vzorcích čokolád, rýží a vaječných bílků. Rovněž mezi těmito ostatními skupinami potravin neexistoval statisticky významný rozdíl z hlediska průměrného obsahu selenu.

Na základě výsledků Scheffého testu (tab. 21) pouze komodita vaječných žloutků se lišila svým průměrným obsahem jodu od ostatních skupin analyzovaných potravin. Žloutky vykazovaly absolutně nejvyšší množství jodu, které bylo statisticky významně vyšší. Lehce vyšší obsahy jodu, nikoliv však statisticky významné, lze obecně očekávat ve vzorcích ryb bez rozlišení jejich původu. V této potravinářské komoditě však velmi záleží na tom, zda se jedná o ryby mořské nebo sladkovodní a vzhledem k velké variabilitě ve stanovených průměrných obsazích jodu v jednotlivých vzorcích mořských ryb (S_R = 124,9 %) pravděpodobně i na druhu mořské ryby. V některých druzích mořských ryb lze tedy očekávat statisticky významně vyšší obsah jodu než ve většině dalších potravin.

Navržená hypotéza byla potvrzena pouze částečně a platí jen pro omezenou skupinu potravin. Větší rozdíly v průměrných množstvích mezi jednotlivými komoditami byly zjištěny v obsazích selenu než jodu.

7 Závěr

- Nejvyšší průměrný obsah selenu i jodu byl stanoven ve vzorcích vaječných žloutků z ekologické produkce. Naopak nejnižší průměrné množství selenu bylo detekováno v bramborách. Nejnižší obsah jodu vykazovala jablka, ve všech vzorcích jablek bylo množství jodu pod mezí detekce.
- Největší rozdíly v obsahu selenu v rámci jedné skupiny potravin vykazovaly vzorky ekologicky vypěstované cibule, v případě jodu se jednalo o vzorky mořských ryb. Naopak nejnižší variabilitu v obsazích selenu měly vzorky plnotučných kravských mlék z konvenční produkce, zatímco pro jod vzorky ekologicky vypěstovaných brambor.
- Nelze jednoznačně určit, ze kterého způsobu produkce jsou získávány potraviny s vyšším obsahem selenu a jodu, nicméně lze předpokládat, že některé druhy potravin z ekologické produkce mají lehce vyšší množství těchto prvků. Statisticky významně vyšší obsah selenu v potravinách z ekologického zemědělství byl zjištěn pouze v kuřecích játrech a rýžích. Mírně vyšší průměrné množství selenu v ekologické oproti konvenční produkci byl zjištěn ve vzorcích brambor, cibulí, jablek a vaječných žloutků. Statisticky významně vyšší obsahy jodu v potravinách z ekologického zemědělství byly prokázány ve vzorcích brambor, čokolád, rýží a vaječných bílků. Lehce vyšší průměrné množství jodu v ekologické produkci bylo stanoveno také ve vzorcích cibulí, kuřecích prsních řízků a vaječných žloutků.
- Statisticky významně vyšší obsah selenu ve srovnání s dalšími sledovanými komoditami potravin byl stanoven pouze ve vzorcích kuřecích jater, žloutků a ryb. Rozdíly v obsahu selenu ve třech komoditách s nejvyšším množstvím selenu nejsou statisticky významné, obdobně jako rozdíly v průměrném obsahu selenu v dalších sledovaných potravinách. Signifikantně vyšší průměrný obsah jodu v analyzovaných potravinách byl stanoven pouze ve vzorcích žloutků. Lehce vyšší obsahy jodu, nikoliv však statisticky významné, lze obecně očekávat ve vzorcích ryb, v některých druzích mořských ryb je možno očekávat statisticky významně vyšší obsah jodu než ve většině dalších potravin. Průměrné obsahy jodu v dalších analyzovaných komoditách potravin nevykazují statisticky významné rozdíly.
- Mořské ryby měly vyšší průměrné množství selenu než sladkovodní ryby, nicméně průměrný obsah selenu v analyzovaných vzorcích mořských i sladkovodních ryb nezávisel významně na jejich původu. Mořské ryby měly statisticky významně vyšší průměrný obsah jodu než sladkovodní ryby.

8 Seznam literatury

Adadi P, Barakova NV, Muravyov KY, Krivoshapkina EF. 2019. Designing selenium functional foods and beverages: A review. Food Research International **120**:708-725.

Ahad F, Ganie SA. 2010. Iodine, Iodine metabolism and Iodine deficiency disorders revisited. Indian Journal of Endocrinology and Metabolism **14**:13-17.

Amerling K. 1852. Orbis pictus, čili, Svět v obrazích: stupeň druhý, co pokračování prvního stupně, jejž sepsal Amos Komenský. České museum v Praze, Praha.

Andersson M, de Benoist B, Rogers L. 2010. Epidemiology of iodine deficiency: Salt iodisation and iodine status. Best Practice & Research Clinical Endocrinology & Metabolism **24**:1-11.

Arriaga FJ, Guzman J, Lowery B. 2017. Conventional Agricultural Production Systems and Soil Functions. Pages 109-125 in Al-Kaisi MM, Lowery B, editors. Soil Health and Intensification of Agroecosytems. Academic press, Oxford.

Arthur JR, Beckett GJ, Mitchell JH. 1999. The interactions between selenium and iodine deficiencies in man and animals. Nutrition Research Reviews **12**:55-73.

Bakhshalinejad R, Hassanabadi A, Swick RA. 2019. Dietary sources and levels of selenium supplements affect growth performance, carcass yield, meat quality and tissue selenium deposition in broilers. Animal Nutrition **5**:256-263.

Barclay MNI, MacPherson A, Dixon J. 1995. Selenium Content of a Range of UK Foods. Journal of Food Composition and Analysis **8**:307-318.

Batáriová A, Černá M, Spěváčková V, Čejchanová M, Beneš B, Šmíd J. 2005. Whole blood selenium content in healthy adults in the Czech Republic. Science of The Total Environment **338**:183-188.

Bath SC, Rayman MP. 2016. Trace element concentration in organic and conventional milk: what are the nutritional implications of the recently reported differences?. British Journal of Nutrition **116**:3-6.

Berendsen AAM, van Lieshout LELM, van den Heuvel EGHM, Matthys C, Péter S, de Groot LCPGM. 2016. Conventional foods, followed by dietary supplements and fortified foods, are the key sources of vitamin D, vitamin B6, and selenium intake in Dutch participants of the NU-AGE study. Nutrition Research **36**:1171-1181.

Bhattacharya PT, Misra SR, Hussain M. 2016. Nutritional Aspects of Essential Trace Elements in Oral Health and Disease: An Extensive Review. Scientifica **2016**:1-12.

Boone L, Roldán-Ruiz I, van Linden V, Muylle H, Dewulf J. 2019. Environmental sustainability of conventional and organic farming: Accounting for ecosystem services in life cycle assessment. Science of The Total Environment **695** (e133841) DOI: 10.1016/j.scitotenv.2019.133841.

Burk RF, Hill KE, Motley AK, Austin LM, Norsworthy BK. 2006. Deletion of selenoprotein P upregulates urinary selenium excretion and depresses whole-body selenium content. Biochimica et Biophysica Acta (BBA) – General Subjects **1760**:1789-1793.

Carriquiry AL, Spungen JH, Murphy SP, Pehrsson PR, Dwyer JT, Juan WY, Wirtz MS. 2016. Variation in the iodine concentrations of foods: considerations for dietary assessment. The American Journal of Clinical Nutrition **104**:877-887.

Dellavalle ME, Barbano DM. 1984. Iodine Content of Milk and Other Foods. Journal of Food Protection **47**:678-684.

Díaz-Alarcón JP, Navarro-Alarcón M, López-García de la Serrana H, López-Martínez MC. 1996. Determination of Selenium in Meat Products by Hydride Generation Atomic Absorption Spectrometry – Selenium Levels in Meat, Organ Meats, and Sausages in Spain. Journal of Agricultural and Food Chemistry **44**:1494-1497.

Doh H, Lee MH, Park HJ. 2019. Effect of different cooking methods on the content and bioaccessibility of iodine components in abalone (*Haliotis discus hannai*). Food Chemistry **301** (e125197) DOI: 10.1016/j.foodchem.2019.125197.

eAGRI. 2012. Právní předpisy pro ekologické zemědělství a produkci biopotravin. Ministerstvo zemědělství, Praha.

EFSA. 2006. Tolerable Upper Intake Levels for Vitamins and Minerals. European Food Safety Authority, Parma.

Fairweather-Tait SJ, Bao Y, Broadley MR, Collings R, Ford D, Hesketh JE, Hurst R. 2011. Selenium in Human Health and Disease. Antioxidants & Redox Signaling **14**:1337-1383.

Fiedlerová V. 1998. Spectrophotometric determination of iodine and its content and stability in selected food raw materials and products. Czech Journal of Food Sciences **16**:163-167.

Fuge R, Johnson CC. 2015. Iodine and human health, the role of environmental geochemistry and diet, a review. Applied Geochemistry **63**:282-302.

Gomiero T. 2018. Food quality assessment in organic vs. conventional agricultural produce: Findings and issues. Applied Soil Ecology **123**:714-728.

González N, Marquès M, Nadal M, Domingo JL. 2019. Occurrence of environmental pollutants in foodstuffs: A review of organic vs. conventional food. Food and Chemical Toxicology **125**:370-375.

Haldimann M, Alt A, Blanc A, Blondeau K. 2005. Iodine content of food groups. Journal of Food Composition and Analysis **18**:461-471.

Hegedűs O, Hegedűsová A, Šimková S, Pavlík V, Jomová K. 2008. Evaluation of the ET-AAS and HG-AAS methods of selenium determination in vegetables. Journal of Biochemical and Biophysical Methods **70**:1287-1291.

Hejtmánková A, Dolejšková J. 2015. Význam prvků a jejich sloučenin v životním prostředí. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha.

Hejtmánková A, Vejdová M, Trnková E. 2005. Stanovení jodu v biologickém materiálu metodou HPLC s elektrochemickým detektorem. Chemické listy **99**:657-660.

Herzig I, Travnicek J, Kursa J, Kroupova V. 2005. The content of iodine in pork. Veterinarni Medicina **50**:521-525.

Herzig I, Trávníček J, Kursa V, Kroupová J, Řezníček I. 2007. Content of Iodine in Broiler Meat. Acta Veterinaria Brno **76**:137-141.

Chitturi RT, Baddam VRR, Prasad LK, Prashanth L, Kattapagari KK. 2015. A review on role of essential trace elements in health and disease. Journal of Dr. NTR University of Health Sciences **4**:75-85.

Ivory K, Nicoletti C. 2017. Selenium is a source of aliment and ailment: Do we need more?. Trends in Food Science & Technology **61**:190-193.

Julshamn K, Dahl L, Eckhoff KM. 2001. Determination of Iodine in Seafood by Inductively Coupled Plasma/Mass Spectrometry. Journal of AOAC International **84**:1976-1983.

Jursík F. 2001. Anorganická chemie nekovů. 1. vydání. Vysoká škola chemicko-technologická, Praha.

Kadrabová J, Madaric A, Ginter E. 1997. The selenium content of selected food from the Slovak Republic. Food Chemistry **58**:29-32.

Kapounová Z, Blahová J, Dofková M, Ruprich J, Řehůřková I. 2014. Obvyklý přívod a dietární zdroje selenu v české populaci. Hygiena **59**:64-70.

Kieliszek M, Błażejak S. 2013. Selenium: Significance, and outlook for supplementation. Nutrition **29**:713-718.

Kieliszek M. 2019. Selenium – Fascinating Microelement, Properties and Sources in Food. Molecules **24** (e1298) DOI: 10.3390/molecules24071298.

Köhrle J, Gärtner R. 2009. Selenium and thyroid. Best Practice & Research Clinical Endocrinology & Metabolism **23**:815-827.

Komise Evropských společenství. 2008. Nařízení Komise (ES) č. 1235/2008, kterým se stanoví prováděcí pravidla k nařízení Rady (ES) č. 834/2007, pokud jde o opatření pro dovoz ekologických produktů ze třetích zemí. Pages 25-52 in Úřední věstník Evropské unie L334, Brusel.

Komise Evropských společenství. 2008. Nařízení Komise (ES) č. 889/2008, kterým se stanoví prováděcí pravidla k nařízení Rady (ES) č. 834/2007 o ekologické produkci a označování ekologických produktů. Pages 1-84 in Úřední věstník Evropské unie L250, Štrasburk.

Kučera J. 2009. Assay of Iodine in Foodstuffs: Methods and Applications. Pages 15-27 in Preedy VR, Burrow GN, Watson R, editors. Comprehensive Handbook of Iodine: Nutritional, Biochemical, Pathological and Therapeutic Aspects. Academic Press, USA.

Kursa J, Herzig I, Trávníček J, Kroupová V. 2007. Obsah jódu v potravinách živočišného původu: Sborník z VIII. konference Jodový deficit a jeho prevence v ČR. 6. 3. 2007 JU v Českých Budějovicích. Zdravotní ústav Ostrava.

Kvasničková A. 1998. Minerální látky a stopové prvky: Esenciální minerální prvky ve výživě. Ústav zemědělských a potravinářských informací, Praha.

Liu N, Pustjens AM, Erasmus SW, Yang Y, Hettinga K, van Ruth SM. 2020. Dairy farming system markers: The correlation of forage and milk fatty acid profiles from organic, pasture and conventional systems in the Netherlands. Food Chemistry **314** (e126153) DOI: 10.1016/j.foodchem.2019.126153.

Lyons MP, Papazyan TT, Surai PF. 2007. Selenium in Food Chain and Animal Nutrition: Lessons from Nature -Review-. Asian-Australasian Journal of Animal Sciences **20**:1135-1155.

MacLachlan DJ, Budd K, Connolly J, Derrick J, Penrose L, Tobin T. 2016. Arsenic, cadmium, cobalt, copper, lead, mercury, molybdenum, selenium and zinc concentrations in liver, kidney and muscle in Australian sheep. Journal of Food Composition and Analysis **50**:97-107.

Markalous B, Gregorová M. 2004. Nemoci štítné žlázy: otázky a odpovědi pro pacienty a jejich rodiny. 2. vydání. Triton, Praha.

Mehdi Y, Hornick JL, Istasse L, Dufrasne I. 2013. Selenium in the environment, metabolism and involvement in body functions. Molecules **18**:3292-3311.

Mesko MF, Mello PA, Bizzi CA, Dressler VL, Knapp G, Flores ÉMM. 2010. Iodine determination in food by inductively coupled plasma mass spectrometry after digestion by microwave-induced combustion. Analytical and Bioanalytical Chemistry **398**:1125-1131.

Ministerstvo zemědělství. 2006. Vyhláška Ministerstva zemědělství č. 16/2006 Sb., kterou se provádějí některá ustanovení zákona o ekologickém zemědělství. Pages 891-894 in Sbírka zákonů 2012, částka 29, Praha.

Navarro-Alarcon M, Cabrera-Vique C. 2008. Selenium in food and the human body: A review. Science of The Total Environment **400**:115-141.

Nicola JP, Basquin C, Portulano C, Reyna-Neyra A, Paroder M, Carrasco N. 2009. The Na^+/I^- symporter mediates active iodide uptake in the intestine. American Journal of Physiology-Cell Physiology **296**:654-662.

Orjales I, Herrero-Latorre C, Miranda M, Rey-Crespo F, Rodríguez-Bermúdez R, López-Alonso M. 2018. Evaluation of trace element status of organic dairy cattle. Animal **12**:1296-1305.

Papadomichelakis G, Zoidis E, Pappas AC, Danezis G, Georgiou CA, Fegeros K. 2018. Dietary organic selenium addition and accumulation of toxic and essential trace elements in liver and meat of growing rabbits. Meat Science **145**:383-388.

Parlament České republiky. 1997. Zákon č. 252/1997 Sb., o zemědělství. Pages 6268-6292 in Sbírka zákonů 2009, částka 124, Praha.

Parlament České republiky. 2000. Zákon č. 242/2000 Sb., o ekologickém zemědělství a o změně zákona č. 368/1992 Sb., o správních poplatcích, ve znění pozdějších předpisů. Pages 4330-4337 in Sbírka zákonů 2011, částka 122, Praha.

Pavlata P, Slosarkova S, Fleischer P, Pechova A. 2005. Effects of increased iodine supply on the selenium status of kids. Veterinarni Medicina **50**:186-194.

Pearce EN. 2012. Effects of iodine deficiency in pregnancy. Journal of Trace Elements in Medicine and Biology **26**:131-133.

Pehrsson PR, Patterson KY, Spungen JH, Wirtz MS, Andrews KW, Dwyer JT, Swanson CA. 2016. Iodine in food and dietary supplement – composition databases. The American Journal of Clinical Nutrition **104**:868-876.

Phuong LM, Lachman J, Kotíková Z, Orsák M, Michlová T, Martinek P. 2017. Selenium in colour-grained winter wheat and spring tritordeum. Plant Soil and Environment **67**:315-321.

Popa ME, Mitelut AC, Popa EE, Stan A, Popa VI. 2019. Organic foods contribution to nutritional quality and value. Trends in Food Science & Technology **84**:15-18.

Puech C, Baudr J, Joannon A, Poggi S, Aviron S. 2014. Organic vs. conventional farming dichotomy: Does it make sense for natural enemies? Agriculture, Ecosystems & Environment **194**:48-57.

Qin HB, Zhu JM, Liang L, Wang MS, Su H. 2013. The bioavailability of selenium and risk assessment for human selenium poisoning in high-Se areas, China. Environment International **52**:66-74.

Rada Evropské unie. 2007. 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. Pages 1-23 in Úřední věstník Evropské unie L189, Lucemburk.

Rayman MP. 2008. Food-chain selenium and human health: emphasis on intake. British Journal of Nutrition **100**:254-268.

Rayman MP. 2012. Selenium and human health. The Lancet **379**:1256-1268.

Referenční hodnoty pro příjem živin. 2011. 1. vydání. Forsapi, Praha.

Reganold JP, Wachter JM. 2016. Organic agriculture in the twenty-first century. Nature Plants **2** (e15221) DOI: 10.1038/nplants.2015.221.

Rohovec J. 2003. (L)učebnice anorganické chemie. Karolinum, Praha.

Seufert V. 2019. Comparing Yields: Organic Versus Conventional Agriculture. Pages 196-208 in Ferranti P, Berry EM, Anderson JR, editors. Encyclopedia of Food Security and Sustainability. Elsevier, Amsterdam.

Schomburg L, Köhrle J. 2008. On the importance of selenium and iodine metabolism for thyroid hormone biosynthesis and human health. Molecular Nutrition & Food Research **52**:1235-1246.

Schöne F, Spörl K, Leiterer M. 2017. Iodine in the feed of cows and in the milk with a view to the consumer's iodine supply. Journal of Trace Elements in Medicine and Biology **39**:202-209.

Skeaff SA. 2012. Assessing iodine intakes in pregnancy and strategies for improvement. Journal of Trace Elements in Medicine and Biology **26**:141-144.

Smrkolj P, Pograjc L, Hlastanribi C, Stibilj V. 2005. Selenium content in selected Slovenian foodstuffs and estimated daily intakes of selenium. Food Chemistry **90**:691-697.

Söderlund M, Virkanen J, Holgersson S, Lehto J. 2016. Sorption and speciation of selenium in boreal forest soil. Journal of Environmental Radioactivity **164**:220-231.

Šarapatka B, Urban J. 2006. Ekologické zemědělství v praxi. PRO-BIO, Šumperk.

Tan LC, Nancharaiah YV, van Hullebusch ED, Lens PNL. 2016. Selenium: environmental significance, pollution, and biological treatment technologies. Biotechnology Advances **34**:886-907.

Terry EN, Diamond AM. 2012. Selenium. Pages 568-585 in Erdman JW, MacDonald IA, Zeisel SH, editors. Present knowledge in nutrition. 10th edition. International Life Sciences Institute, Ames.

Thiry C, Ruttens A, De Temmerman L, Schneider YJ, Pussemier L. 2012. Current knowledge in species-related bioavailability of selenium in food. Food Chemistry **130**:767-784.

Tinggi U, Schoendorfer N, Davies PSW, Scheelings P, Olszowy H. 2012. Determination of iodine in selected foods and diets by inductively coupled plasma-mass spectrometry. Pure and Applied Chemistry **84**:291-299.

Todorov TI, Gray PJ. 2016. Analysis of iodine in food samples by inductively coupled plasma-mass spectrometry. Food Additives and Contaminants – Part A Chemistry, Analysis, Control, Exposure and Risk Assessment **33**:282-290.

Todorov TI, Smith T, Abdalla A, Mapulanga S, Holmes P, Hamilton M, Lewis T, McDonald M. 2018. Comparison of ICP-MS and Spectrophotometry Methods for the Analysis of Iodine in 2013 US FDA Total Diet Study Samples. Food Analytical Methods **11**:3211-3223.

Travnicek J, Herzig I, Kursa J, Kroupova V, Navratilova M. 2006a. Iodine content in raw milk. Veterinarni Medicina **51**:448-453.

Travnicek J, Kroupova V, Herzig I, Kursa J. 2006b. Iodine content in consumer hen egg. Veterinarni Medicina **51**:93-100.

Triggiani V, Tafaro E, Giagulli VA, Sabbà C, Resta F, Licchelli B, Guastamacchia E. 2009. Role of Iodine, Selenium and Other Micronutrients in Thyroid Function and Disorders. Endocrine, Metabolic & Immune Disorders – Drug Target **9**:277-294.

Tuccilli C, Baldini E, Truppa E, D'Auria B, De Quattro D, Cacciola G, Aceti T, Cirillo G, Faiola A, Indigeno P, D'Aliesio L, Gazzellone F, Bononi M, D'Armiento E, Carbotta G, Pironi D, Catania A, Sorrenti S, Ulisse S. 2018. Iodine deficiency in pregnancy: Still a health issue for the women of Cassino city, Italy. Nutrition **50**:60-65.

Týden štítné žlázy. 2019. Týden štítné žlázy. Česká endokrinologická společnost a Ústav zdravotnických informací a statistiky ČR, Praha. Available from http://www.tydenstitnezlazy.cz (accessed October 2019).

Uhrovčík J. 2014. Strategy for determination of LOD and LOQ values – Some basic aspects. Talanta **119**:178-180.

Velasco I, Bath S, Rayman M. 2018. Iodine as Essential Nutrient during the First 1000 Days of Life. Nutrients **10** (e290) DOI: 10.3390/nu10030290.

Velíšek J, Hajšlová J. 2009. Chemie potravin. 3. rozšířené a přepracované vydání. OSSIS, Tábor.

Zamrazil V, Čeřovská J. 2014. Jod a štítná žláza: optimální přívod jodu a poruchy z jeho nedostatku. Mladá fronta, Praha.

Zimmermann MB, Jooste PL, Pandav CS. 2008. Iodine-deficiency disorders. The Lancet **372**:1251-1262.

Zimmermann MB. 2008. Research on Iodine Deficiency and Goiter in the 19th and Early 20th Centuries. The Journal of Nutrition **138**:2060-2063.

Zimmermann MB. 2012. Iodine and Iodine Deficiency Disorders. Pages 554-567 in Erdman JW, MacDonald IA, Zeisel SH, editors. Present knowledge in nutrition. 10th edition. International Life Sciences Institute, Ames.

9 Seznam obrázků, tabulek a grafů

9.1 Seznam obrázků

Obrázek 1: Krystalické formy selenu; *převzato 21. 7. 2019*
- https://en.wikipedia.org/wiki/Selenium#/media/File:SeBlackRed.jpg

Obrázek 2: Hlavní kroky metabolismu selenu; *převzato a upraveno 4. 8. 2019*
- Terry EN, Diamond AM. 2012. Selenium. Pages 568-585 in Erdman JW, MacDonald IA, Zeisel SH, editors. Present knowledge in nutrition. 10th edition. International Life Sciences Institute. Ames.

Obrázek 3: Cyklus selenu v životním prostředí; *převzato a upraveno 15. 8. 2019*
- Nancharaiah YV, Lens PNL. 2015. Ecology and Biotechnology of Selenium-Respiring Bacteria. Microbiology and Molecular Biology Reviews **79**:61-80.

Obrázek 4: Projevy Keshanovy (A, B) a Kashin-Beckovy (C) choroby; *převzato 17. 8. 2019*
- Fairweather-Tait SJ, Bao Y, Broadley MR, Collings R, Ford D, Hesketh JE, Hurst R. 2011. Selenium in Human Health and Disease. Antioxidants & Redox Signaling **14**:1337-1383.

Obrázek 5: Jod za standardních podmínek; *převzato 17. 8. 2019*
- http://www.wodadlazdrowia.pl/pl/496/0/jod-niepozorny-pierwiastek.html

Obrázek 6: Produkce hormonů ze štítné žlázy; *převzato 18. 8. 2019*
- http://www.tydenstitnezlazy.cz/O-štítné-žláze

Obrázek 7: Cesta jodu v buňce štítné žlázy; *převzato a upraveno 18. 8. 2019*
- Zimmermann MB. 2012. Iodine and Iodine Deficiency Disorders. Pages 554-567 in Erdman JW, MacDonald IA, Zeisel SH, editors. Present knowledge in nutrition. 10th edition. International Life Sciences Institute. Ames.

Obrázek 8: Struktura MIT, DIT, T3 a T4; *převzato a upraveno 18. 8. 2019*
- https://www.intechopen.com/books/thyroid-and-parathyroid-diseases-new-insights-into-some-old-and-some-new-issues/introduction-to-thyroid-gland-anatomy-and-functions
- https://riordanclinic.org/2014/01/if-my-thyroid-is-normal-why-do-i-feel-so-bad

Obrázek 9: Cyklus jodu v životním prostředí; *převzato a upraveno 18. 8. 2019*
- Fuge R, Johnson CC. 2015. Iodine and human health, the role of environmental geochemistry and diet, a review. Applied Geochemistry **63**:282-302.

Obrázek 10: Formy strumy; *převzato a upraveno 11. 10. 2019*
- http://www.profhermann.at/index.php/erkrankungen/die-struma-ein-ueberbegriff

Obrázek 11: Znázornění hypotyreózy; *převzato a upraveno 11. 10. 2019*
- http://www.bajecnylekar.sk/5-byliniek-na-problem-stitnou-zlazou

Obrázek 12: Lidé s endemickým kretenismem; *převzato 11. 10. 2019*
- Zamrazil V, Čeřovská J. 2014. Jod a štítná žláza: optimální přívod jodu a poruchy z jeho nedostatku. Mladá fronta. Praha.

Obrázek 13: Znázornění hypertyreózy; *převzato a upraveno 11. 10. 2019*
- http://www.bajecnylekar.sk/5-byliniek-na-problem-stitnou-zlazou

Obrázek 14: Oční příznaky při G-B chorobě; *převzato a upraveno 11. 10. 2019*
- http://sk.emed.org.ua/modern-medic-na/endokrinolgia/13032-hypertyreza-prznaky-hypertyrezy-hypertyrezy-pr%C4%8Din

Obrázek 15: Značení potravin z ekologické produkce; *převzato a upraveno 3. 11. 2019*
- http://eagri.cz/public/web/mze/zemedelstvi/ekologicke-zemedelstvi/dokumenty-statistiky-formulare/loga-a-znaceni/

Obrázek 16: Posouzení ekologické a konvenční produkce; *převzato a upraveno 3. 11. 2019*
- https://www.mazifarm.com/regenerative-agroforestry-farm-blog/?category=Myth+Busters

9.2 Seznam tabulek

Tabulka 1: Doporučený denní příjem selenu 9
Tabulka 2: Doporučený denní příjem jodu 17
Tabulka 3: Choroby z nedostatku jodu 18
Tabulka 4: Obsah selenu a jodu v potravinách 22
Tabulka 5: Meze detekce a stanovitelnosti selenu a jodu pro použité metody stanovení..... 31
Tabulka 6: Průměrný obsah selenu a jodu v certifikovaném referenčním materiálu..... 32
Tabulka 7: Obsah selenu a jodu ve vzorcích brambor..... 33
Tabulka 8: Obsah selenu a jodu ve vzorcích cibulí 35
Tabulka 9: Obsah selenu a jodu ve vzorcích čokolád..... 37
Tabulka 10: Obsah selenu a jodu ve vzorcích jablek..... 39
Tabulka 11: Obsah selenu a jodu ve vzorcích kuřecích jater..... 41
Tabulka 12: Obsah selenu a jodu ve vzorcích kuřecích prsních řízků..... 43
Tabulka 13: Obsah selenu a jodu ve vzorcích plnotučných kravských mlék 45
Tabulka 14: Obsah selenu a jodu ve vzorcích rýží 47
Tabulka 15: Obsah selenu a jodu ve vzorcích bílků 49
Tabulka 16: Obsah selenu a jodu ve vzorcích žloutků..... 51
Tabulka 17: Obsah selenu a jodu ve vzorcích mořských a sladkovodních ryb 53
Tabulka 18: Pořadí průměrného klesajícího obsahu selenu a jodu v potravinách dle komodit.... 55
Tabulka 19: Relativní směrodatná odchylka ve vybraných komoditách 58
Tabulka 20: Průměrný obsah selenu ve vybraných potravinách (Scheffého test) 59
Tabulka 21: Průměrný obsah jodu ve vybraných potravinách (Scheffého test) 59
Tabulka 22: Přehled potvrzení a zamítnutí hypotézy 1 ve stejných potravinách..... 64
Tabulka 23: Seznam použitých potravin z ekologické produkce I
Tabulka 24: Seznam použitých potravin z konvenční produkce II

9.3 Seznam grafů

Graf 1: Průměrný obsah selenu a jodu v jednotlivých vzorcích brambor 34
Graf 2: Průměrný obsah selenu a jodu ve vzorcích brambor dle produkce 34
Graf 3: Průměrný obsah selenu a jodu v jednotlivých vzorcích cibulí 36
Graf 4: Průměrný obsah selenu a jodu ve vzorcích cibulí dle produkce 36
Graf 5: Průměrný obsah selenu a jodu v jednotlivých vzorcích čokolád 38
Graf 6: Průměrný obsah selenu a jodu ve vzorcích čokolád dle produkce 38
Graf 7: Průměrný obsah selenu a jodu v jednotlivých vzorcích jablek 40
Graf 8: Průměrný obsah selenu a jodu ve vzorcích jablek dle produkce 40
Graf 9: Průměrný obsah selenu a jodu v jednotlivých vzorcích kuřecích jater 42
Graf 10: Průměrný obsah selenu a jodu ve vzorcích kuřecích jater dle produkce 42
Graf 11: Průměrný obsah selenu a jodu v jednotlivých vzorcích kuřecích prsních řízků 44
Graf 12: Průměrný obsah selenu a jodu ve vzorcích kuřecích prsních řízků dle produkce 44
Graf 13: Průměrný obsah selenu a jodu v jednotlivých vzorcích plnotučných mlék 46
Graf 14: Průměrný obsah selenu a jodu ve vzorcích plnotučných mlék dle produkce 46
Graf 15: Průměrný obsah selenu a jodu v jednotlivých vzorcích rýží 48
Graf 16: Průměrný obsah selenu a jodu ve vzorcích rýží dle produkce 48
Graf 17: Průměrný obsah selenu a jodu v jednotlivých vzorcích bílků 50
Graf 18: Průměrný obsah selenu a jodu ve vzorcích bílků dle produkce 50
Graf 19: Průměrný obsah selenu a jodu v jednotlivých vzorcích žloutků 52
Graf 20: Průměrný obsah selenu a jodu ve vzorcích žloutků dle produkce 52
Graf 21: Průměrný obsah selenu a jodu v jednotlivých vzorcích ryb 54
Graf 22: Průměrný obsah selenu a jodu ve vzorcích ryb dle původu 54
Graf 23: Průměrný obsah selenu a jodu ve vybraných potravinách 56
Graf 24: Průměrný obsah selenu a jodu ve vybraných potravinách dle produkce 57
Graf 25: Součet průměrného obsahu selenu a jodu v analyzovaných potravinách 64
Graf 26: Průměrný obsah selenu ve vybraných potravinách (ANOVA) III
Graf 27: Průměrný obsah jodu ve vybraných potravinách (ANOVA) III
Graf 28: Průměrný obsah selenu ve vzorcích brambor dle produkce IV
Graf 29: Průměrný obsah jodu ve vzorcích brambor dle produkce IV
Graf 30: Průměrný obsah selenu ve vzorcích cibulí dle produkce V
Graf 31: Průměrný obsah jodu ve vzorcích cibulí dle produkce V
Graf 32: Průměrný obsah selenu ve vzorcích čokolád dle produkce VI
Graf 33: Průměrný obsah jodu ve vzorcích čokolád dle produkce VI
Graf 34: Průměrný obsah selenu ve vzorcích jablek dle produkce VII
Graf 35: Průměrný obsah jodu ve vzorcích jablek dle produkce VII
Graf 36: Průměrný obsah selenu ve vzorcích kuřecích jater dle produkce VIII
Graf 37: Průměrný obsah jodu ve vzorcích kuřecích jater dle produkce VIII
Graf 38: Průměrný obsah selenu ve vzorcích kuřecích prsních řízků dle produkce IX
Graf 39: Průměrný obsah jodu ve vzorcích kuřecích prsních řízků dle produkce IX
Graf 40: Průměrný obsah selenu ve vzorcích plnotučných kravských mlék dle produkce X
Graf 41: Průměrný obsah jodu ve vzorcích plnotučných kravských mlék dle produkce X
Graf 42: Průměrný obsah selenu ve vzorcích rýží dle produkce XI
Graf 43: Průměrný obsah jodu ve vzorcích rýží dle produkce XI
Graf 44: Průměrný obsah selenu ve vzorcích bílků dle produkce XII
Graf 45: Průměrný obsah jodu ve vzorcích bílků dle produkce XII
Graf 46: Průměrný obsah selenu ve vzorcích žloutků dle produkce XIII
Graf 47: Průměrný obsah jodu ve vzorcích žloutků dle produkce XIII
Graf 48: Průměrný obsah selenu ve vzorcích ryb dle původu XIV
Graf 49: Průměrný obsah jodu ve vzorcích ryb dle původu XIV

10 Seznam použitých zkratek a symbolů

AAS	atomová absorpční spektrometrie
CRM	certifikovaný referenční materiál
DIT	dijodtyrosin
HG-AAS	atomová absorpční spektrometrie s generací hydridů
HPLC	vysokoúčinná kapalinová chromatografie
ICP-MS	hmotnostní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem
LOD	mez detekce
LOQ	mez stanovitelnosti
MIT	monojodtyrosin
NIS	transmembránový přenašeč
S_R	relativní směrodatná odchylka
T3	trijodtyronin
T4	tetrajodtyronin, tyroxin
Tg	thyreoglobulin
TSH	thyreostimulační hormon, thyreotropin

11 Samostatné přílohy

11.1 Seznam použitých potravin

Tabulka 23: Seznam použitých potravin z ekologické produkce

	Specifikace potravin	Zakoupeno
Brambory	Brambory BIO Biohof, Itálie	Fresh bedýnky
	Brambory BIO rané, Česká republika	Fresh bedýnky
	Brambory konzumní pozdní BIO, Nizozemsko	Košík
Cibule	Cibule žlutá BIO Biohof, Česká republika	Fresh bedýnky
	Cibule žlutá BIO, Česká republika	Fresh bedýnky
	Cibule žlutá BIO, Španělsko	Košík
Čokolády	dmBio hořká čokoláda 70%, 100 g	dm drogerie
	Meybona BIO hořká čokoláda 72%, 100 g	Albert
	Vivani Bio hořká čokoláda 71%, 100 g	Košík
Jablka	Jablka Golden Delicious BIO, Rakousko	Fresh bedýnky
	Jablka Jonagored BIO, Německo	Fresh bedýnky
	Jablka Red Delicious BIO, Itálie	Košík
Kuřecí játra	BIO Kuřecí játra Biopark	Biopark
Kuřecí prsní řízky	BIO Kuřecí prsní řízky Biopark	Fresh bedýnky
Plnotučná kravská mléka	dmBIO mléko plnotučné, 1 L, 3,5%	dm drogerie
	Olma Via Natur Bio Čerstvé mléko, 1 L, 4%	Albert
	BIO mléko Nature promise, 1 L, 3,6%	Albert
Rýže	Dlouhozrnná Rýže natur DM BIO, 1000 g	dm drogerie
	Basmati bílá Nature promises, 500 g	Albert
	Probio Bio Rýže dlouhozrnná natural, 500 g	Košík
Vejce	AG Maiwald BIO vejce, 6 ks	Košík
	Natures promise Bio čerstvá vejce, 6 ks	Albert
	Čerstvá BIO vejce z Šumavy, 6 ks	Fresh bedýnky

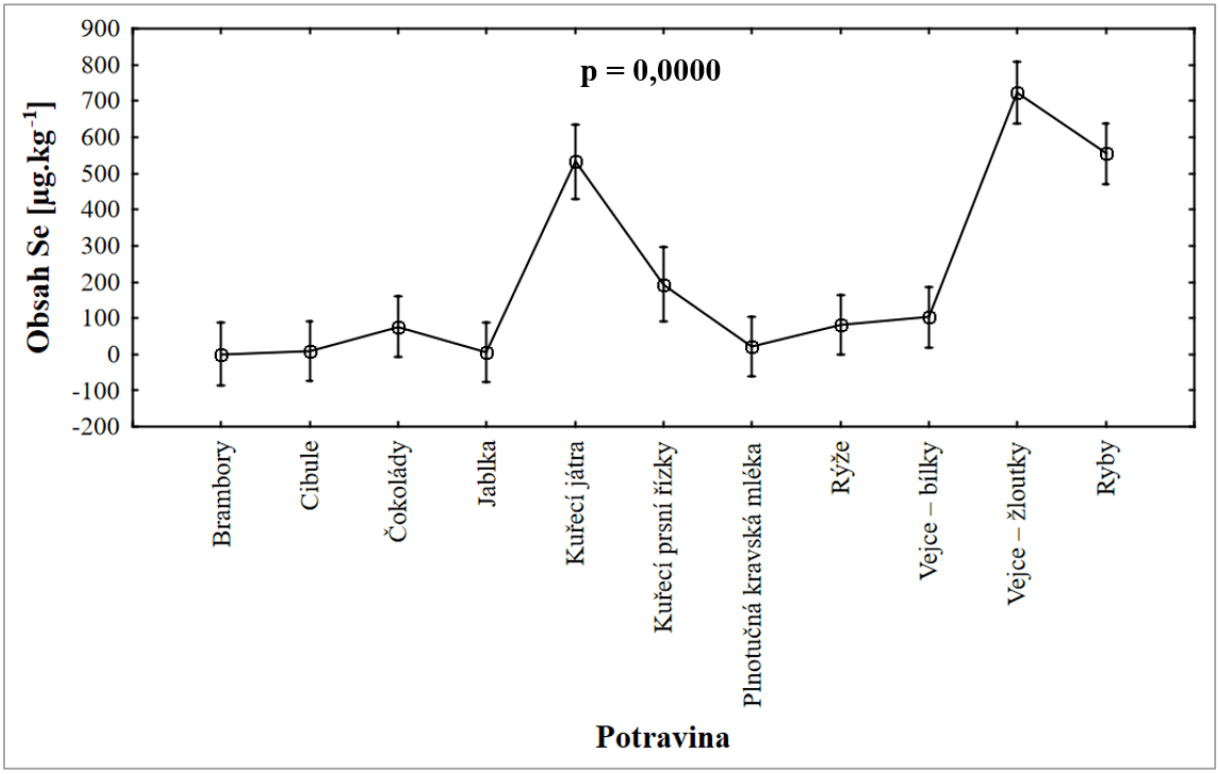
Albert = Albert Česká republika, s.r.o.
Biopark = Biopark s.r.o.; https://www.biohovezi.cz
dm drogerie = dm drogerie markt s.r.o.
Fresh bedýnky = MyFoodMarket, s.r.o.; https://www.freshbedynky.cz
Košík = Košík.cz s.r.o.; https://www.kosik.cz

Tabulka 24: Seznam použitých potravin z konvenční produkce

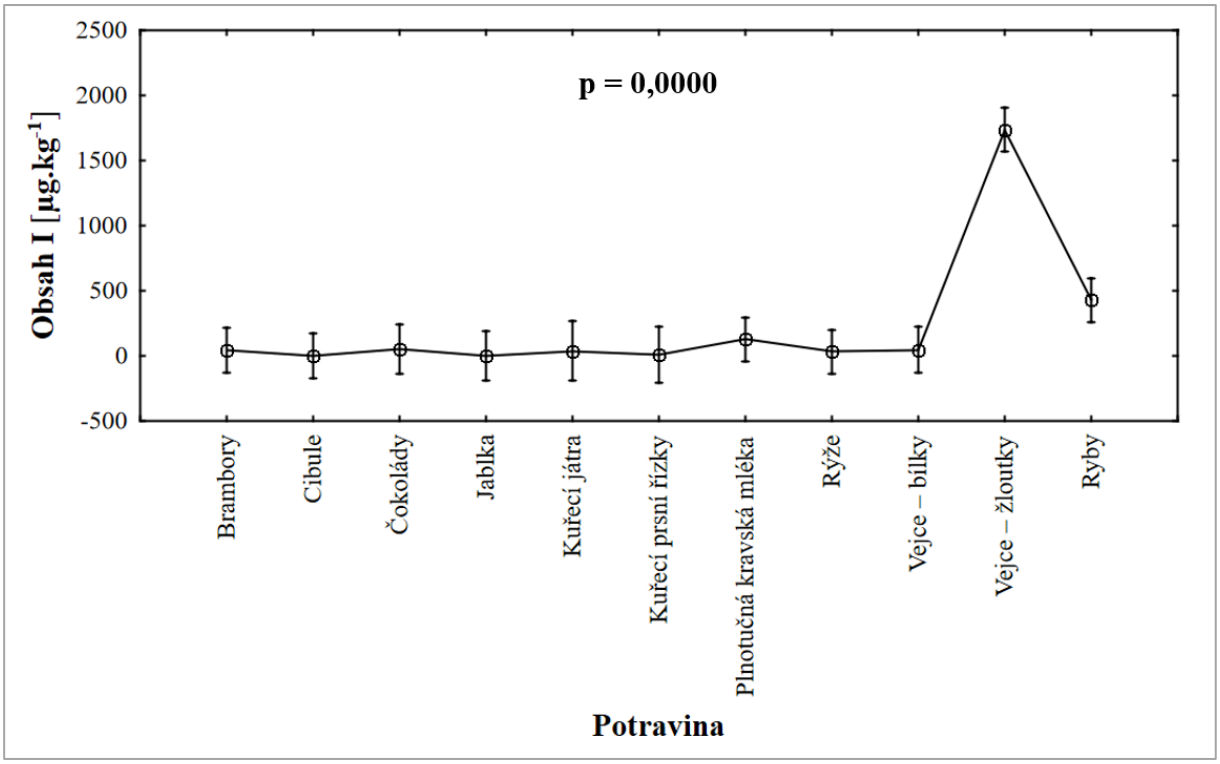
		Specifikace potravin	Zakoupeno
Brambory		Brambory konzumní rané, BROP s.r.o, ČR	Tesco
		Česká farma – brambory konzumní rané, ČR	Billa
		Česká produkce – Brambory konzumní rané, ČR	Košík
Cibule		Cibule kuchyňská žlutá, Blanická s.r.o, ČR	Tesco
		Cibule kuchyňská žlutá, Egypt	Košík
		Cibule žlutá, Nový Zéland	Billa
Čokolády		BASIC hořká čokoláda 50%, 100 g	Albert
		Carla 70% hořká čokoláda, 100 g	Billa
		Lindt 70% hořká čokoláda, 100 g	Tesco
Jablka		Jablko Golden delicious, Česká republika	Billa
		Jablka Jonagold, Česká republika	Tesco
		Jablko Šampion, Polsko	Billa
Kuřecí játra		Kuřecí játra čerstvá	Tesco
		Raciola Kuřecí játra čerstvá	Košík
		Farmářská Kuřecí játra z Rašovic	Košík
Kuřecí prsní řízky		Raciola České Kuřecí prsní řízky	Košík
		Kuřecí prsní řízky Vocílka	Billa
		Zlaté kuře-prsní řízky	Tesco
Plnotučná kravská mléka		Mlékárna Kunín plnotučné mléko, 1 L, 3,5%	Albert
		Madeta Jihočeské mléko plnotučné, 1 L, 3,5%	Albert
		Tatra plnotučné mléko, 1 L, 3,5%	Albert
Rýže		Happyhome Rýže dlouhozrnná, 4x100 g	Billa
		Lagris Rýže dlouhozrnná, 4x120 g	Albert
		Vitana Rýže dlouhozrnná, 4x100 g	Albert
Vejce		Arnoštova vajíčka, 6 ks	Košík
		Česká vejce CZ, 6 ks	Billa
		Čerstvá vejce Schubert, 6 ks	Albert
Ryby	**mořské**	Losos obecný (*Salmo salar*), Německo	Kaufland
		Treska tmavá (*Pollachius virens*), Německo	Kaufland
		Tuňák žlutoploutvý (*Thunnus albacares*), Vietnam	Kaufland
	sladkovodní	Pangasius (*Pangasius* spp.), Vietnam	Kaufland
		Sumeček africký (*Clarias gariepinus*), Německo	Kaufland
		Tilapie nilská (*Oreochromis niloticus*), Německo	Kaufland

Albert = Albert Česká republika, s.r.o.
Billa = Billa, spol. s. r. o.
Kaufland = Kaufland Česká republika v.o.s.
Košík = Košík.cz s.r.o.; https://www.kosik.cz
Tesco = Tesco Stores ČR a.s.

11.2 Průměrný obsah selenu a jodu ve vybraných vzorcích potravin

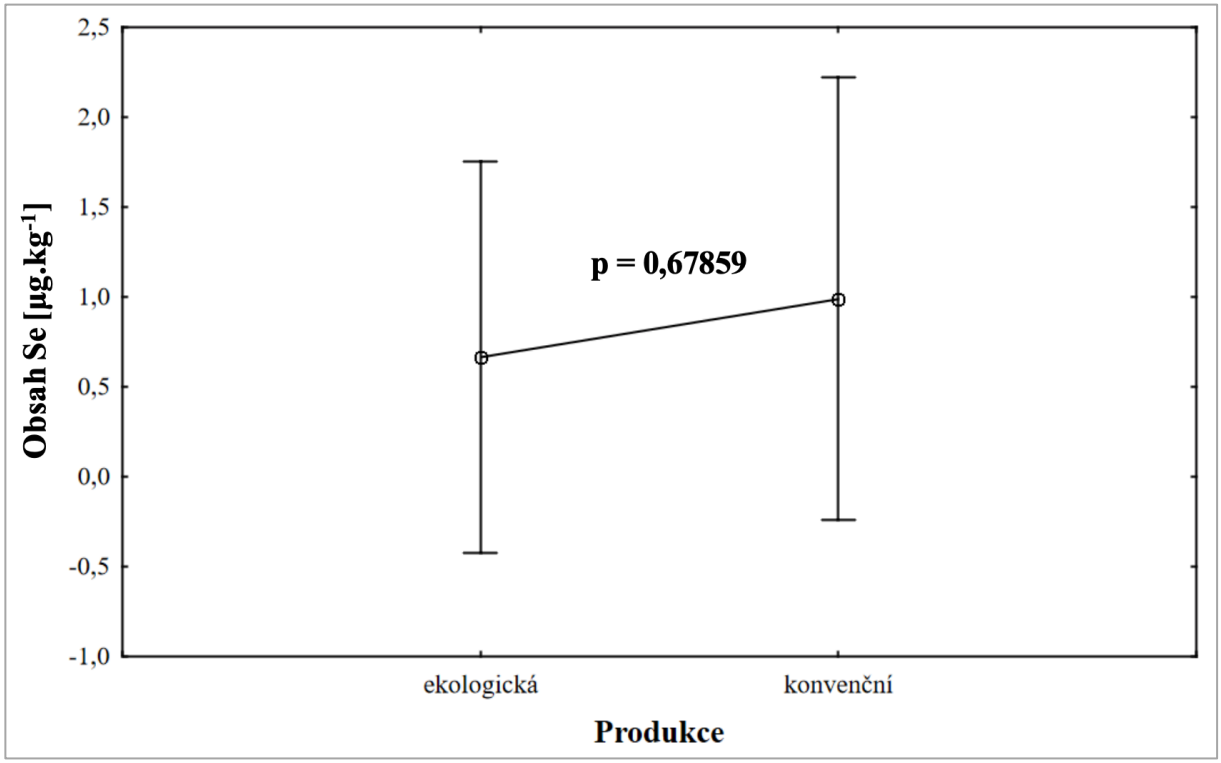


Graf 26: Průměrný obsah selenu ve vybraných potravinách (ANOVA)

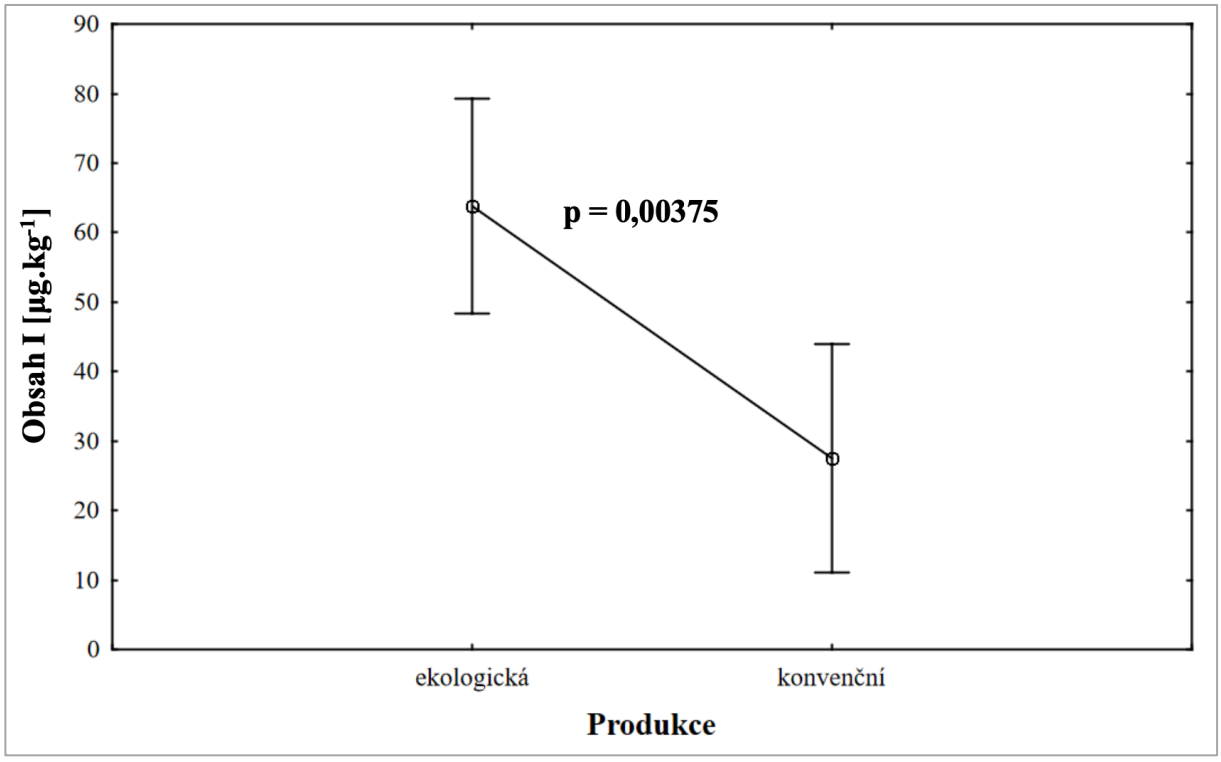


Graf 27: Průměrný obsah jodu ve vybraných potravinách (ANOVA)

11.2.1 Brambory

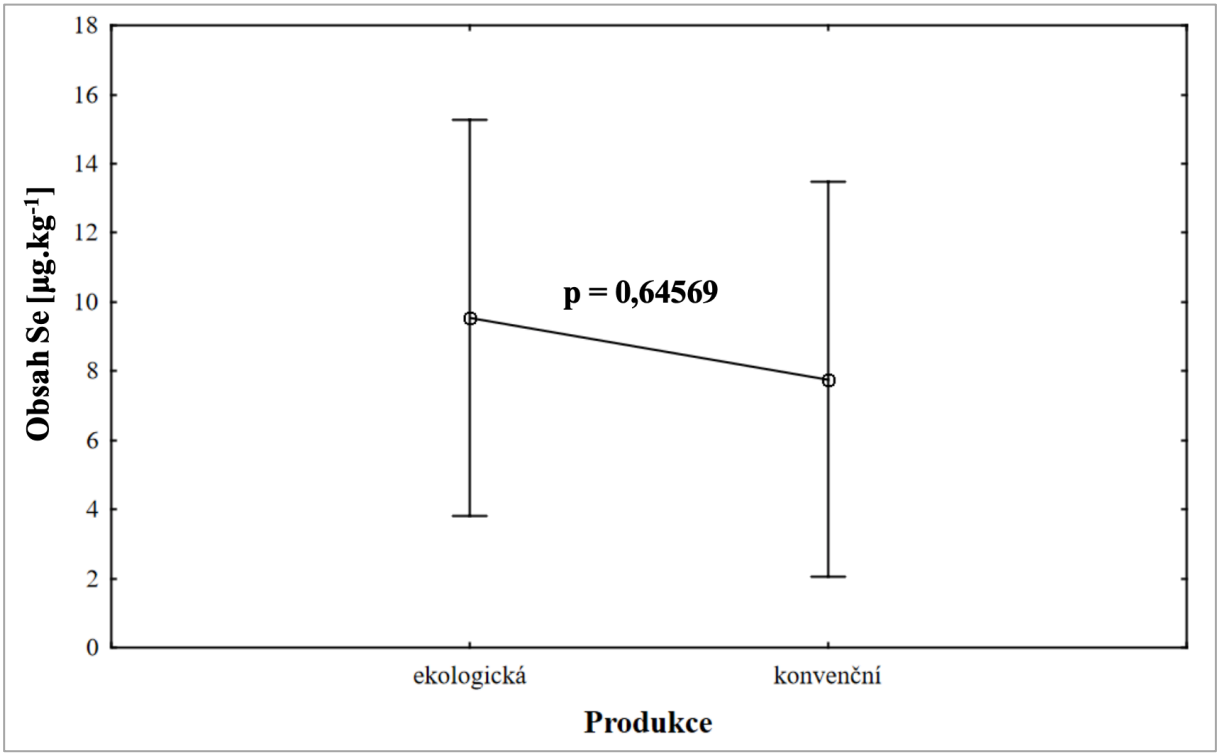


Graf 28: Průměrný obsah selenu ve vzorcích brambor dle produkce

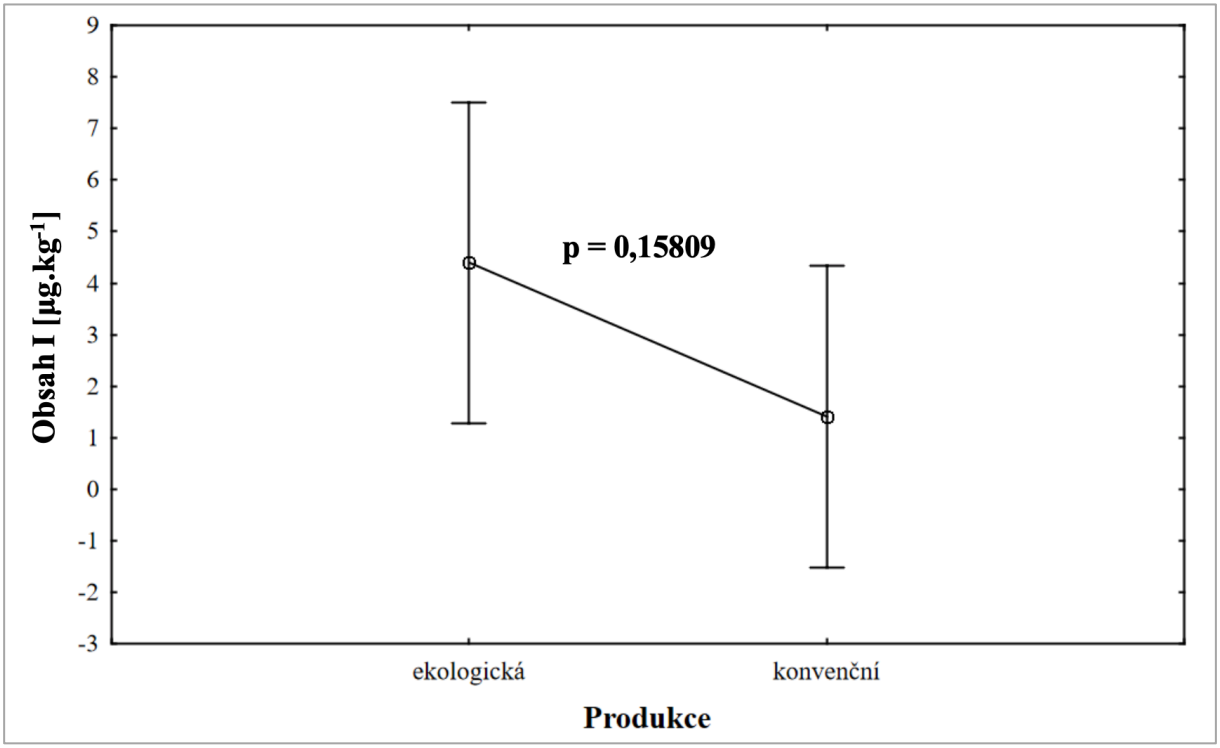


Graf 29: Průměrný obsah jodu ve vzorcích brambor dle produkce

11.2.2 Cibule

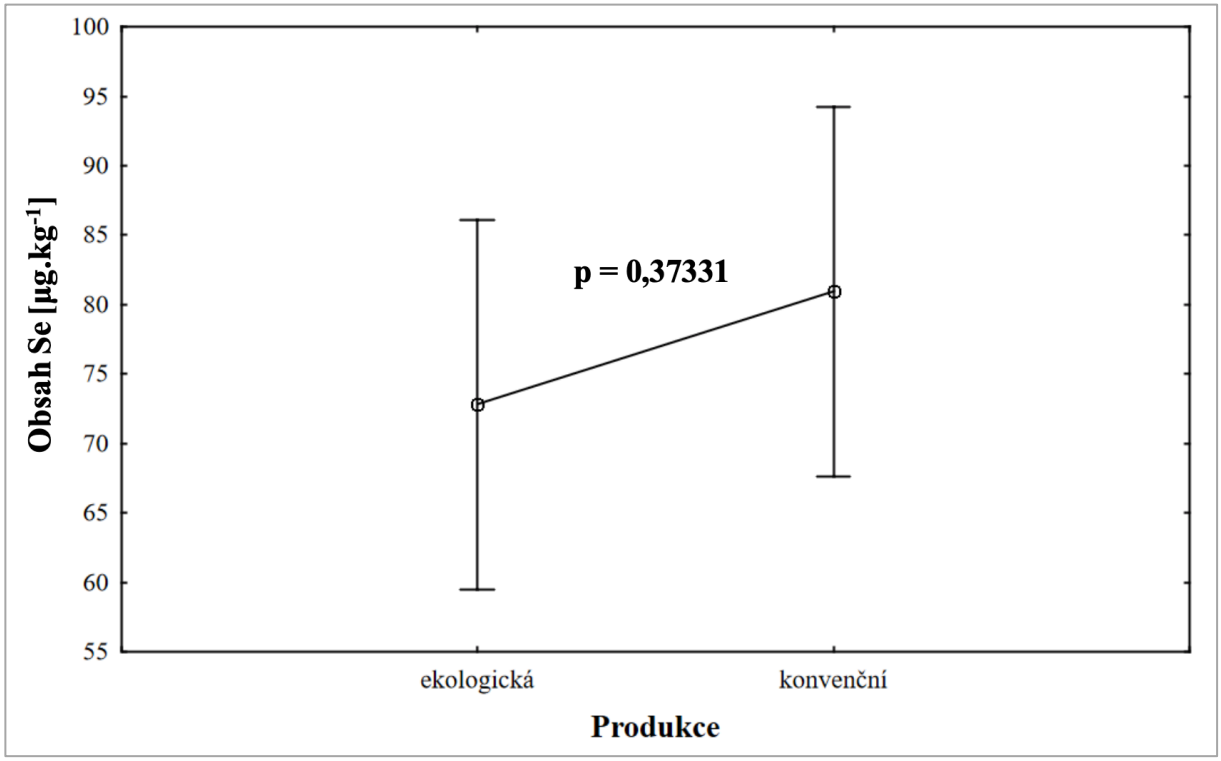


Graf 30: Průměrný obsah selenu ve vzorcích cibulí dle produkce

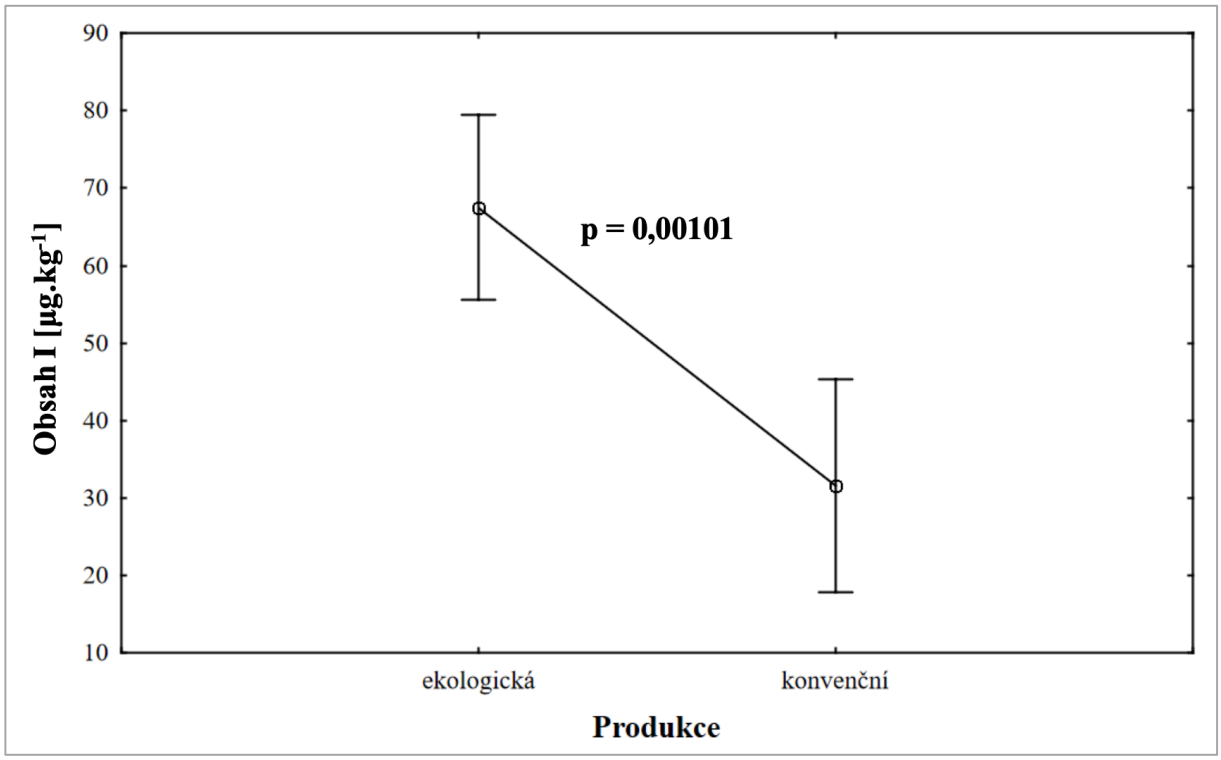


Graf 31: Průměrný obsah jodu ve vzorcích cibulí dle produkce

11.2.3 Čokolády

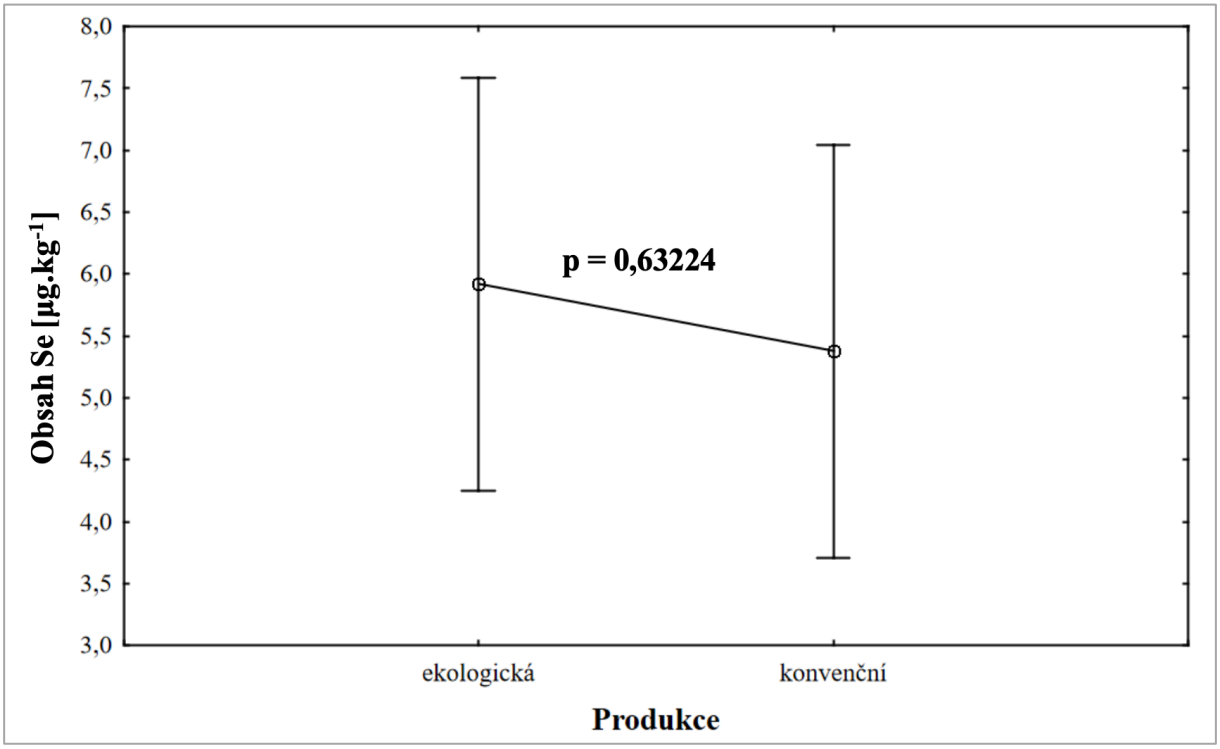


Graf 32: Průměrný obsah selenu ve vzorcích čokolád dle produkce

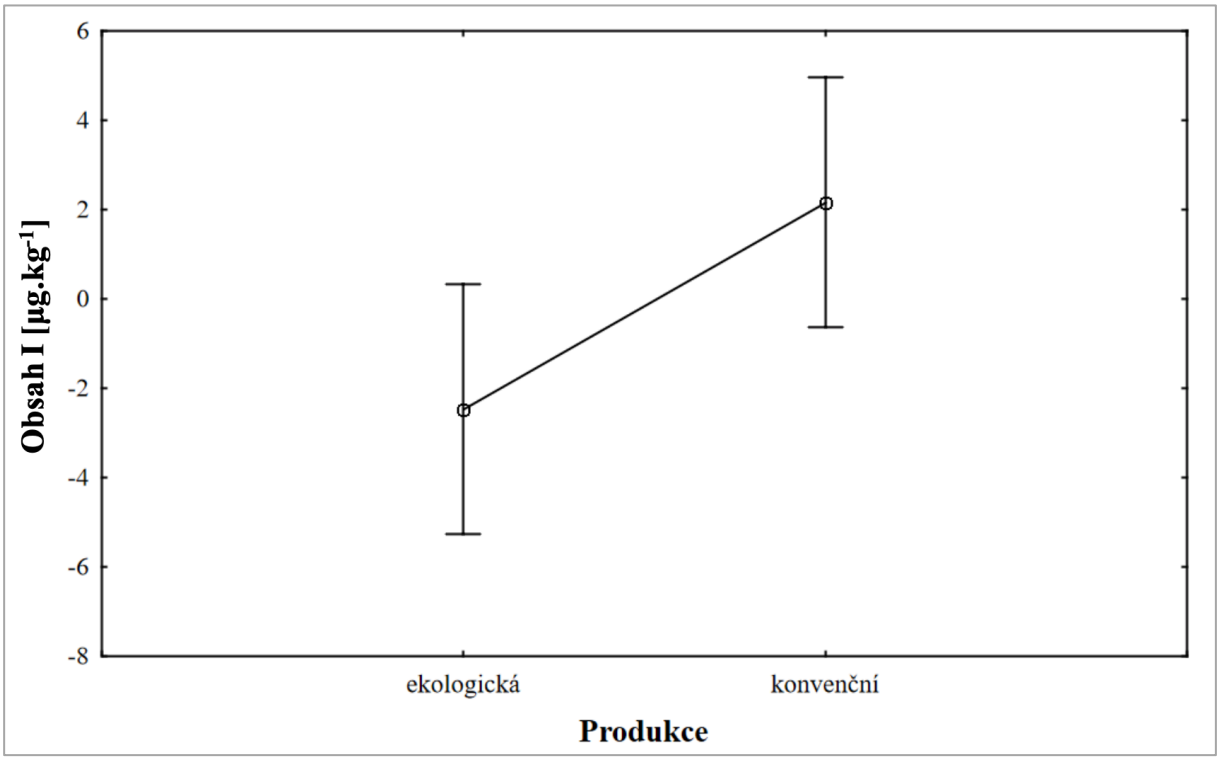


Graf 33: Průměrný obsah jodu ve vzorcích čokolád dle produkce

11.2.4 Jablka

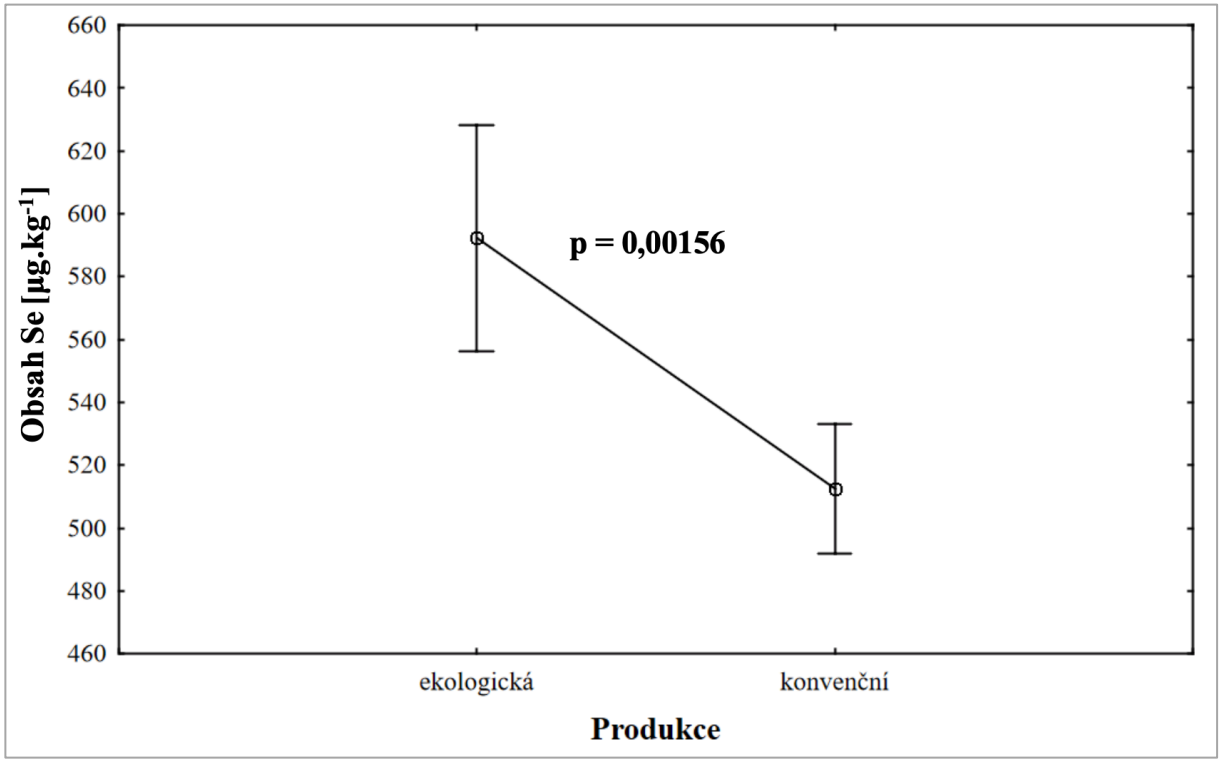


Graf 34: Průměrný obsah selenu ve vzorcích jablek dle produkce

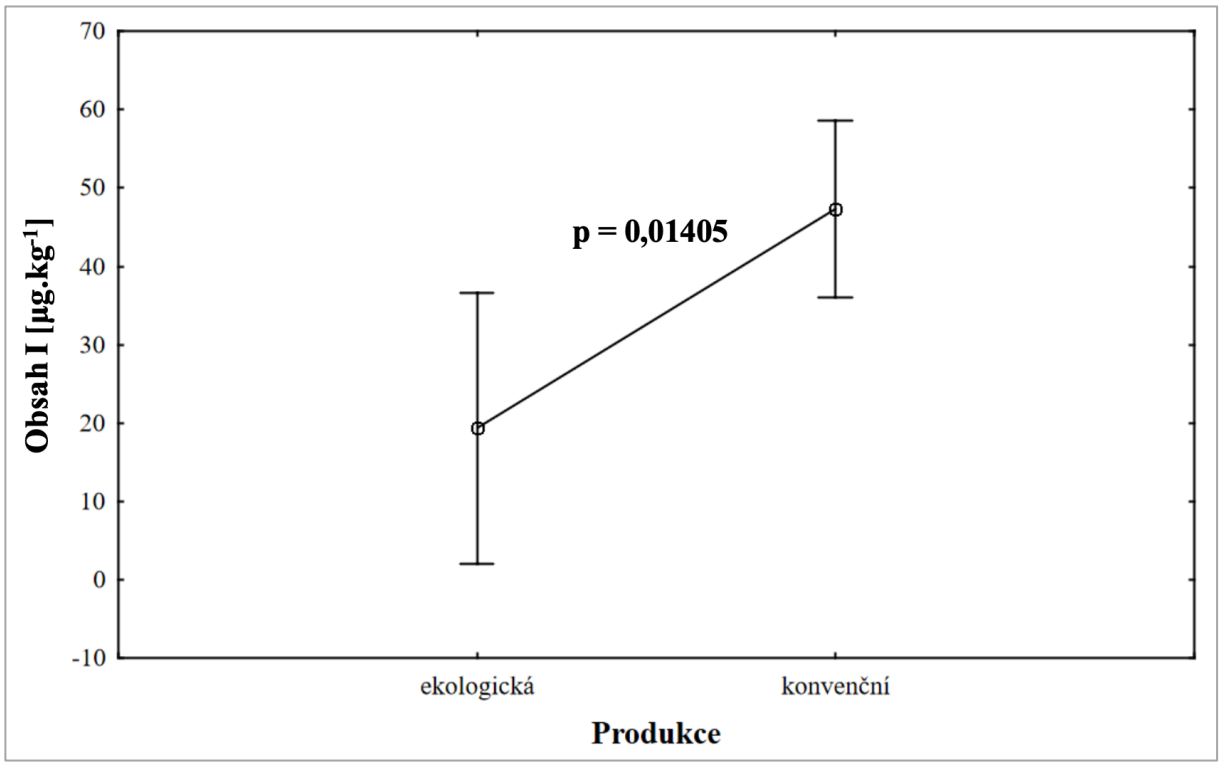


Graf 35: Průměrný obsah jodu ve vzorcích jablek dle produkce

11.2.5 Kuřecí játra

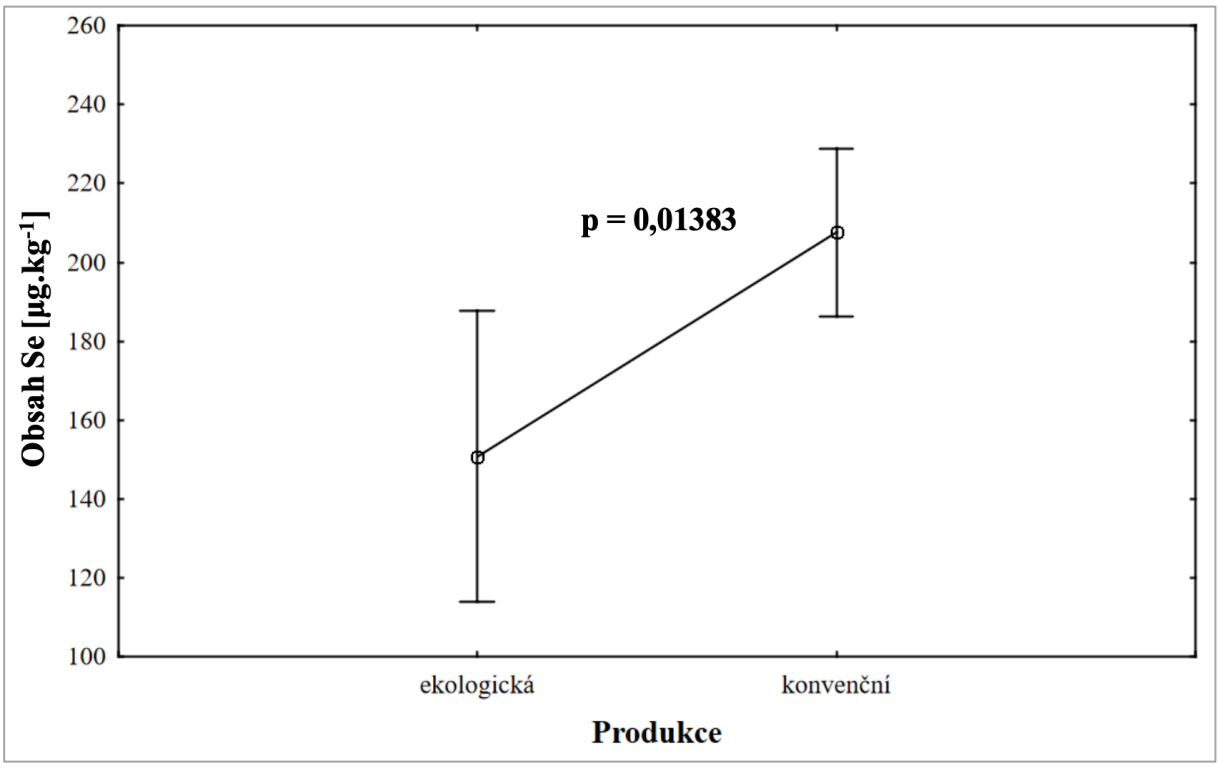


Graf 36: Průměrný obsah selenu ve vzorcích kuřecích jater dle produkce

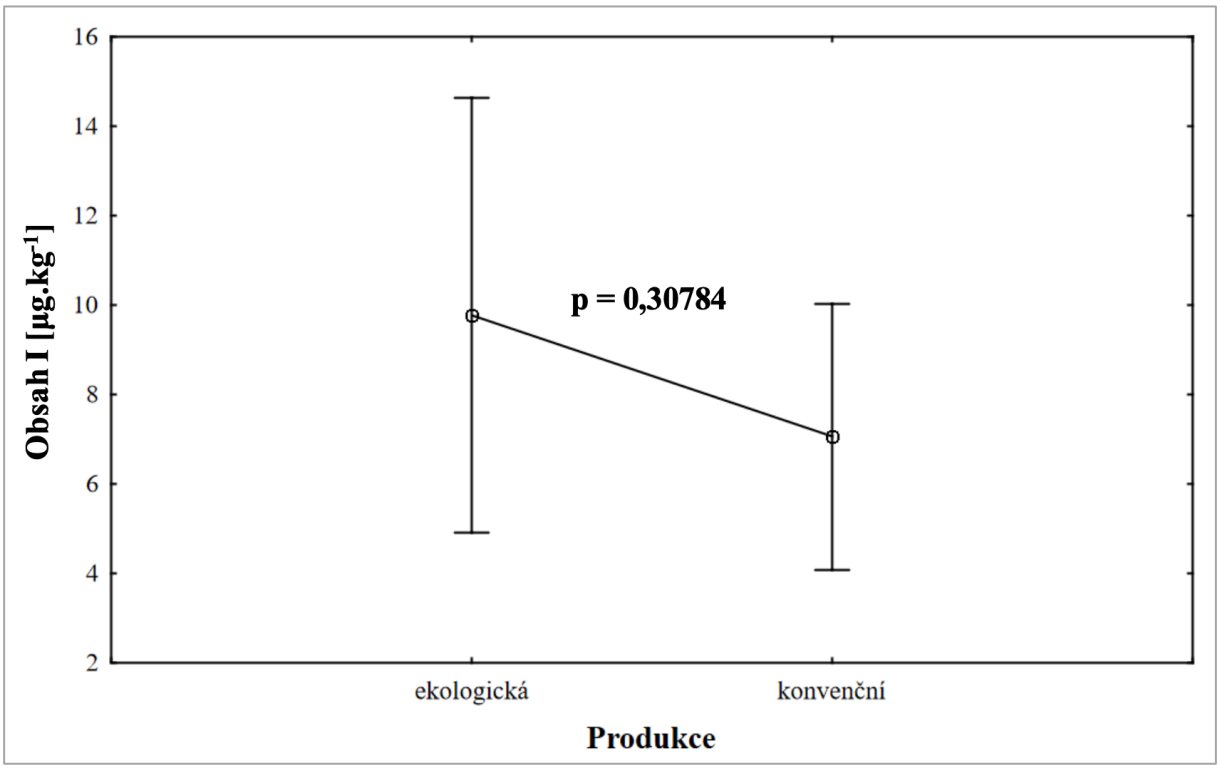


Graf 37: Průměrný obsah jodu ve vzorcích kuřecích jater dle produkce

11.2.6 Kuřecí prsní řízky

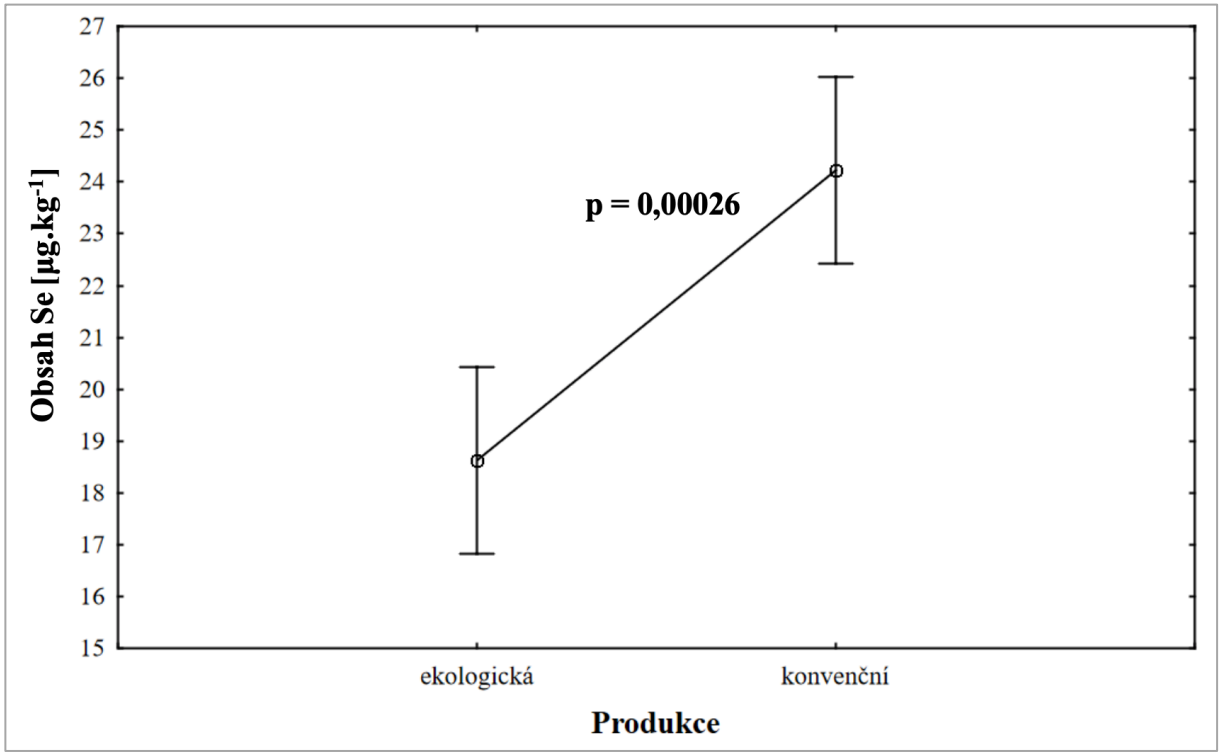


Graf 38: Průměrný obsah selenu ve vzorcích kuřecích prsních řízků dle produkce

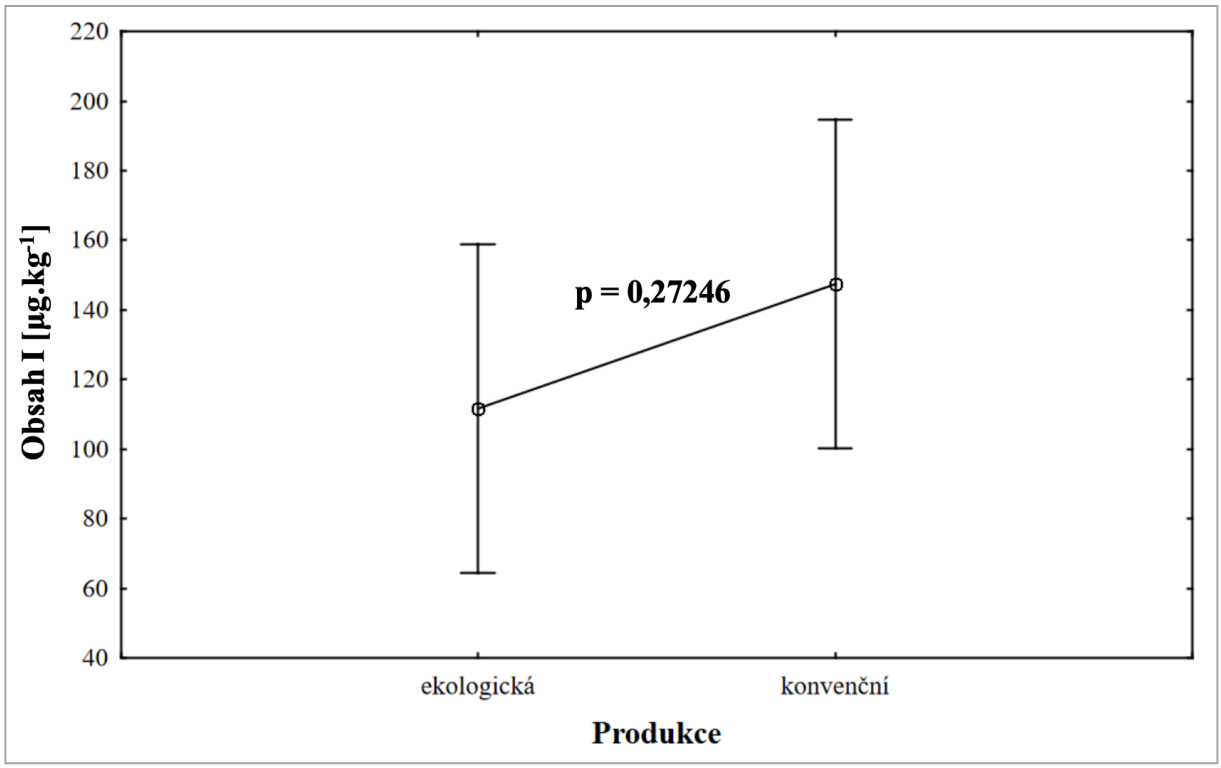


Graf 39: Průměrný obsah jodu ve vzorcích kuřecích prsních řízků dle produkce

11.2.7 Plnotučná kravská mléka

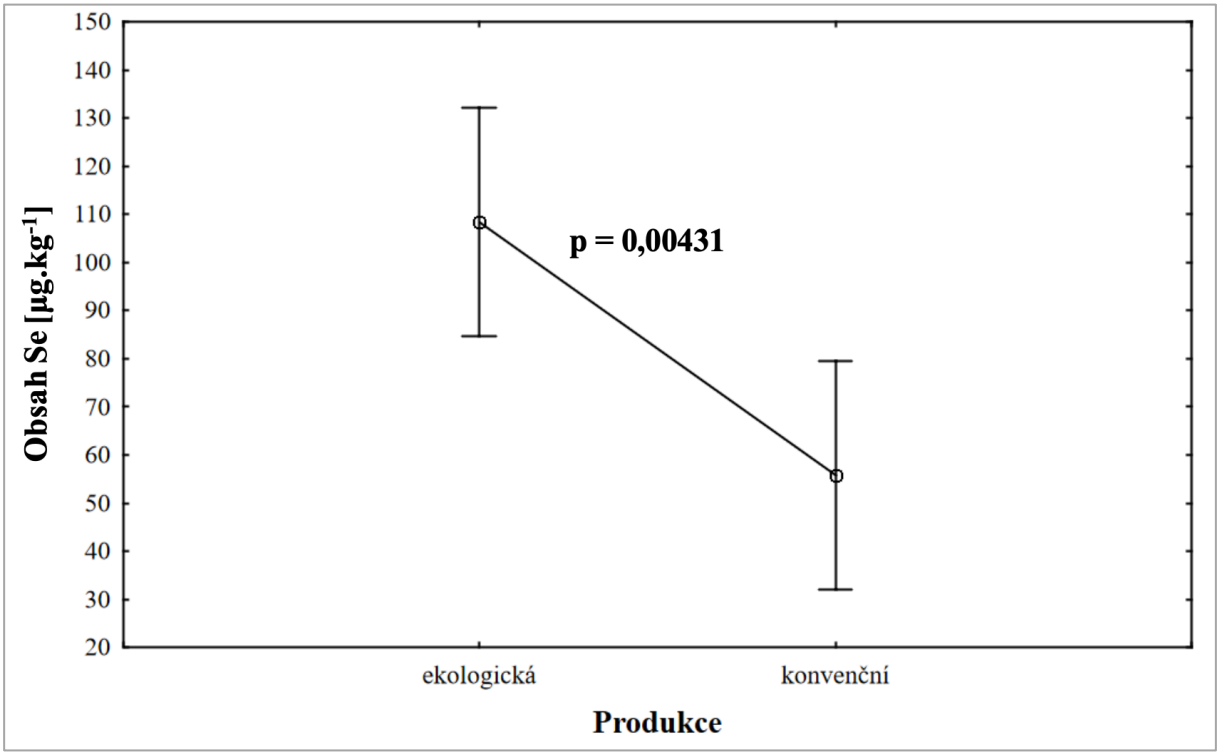


Graf 40: Průměrný obsah selenu ve vzorcích plnotučných kravských mlék dle produkce

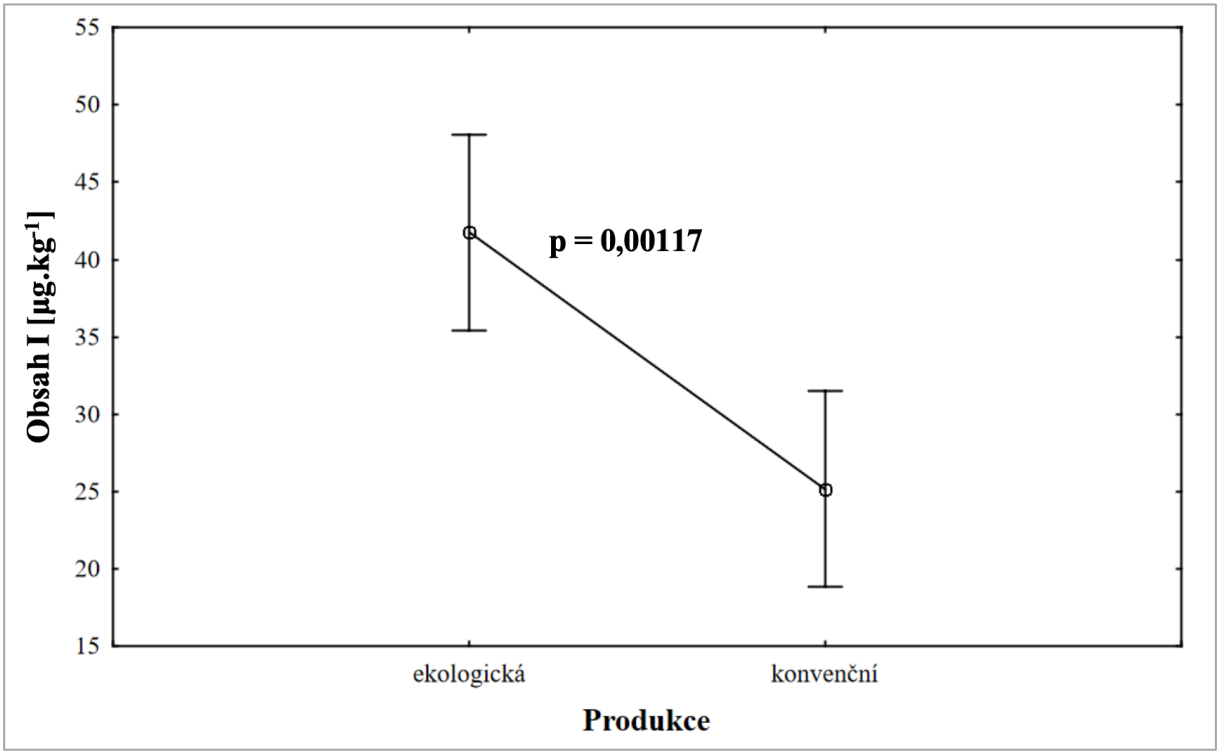


Graf 41: Průměrný obsah jodu ve vzorcích plnotučných kravských mlék dle produkce

11.2.8 Rýže



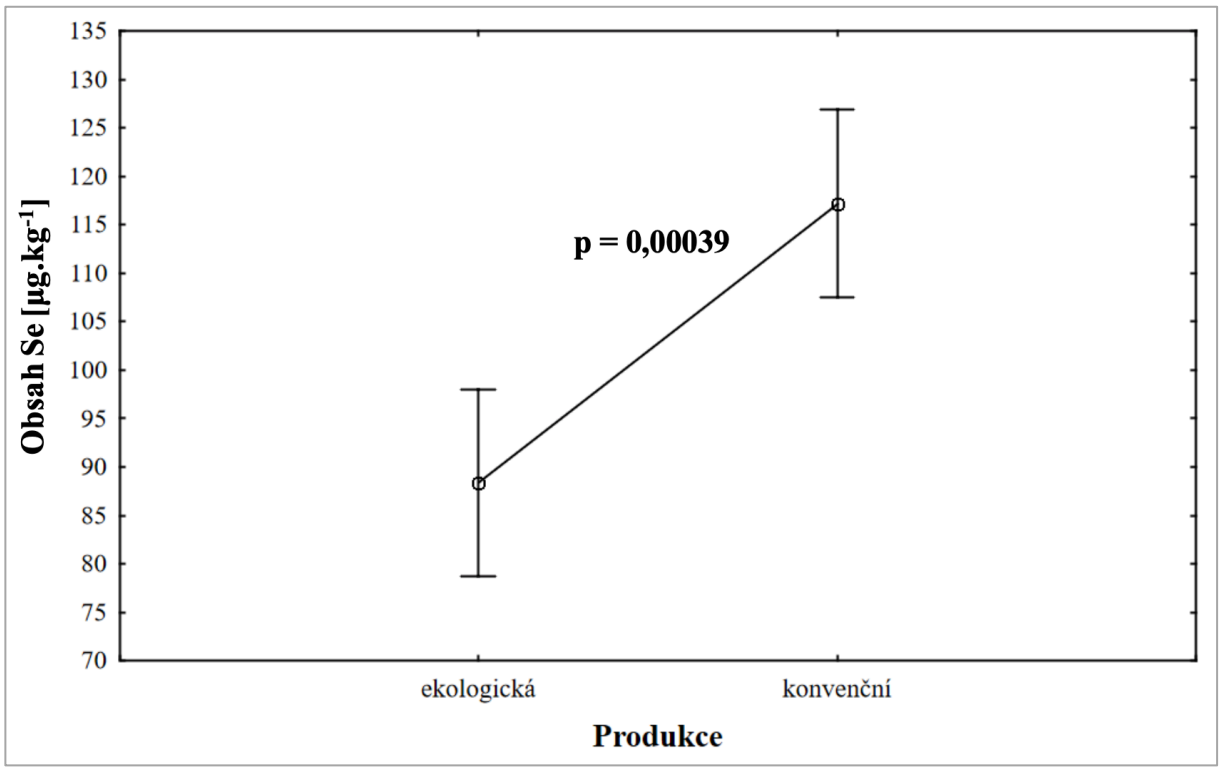
Graf 42: Průměrný obsah selenu ve vzorcích rýží dle produkce



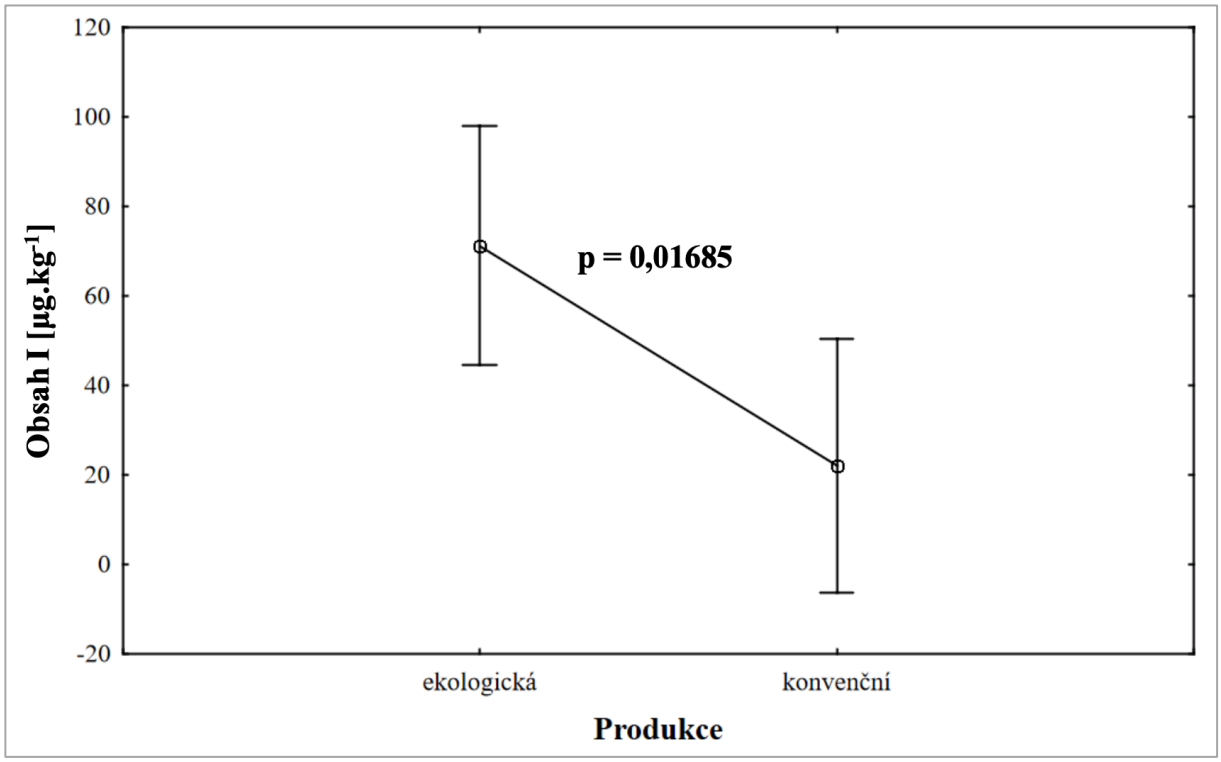
Graf 43: Průměrný obsah jodu ve vzorcích rýží dle produkce

11.2.9 Vejce

11.2.9.1 Bílky

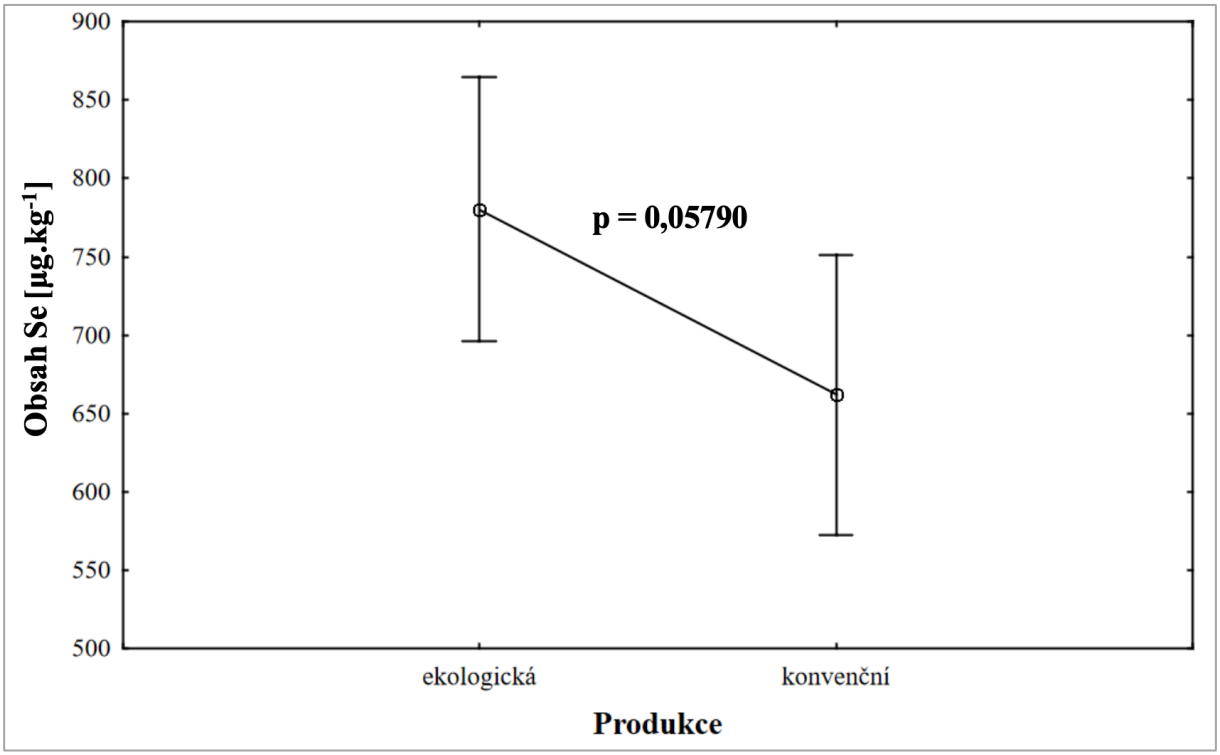


Graf 44: Průměrný obsah selenu ve vzorcích bílků dle produkce

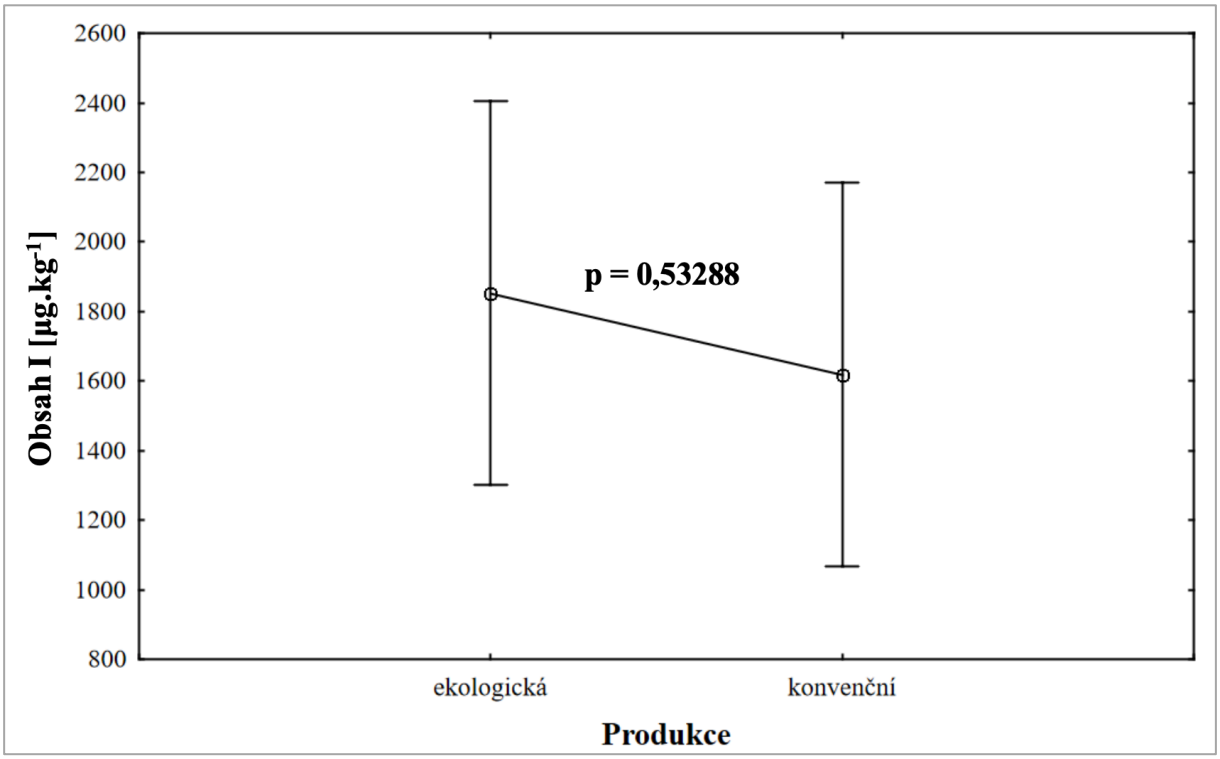


Graf 45: Průměrný obsah jodu ve vzorcích bílků dle produkce

11.2.9.2 Žloutky

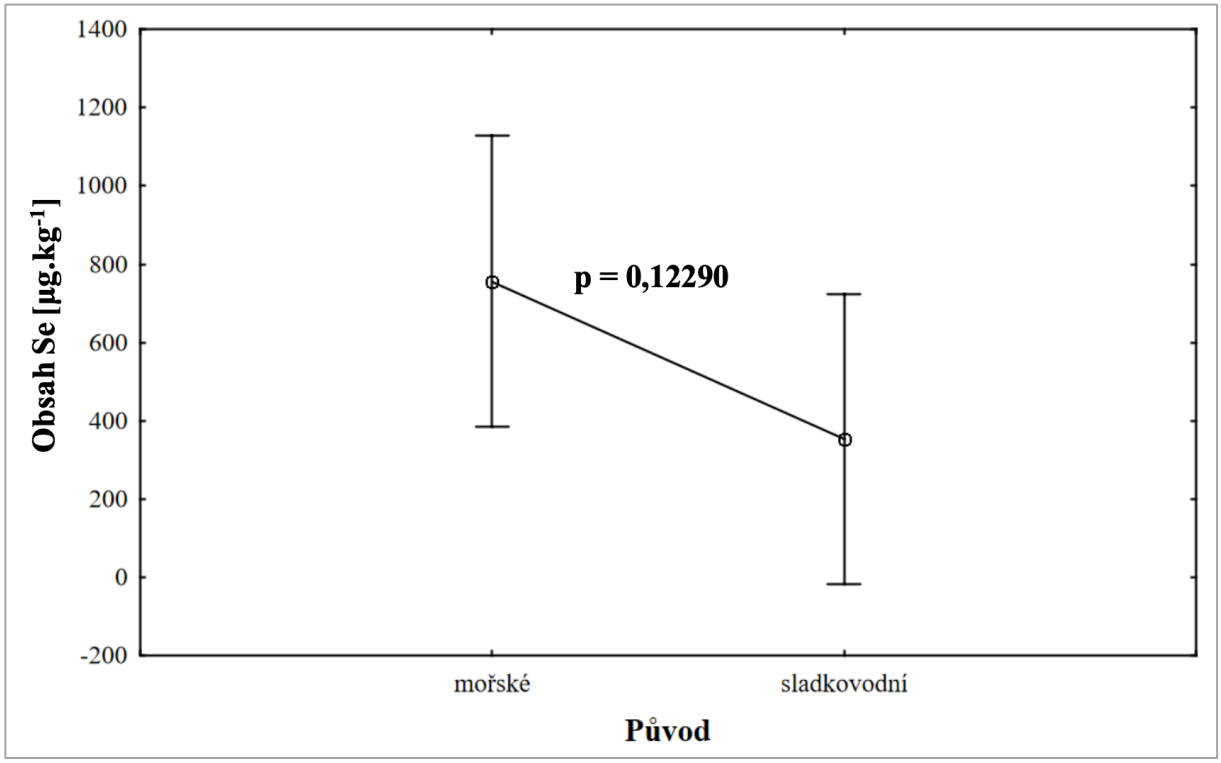


Graf 46: Průměrný obsah selenu ve vzorcích žloutků dle produkce

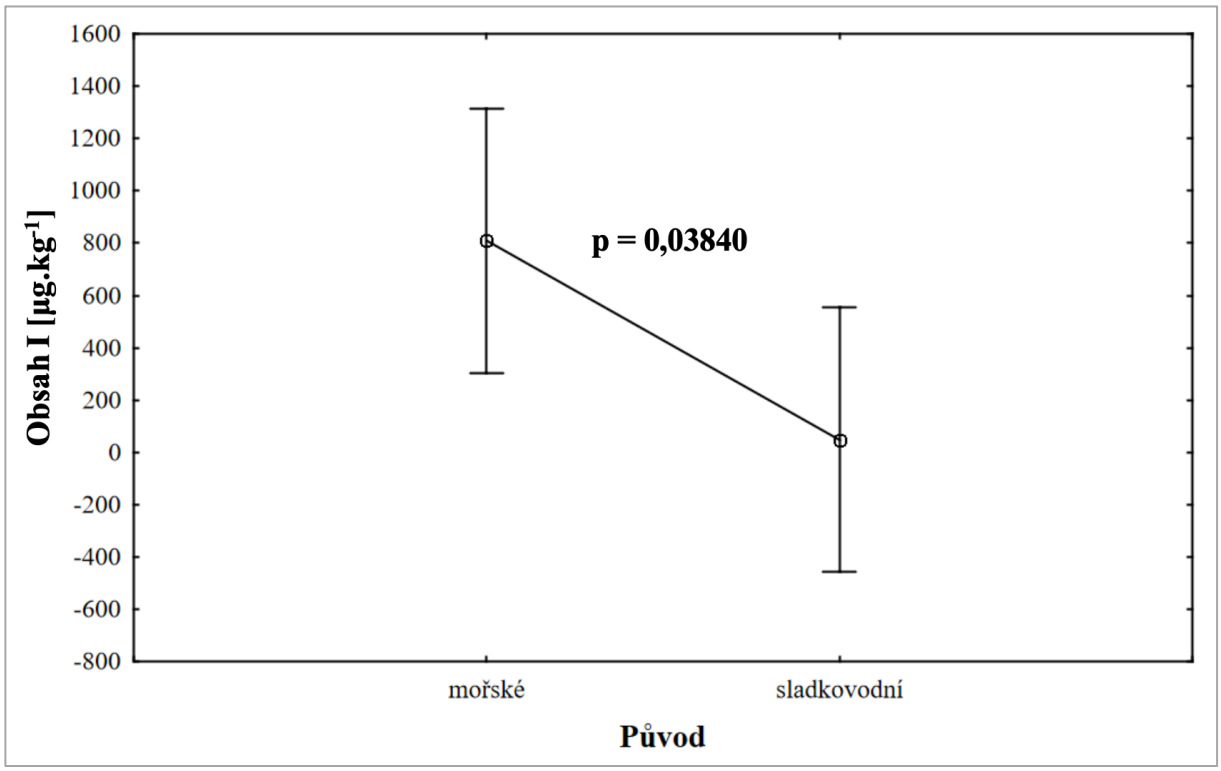


Graf 47: Průměrný obsah jodu ve vzorcích žloutků dle produkce

11.2.10 Ryby



Graf 48: Průměrný obsah selenu ve vzorcích ryb dle původu



Graf 49: Průměrný obsah jodu ve vzorcích ryb dle původu