

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra kvality a bezpečnosti potravin



**Česká zemědělská
univerzita v Praze**

Faktory ovlivňující obsah jódu v mléce a mléčných výrobcích

Bakalářská práce

Autor práce: Michaela Lukáčová

Obor studia: Potraviny a výživa

Vedoucí práce: Ing. Veronika Legarová, Ph.D.

Konzultant: Ing. Lucie Rysová

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Faktory ovlivňující obsah jódu v mléce a mléčných výrobcích" jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucí bakalářské 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 bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušila autorská práva třetích osob.

V Praze dne 02.05.2021

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala své konzultantce Ing. Lucii Rysové za odborné vedení, věnovaný čas, podnětné rady a připomínky, které mi významně pomohly při vypracování této bakalářské práce.

Dále bych ráda poděkovala své vedoucí práce Ing. Veronice Legarové, Ph.D. za věnovaný čas a poskytování odborných rad při vypracování této bakalářské práce.

Také bych chtěla poděkovat své rodině a přátelům, kteří mi po celou dobu vypracování této bakalářské práce projevovali podporu, trpělivost a porozumění.

Faktory ovlivňující obsah jódu v mléce a mléčných výrobcích

Souhrn

Mléko a mléčné výrobky jsou důležitými komponenty lidské stravy. Kromě bílkovin, tuku a sacharidů obsahují také vitaminy (A, D, E, K), minerální látky (vápník, draslík, fosfor) a stopové prvky (jod, železo, hořčík). Jod hraje důležitou roli v lidském organismu, jelikož je nezbytným stopovým prvkem pro štítnou žlázu. Ta jej hromadí z krve a využívá ho pro syntetizování hormonů štítné žlázy, a to trijodtyroninu a tyroxinu. Nedostatek, nebo naopak nadbytek jodu může způsobit problémy v jakémkoli věku, avšak jednu z nejvýznamnějších rolí hraje tento stopový prvek na počátku těhotenství, kdy tyreoidální hormony matky potřebuje i její plod.

Jod je obsažen v rostlinných a živočišných potravinách v desítkách až stovkách mg/kg. V rámci rostlinných potravin lze z pohledu obsahu jodu vyzdvihnout mořské řasy, tuřín či různé druhy ořechů. Mléko, mléčné výrobky, korýši, měkkýši či ústřice, pak představují významné zdroje jodu z živočišných potravin. Z velké části je jod přijímán jodizovanou solí, která obsahuje jod v množství 20 až 50 mg/kg. Zařazení potravin uvedených výše je důležité, aby se předešlo nemocem způsobených nedostatkem jodu ve výživě, mezi které patří hypertyreóza, struma, u dětí vrozené vady na srdci i v gastrointestinálním traktu či deformace a zpomalení tvorby kostí. Taktéž nadměrný přívod jodu může mít nepříznivý vliv na lidské zdraví. Hypertyreóza, která se vyskytuje pouze u malé části populace, nemusí být zapříčiněna pouze nadměrným příjmem jodu, ale i autoimunitním onemocněním zvaným Gravesova-Basedowa choroba. Pro zamezení nedostatku a nadbytku jodu v lidském organismu je nutné sledovat obsah jodu v potravinách.

Množství jodu obsaženého v mléce a mléčných výrobcích ovlivňuje řada faktorů, těmito faktory jsou druh mléka, plemeno dojnice, výživa, obsah selenu, dezinfekční prostředky, způsob chovu, tepelné ošetření i zpracování mléka a mléčných výrobků, roční období, geografické vlivy a fáze laktace. Jako nejvýznamnější faktor ovlivňující obsah jodu v mléce a mléčných výrobcích lze označit výživu. Obsah jodu v rostlinných krmivech je velice proměnlivý, jelikož rostlinná krmiva obsahují strumigenní látky. Strumigenní látky, také nazývané goitrogeny, snižují vychytávání jodu štítnou a mléčnou žlázou. V řadě studií bylo zjištěno, že je obsah jodu v rostlinných krmivech nedostačující a je tedy nutná jeho suplementace. Mezi doplňkové zdroje jodu patří minerálně vitaminové směsi, minerální krmné přísady a solné lizy. Kromě těchto doplňkových zdrojů lze také jod doplnit sladkovodními a mořskými řasami, jodovanými nasycenými mastnými kyselinami či etylendiamidihydrojodidem. Dalším velice významným faktorem ovlivňující obsah jodu v mléce je použití dezinfekčních prostředků, které se využívají k dezinfekci struků před či po dojení, pro výplach dělohy nebo k dezinfekci dojícího zařízení.

Klíčová slova: jód, mléko, mléčné výrobky, výživa

Factors affecting the iodine content of milk and dairy products

Summary

Milk and dairy products are important components of the human diet. In addition to proteins, fat and carbohydrates, they also contain vitamins (A, D, E, K), minerals (calcium, potassium, phosphorus) and trace elements (iodine, iron, magnesium). Iodine has an important role in the human body, as it is an essential trace element for the thyroid gland. The gland accumulates iodine from the blood and helps it to synthesize thyroid hormones, namely triiodothyronine and thyroxine. Iodine deficiency or excess can cause problems at any age; however, this trace element plays one of the most important roles at the beginning of pregnancy, when the mother's thyroid hormones are also needed by her fetus.

Iodine is contained in plant and animal foods in tens to hundreds of mg/kg. Within plant foods seaweeds, turnips or various types of nuts can be highlighted in terms of iodine content. Milk, dairy products, crustaceans, molluscs or oysters, represent important sources of iodine from animal foods. For the most part, iodine is taken up by iodized salt, which contains iodine in an amount of 20 to 50 mg/kg. The inclusion of the foods listed above is important for prevention of nutritional diseases, which are caused by iodine deficiency in the diet, including hyperthyroidism, goiter, congenital heart defect and gastrointestinal disorder in children, or deformity and slowing of bone formation. Excessive iodine intake can have an adverse effect on human health. Hyperthyroidism, which occurs in only a small part of the population, may not only be caused by excessive iodine intake, but also by an autoimmune disease called Graves' disease. To prevent iodine deficiency and excess in the human body, it is necessary to monitor the iodine content of foods.

The amount of iodine contained in milk and dairy products is influenced by several factors such as type of milk, dairy breed, nutrition, selenium content, disinfectants, breeding methods, heat treatment and processing of milk and dairy products, seasons, geographical effects and lactation stages. Nutrition can be identified as the most important factor influencing the iodine content in milk and dairy products. The iodine content of plant feeds is highly variable as plant feeds contain strumigenic substances. Strumigenic substances, also called goitrogens, reduce the uptake of iodine by the thyroid and mammary glands. Studies have shown that the iodine content of plant feed is insufficient and therefore its supplementation is necessary. Additional sources of iodine include mineral vitamin mixtures, mineral feed additives and salt licks. In addition to these additional sources, iodine can be supplemented with freshwater weed and seaweed, iodinated saturated fatty acids or ethylenediamine dihydroiodide. Another very important factor influencing the iodine content of milk is the use of disinfectants, which are used to disinfect the teats before or after milking, to rinse the uterus or to disinfect the milking equipment.

Keywords: iodine, milk, dairy products, nutrition

Obsah

1	Úvod	8
2	Cíl práce	9
3	Literární rešerše	10
3.1	Mléko a jeho složení	10
3.1.1	Kravske mléko	10
3.1.2	Kozí mléko.....	12
3.1.3	Ovčí mléko	12
3.2	Biologický význam jodu	14
3.2.1	Jod v přírodě	14
3.2.2	Metabolismus jodu v organismu.....	14
3.3	Význam jodu v lidském organismu	16
3.3.1	Vliv jodu na štítnou žlázu	16
3.3.2	Jod a jeho význam v těhotenství.....	17
3.3.3	Zdroje jodu pro člověka	17
3.3.4	Nedostatek a nadbytek jodu.....	19
3.4	Požadavky jodu pro skot	23
3.4.1	Potřeba jodu ve výživě skotu	23
3.4.2	Zdroje jodu ve výživě dojnice.....	23
3.5	Stanovení obsahu jodu v mléce	25
3.5.1	Stanovení obsahu jodu metodou ICP-MS.....	25
3.5.2	Stanovení obsahu jodu metodou HPLC-ED	25
3.5.3	Stanovení obsahu jodu dle Sandell-Kolthoffa.....	25
3.5.4	Ostatní využívané metody	25
3.6	Vliv jodu na kvalitu a složení mléka a mléčných výrobků	26
3.7	Faktory ovlivňující obsah jodu	28
3.7.1	Druh mléka.....	28
3.7.2	Výživa.....	29
3.7.3	Obsah selenu.....	33
3.7.4	Dezinfekční prostředky	34
3.7.5	Způsob chovu	36
3.7.6	Tepelné ošetření	37
3.7.7	Zpracování mléka a mléčných produktů	38
3.7.8	Roční období	39
3.7.9	Geografické vlivy	40
3.7.10	Plemenná příslušnost	41

3.7.11	Laktace.....	42
4	Závěr	43
5	Seznam literatury.....	44

1 Úvod

Mléko a mléčné výrobky již dlouhá léta představují díky své vysoké nutriční hodnotě stabilní součást lidské výživy, a to nejen díky faktu, že mléko a mléčné výrobky mají vliv na růst a zdraví kostí, ale také díky pozitivnímu vlivu konzumace na chronická onemocnění v pozdějším věku (Weaver et al. 2013). Všeobecně je známo, že mléko a mléčné výrobky jsou velmi dobrým zdrojem vápníku, avšak nesmí se opomenout, že široké spektrum minerálních látek v mléku, zahrnuje i další podstatné makro i mikroprvky z nichž lze uvést například jod (Haug et al. 2007).

Jod je základním prvkem objevujícím se v lidském zdraví. Jeho dostatečná hladina je nezbytná pro produkci hormonů štítné žlázy a správnou funkci imunitního systému. Hlavním zdrojem jodu v lidské výživě jsou také potraviny jako mléko a mléčné výrobky. Nedostatek a nadbytek jodu může vést k různým onemocněním. Mezi onemocnění z nedostatečného příjmu jodu můžeme zařadit například hypertyreózu, strumu či retardaci u dětí. Také se aktivně zkoumá role jodu u rakoviny prsu nebo již byla nalezena souvislost mezi deficitem jodu a rakovinou žaludku. Z čehož plyne, že dostatečný příjem jodu z potravy je nezbytný, aby bylo těmto onemocněním zabráněno. Na druhou stranu se zde mohou vyskytnout i extrémy, které jsou spojeny s nadměrnou konzumací jodu a mohou taktéž způsobovat řadu onemocnění (Abo El Enien & Abd El Aziz 2012).

Koncentrace mikro a makro prvků v mléce a mléčných výrobcích je ovlivněna značným množstvím faktorů, jenž mohou být genetické či enviromentální. Značnou měrou se na množství mikro a makro prvků podílí obsah těchto prvků v půdě, na které se pěstují rostlinná krmiva pro dojnice. Také může obsah mnohých minerálních látek v mléce a v mléčných výrobcích záviset na přenosu z dojícího zařízení, postupech při dojení nebo při zpracování mléka (Zaralis 2015). Dalšími faktory, které mohou ovlivnit obsah mikro a makro elementů mohou být například antagonisté v krmivech, minerální doplňky používané k suplementaci minerálních látek a podmínky prostředí. Menší měrou se na obsahu minerálních látek v mléce může podílet fáze laktace (Dobrzański et al. 2005).

2 Cíl práce

Cílem práce je kvalitní literární rešerše sepsaná převážně z cizojazyčných vědeckých publikací, které se týkají obsahu jodu v mléce a mléčných výrobcích. Dále je cílem přehledně popsat faktory, které ovlivňují obsah jodu v mléce a mléčných výrobcích a vysvětlit možné zdravotní komplikace v případě nedostatku či nadbytku jodu v lidské výživě.

3 Literární rešerše

3.1 Mléko a jeho složení

Mléko je definováno jako produkt mléčné žlázy savců, jehož primární funkcí je výživa mláďat (Walstra et al. 2006).

Složení kravského, kozího, ovčího a mateřského mléka je ovlivňováno vnitřními a vnějšími činiteli. Mezi vnitřní činitele patří individualita, plemeno, druh aj. Zatímco mezi vnější činitele patří dieta, roční období, prostředí aj. (Park et al. 2007). V **Tabulce 1** je uvedeno průměrné složení vybraných druhů mlék.

Tabulka 1 Průměrné složení vybraných druhů mlék uvedené v procentech

Složení mléka (%)	Kravské	Kozí	Ovčí	Mateřské
Voda	87,4	87,3	80,1	87,1
Sušina	12,6	12,7	19,9	12,9
Bílkoviny	3,2	3,4	6,2	1,2
Tuk	3,6	3,8	7,9	4,0
Laktóza	4,7	4,1	4,9	6,9

Zdroj: Park et al. (2007), upraveno autorem

3.1.1 Kravské mléko

Bílkoviny v kravském mléce lze rozdělit na dvě významné skupiny, a to kaseiny a syrovátkové bílkoviny. Kaseiny tvoří zhruba 80 % mléčných bílkovin a syrovátkové bílkoviny tvoří zhruba 20 % mléčných bílkovin. Hlavní bílkovinou kravského mléka je kasein. Kasein představuje komplex frakcí fosfoproteinů, jehož základními frakcemi jsou α_{s1} , α_{s2} , β a κ -kasein. α -kasein a β -kasein jsou citlivé na výskyt vápníkových iontů v mléce, oproti tomu κ -kasein chrání ostatní frakce před srážením (Early 2012; Kalyankar et al. 2016). Většina kaseinu se v mléce nachází v tzv. kaseinových submicelách, které se následně spojují do micel a komplexů. Kaseinové micely obsahují kromě kaseinu také hořečnaté a vápenné ionty, fosfáty a citráty (Walstra et al. 2006). V syrovátkových bílkovinách má s více než 50 % největší zastoupení β -laktoglobulin, následuje α -laktalbumin se zastoupením přibližně 20 %. Dalšími syrovátkovými bílkovinami nacházejícími se v mléce jsou sérový albumin, laktoferin a imunoglobulin. Podíl těchto frakcí je v kravském mléce nízký, ale v mlezivu je vysoký, jelikož vyšší obsah albuminu a imunoglobulinu zajišťuje přenos imunity z matky na tele (Gupta & Prakash 2017).

Tuk se v kravském mléce nachází v podobě tukových kuliček o velikosti 0,1-10 μm . Až 98 % jádra tukové kuličky tvoří triacylglyceroly. Dále se v tukové kuličce nacházejí v malém množství monoacylglyceroly, diacylglyceroly, volné mastné kyseliny, steroly nebo fosfolipidy (Walstra

et al. 2006). Mléko má široké zastoupení mastných kyselin (MK). MK jsou v mléčném tuku zastoupeny z 67 % jako nasycené MK, příkladem lze uvést kyselinu palmitovou, která se v mléce vyskytuje nejhojněji. Dále můžeme uvést kyselinu kaprylovou, kaprinovou, kapronovou a stearovou. Z nenasyčených MK jsou v mléčném tuku zastoupeny většinou mononenasyčené MK, především kyselina olejová, a také z 2–6 % polynenasycené MK zahrnující omega-3 a omega-6 (Kopáček 2014). Haug et al. (2007) uvádí, že hlavní omega-3 kyselinou obsaženou v mléce je kyselina alfa-linolenová (ALA), která se v plnotučném kravském mléce nachází v množství 0,75 g/l. ALA není syntetizovaná člověkem, tudíž je nutné ji přijímat ve stravě. Příznivé účinky má ALA zejména na vývoj plodu či zdravé stárnutí. ALA se nadále metabolizuje na kyseliny eikosapentaenovou (EPA), dekosahexaenovou (DHA) či dekosapentaenovou (DPA), které snižují riziko ischemické choroby srdce, navíc také mají protizánětlivé a antiaterogenní účinky (Davis et al. 2020). Z omega-6 mastných kyselin lze uvést konjugovanou kyselinu linolovou (CLA), která se v mléčném tuku nachází kolem 0,5 %. U této mastné kyseliny byly rovněž prokázány přínosy pro zdraví člověka (Kopáček 2014). Mezi zdravotní přínosy CLA patří například protinádorové vlastnosti, hypolipidemický účinek či pozitivní účinek na imunitní systém. Obsah CLA podstatně ovlivňuje složení diety (Benjamin & Spener 2009).

V kravském mléce má největší zastoupení ze sacharidů laktóza, což je disacharid, který byl nalezen téměř v každém mléce savců. Tento disacharid je tvořen v mléčné žláze z molekuly glukózy a galaktózy. Příjem laktózy zvyšuje hladinu glukózy v krvi, která je využívána ve výživě lidí jako významný zdroj energie. Laktóza je také odpovědná za sladkou chuť mléka (Walstra et al. 2006).

Nejvíce zastoupené minerální látky, tedy makroprvky, v kravské mléce jsou vápník, fosfor, draslík, sodík, chlor a hořčík. Ty se v kravském mléce vyskytují hned v několika formách např. ve volné formě, v koloidní formě či vázány na bílkoviny mléka (Cashman 2002). Významné je i zastoupení mikroprvků jako jod, železo, měď, kobalt, zinek, mangan, molybden (Zamberlin et al. 2012).

Mléko obsahuje i řadu vitaminů. Mezi významné patří vitaminy rozpustné v tucích (A, D, E, K). Vitamin K je syntetizován v bacheru, zatímco vitaminy A, D a E v bacheru syntetizovány nejsou a jejich obsah v mléce je závislý na dietě dané farmy (Reece 2011). V lidském organismu je vitamin A důležitý pro růst a vývoj, imunitní systém či při reprodukci. V kravském mléku mají z pohledu sensorického významný vliv karotenoidy, kterou jsou provitaminem vitaminu A a udávají žlutý nádech mléka (Gajdůšek 2003). Hlavní úloha vitaminu D v lidském organismu je udržení normální hladiny vápníku a fosfátu, které jsou potřebné pro normální mineralizaci kostí či kontrakci svalů. Nejdůležitější úlohou vitaminu E je chránit buněčné membrány před oxidací volnými radikály. Vitamin K má v lidském organismu roli především v koagulaci krve (FAO & World Health Organization 2004). Mléko rovněž obsahuje vitaminy rozpustné ve vodě (B, C), které jsou syntetizovány v bacheru, a tudíž nejsou na dietě závislé (Reece 2011). Vitaminy skupiny B mají důležitou roli u lidí v energetickém metabolismu či v činnosti nervové soustavy (FAO & World Health Organization 2004).

3.1.2 Kozí mléko

Kozí a kravské mléko se svým složením příliš neliší. Obsah bílkovin v obou mlékách je téměř stejný, ale jejich skladba je odlišná (Stupka et al. 2013). Hlavní mléčnou bílkovinou v kozím mléce je kasein. Kasein kozího mléka se odlišuje od kravského zastoupením jednotlivých frakcí. Zastoupení α_{s1} -kaseinu je v kozím mléce nižší než v mléce kravském a naopak β -kasein je přítomen ve větším množství (Winter 2016). Vzhledem k nižšímu obsahu α_{s1} -kaseinu je kozí mléko v některých případech doporučováno konzumentům trpící alergií na tuto frakci, což je také podmíněno podobnou skladbou bílkovin mateřského a kozího mléka (Belanger & Thomson Bredesenová 2010).

Tuk kozího mléka je na rozdíl od kravského lehce stravitelný, což je podmíněno jednak rozdílnou velikostí tukových kuliček, které jsou menší a jednak jejich menší schopností shlukování (Park et al. 2007). Menší schopnost shlukování tukových kuliček je zapříčiněna absencí proteinu shlukující tuky, aglutininu. Aglutinin působí tak, že tukové kuličky Inou k sobě a tvoří hmotu (Belanger & Thomson Bredesenová 2010). Mastné kyseliny s krátkým řetězcem (kapronová, kaprinová a kaprylová), které jsou ve větším množství obsaženy v kozím mléce než v kravském, mu dodávají jeho specifickou chuť a vůni (Čerešňáková et al. 2014). Kromě toho může být chuť formována složením krmné dávky, jelikož kozy na pastvě mohou konzumovat rostliny, mladší výhonky keřů a stromů a také jejich kůru. Kůra obsahuje deriváty kyseliny salicylové, která mobilizuje imunitní systém. Do mléka se touto cestou také dostávají aromatické látky, které ovlivňují chuť mléka (Čerešňáková et al. 2014). Dále je chuť mléka ovlivněna fází laktace, plemenem, způsobem ustájení aj. (Whetstine & Drake 2008).

Hlavním sacharidem v kozím mléce je laktóza. Obsah laktózy je v kozím mléce variabilní, a závisí z velké části na plemenné příslušnosti koz. Dále také závisí na fázi laktace, kdy na konci laktace obsah laktózy v mléce klesá (Čerešňáková et al. 2014).

Kozí mléko obsahuje z minerálních látek více draslíku, vápníku, chloru a fosforu než kravské. V průběhu laktace značně kolísá zastoupení jednotlivých prvků. Pokud kozy nemají v krmivu dostatečný přísun minerálních solí, doplňují koncentraci z tělních zásob (Fantová et al. 2015).

Kozí mléko obsahuje větší množství riboflavinu, tiaminu a kyseliny pantotenové. Dále také obsahuje niacin a vitamin A, díky nimž je kozí mléko vhodné k výživě kojenců. Naopak obsah vitaminu B₁₂, C, D, kyseliny listové a pyroxidinu je nižší (Fantová et al. 2015). Barva kozího mléka je čistě bílá, což je způsobeno absencí karotenoidů. Přijatý karoten kozy přeměňují na vitamin A (Belanger & Thomson Bredesenová 2010).

3.1.3 Ovčí mléko

Z **Tabulky 1** je patrné, že obsah bílkovin v ovčím mléce je výrazně vyšší než v mléce kravském či kozím. Hlavní mléčnou bílkovinou v ovčím mléce tvoří kasein. Z celkového zastoupení bílkovin tvoří kasein 85 %, dále se v ovčím mléce nachází syrovátkové bílkoviny, konkrétně α -laktalbumin a β -laktoglobulin. Hlavní kaseiny v ovčím mléce jsou α_{s1} -kasein, α_{s2} -kasein, β -kasein a κ -kasein (Park et al. 2007). Obsah bílkovin je ovlivněn výživou bahnic,

přičemž podíl hrubého proteinu a energie v krmné dávce je nejvýznamnějším faktorem. Dále je to například fáze laktace, nebo také čas dojení během dne (Čerešňáková et al. 2014).

Nejen obsah bílkovin, ale taktéž obsah tuku představuje významný rozdíl mezi kravským a ovčím mlékem, což je patrné z **Tabulky 1**. Park et al. (2007) uvádí, že tuk ovčího mléka se od kravského liší velikostí tukových kuliček, které jsou u ovčího mléka menší než u kravského mléka. V průměru se tukové kuličky v ovčím mléce nacházejí o velikosti 3,5 μm . Diferenciaci mezi kravským a ovčím mlékem nalezneme taktéž v zastoupení MK v tukových kuličkách. Ovčí mléko obsahuje vyšší množství kyseliny kaprinové, kaprylové a kapronové, to má za následek charakteristickou chuť a vůni (Malá et al. 2011). Také obsahuje vyšší množství kyseliny linolenové a linolové (Markiewicz-Keszyck et al. 2013).

Hlavním sacharidem ovčího mléka je taktéž laktóza. Obsah laktózy je proměnlivý dle fáze laktace, zpravidla na konci laktace klesá (Malá et al. 2011).

Minerální látky se v ovčím mléce vážou na bílkoviny nebo jsou obsaženy v podobě roztoku solí. V ovčím mléce je nejvíce zastoupen vápník, draslík a chlór. Dále se v něm nacházejí fosfor, hořčík a sodík. Ovčí mléko obsahuje také stopové prvky, jako jsou hliník, křemík, zinek, brom a železo (Čerešňáková et al. 2014).

Ovčí mléko obsahuje vitaminy rozpustné v tucích (A, D, E a K) a také vitaminy rozpustné ve vodě, což jsou vitaminy skupiny B a vitamin C. V porovnání s kravským mlékem, ovčí mléko obsahuje více vitamínu A a vitamínu B₁₂ (Čerešňáková et al. 2014). Stejně jako u kravského mléka je ovčí mléko nažloutlé, což je způsobeno obsahem karotenoidů (Stupka et al. 2013).

3.2 Biologický význam jodu

3.2.1 Jod v přírodě

Jod je esenciální prvek, který patří do skupiny halogenů (Block 2001). Jod je nejtěžší přirozeně se vyskytující halogen (Winger et al. 2008). Chemická značka jodu je „I“, relativní atomová hmotnost je 126,904 a jeho atomové číslo je 53. Jod byl objeven roku 1811 francouzským vědcem Bernardem Courtoisem, ale až v roce 1814 ho pojmenoval Joseph Louis Gay-Lussac podle jeho charakteristické fialové barvy, která vznikla při reakci kyseliny sírové s popelem mořských řas (Block 2001).

Jod se v zemské kůře nachází v množství 0,25–0,45 mg/kg, zatímco v půdě se nachází průměrně v množství 5,1 mg/kg. Koncentrace jodu v půdě je silně ovlivněna vlastnostmi půdy jako je pH a redoxní potenciál půdy. V půdách se jod většinou váže na organické látky, z čehož vyplývá, že půdy s větším množstvím organické hmoty obsahují větší množství jodu (Humphrey et al. 2018).

Hlavní rezervoár jodu na zemi představuje mořská voda, kde ho lze nalézt ve formě jodidu a jodičnanu. Obsah jodu v mořské vodě se průměrně pohybuje v množství 0,06 mg/l. Větší koncentrace jodu se nachází v mělkých vodách a na pobřeží, což je způsobeno větší koncentrací řas, které jod obsahují (Fuge & Johnson 2015).

V zemské atmosféře se jod nachází v nižším množství. Jeho rozdílnou koncentraci lze pozorovat zvláště v blízkosti mořské vody a ve vnitrozemí. Poloha, ale není zdaleka jediný faktor ovlivňující koncentraci jodu v atmosféře, dále lze jmenovat např. teplotu, proudění vzduchu či množství srážek (Fuge & Johnson 2015).

Do rostlin se jod dostává převážně ze zemské půdy, jeho množství v rostlině je tedy závislé na obsahu jodu v půdě. Rostliny jod ke svému metabolismu nepotřebují, ale slouží jako zdroj pro živočichy, kteří jod využívají pro tvorbu tyreoidálních hormonů (Fuge & Johnson 2015).

3.2.2 Metabolismus jodu v organismu

V lidském organismu se nachází 10–30 mg jodu, 70–90 % z tohoto množství se nachází ve štítné žláze. Hlavní forma jodu, která je obsažena v potravě, jsou jodidové anionty. Ostatní formy jodu (např. jodičnany) jsou nejdříve redukovány na jodidové ionty až poté jsou vstřebatelné v gastrointestinálním traktu (Velíšek et al. 2020). Winger et al. (2008) uvádí, že absorpce jodu z gastrointestinálního traktu je téměř 100 % na rozdíl od absorpce štítnou žlázou, která je pouze okolo 10 až 15 %.

Jod procházející štítnou žlázou je vychytáván folikulárními buňkami z krve ve formě jodidu, který byl vstřebaný z potravy. Současně je v endoplazmatickém retikulu syntetizován prekurzor hormonů štítné žlázy glykoprotein tyreoglobulin, koloid nacházející se ve folikulech. V Golgiho aparátu, kde proběhne glykosylace, je tyreoglobulin vylučován sekrečními váčky do lumenu folikulu. Na povrchu folikulárních buněk poté oxidují jodidové anionty (I^-) na jod (I_2). Vzniklé molekuly jodu se zabudovávají na tyreoglobulinu. Následnou substitucí vznikne

nejprve monoiodotyrosin, a poté diiodotyrosin. Spojením dvou molekul diiodotyrosinu vznikne thyroxin (T_4) a spojením jedné molekuly diiodotyrosinu a jedné molekuly monoiodotyrosinu vznikne triiodothyronin (T_3). Působením tyreotropního hormonu (TSH) dochází k dráždění endocytózy koloidu, za vytvoření fagozomu, který se sloučí s lyzozomy. Ve vzniklém útvaru dochází k hydrolýze tyreoglobulinu na malé části a následnému uvolnění triiodothyroninu a thyroxinu. Mezi folikulárními buňkami, které vychytávají jod jsou také uloženy parafolikulární buňky, které jsou zdrojem kalcitoninu, který slouží k regulaci koncentrace vápenatých iontů v plazmě (Kittnar et al. 2011).

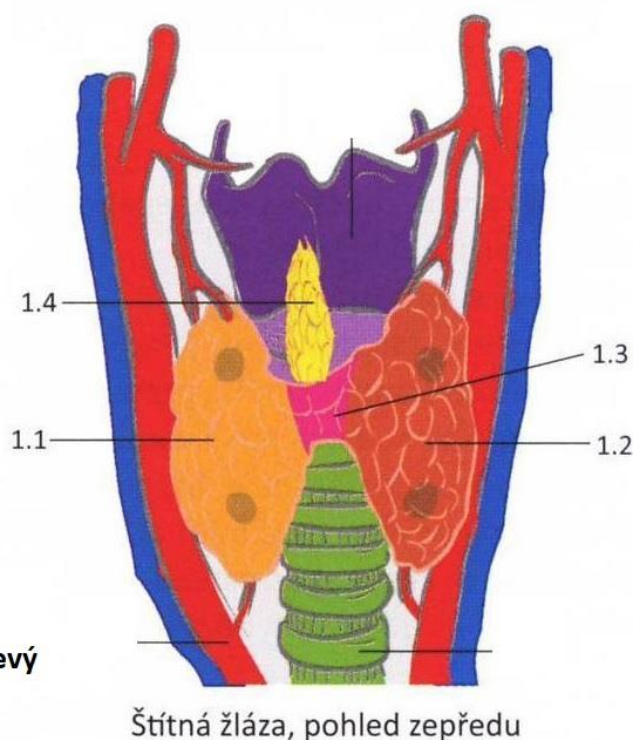
Hlavní hormony metabolismu jodu v lidském organismu:

- 1) Tyreotropní hormon (TSH) vzniká v hypofýze a na jeho stimulaci je závislá produkce tyreoidálních hormonů. Sekrece tyreotropního hormonu je řízena thyroliberinem (TRH), který je vylučovaný z hypotalamu. Rovnováha mezi TSH a TRH udržuje potřebné množství hormonů štítné žlázy v organismu (Cassan 2005).
- 2) Triiodothyronin (T_3) je jeden z hormonů štítné žlázy, který obsahuje ve své molekule 3 atomy jodu. Triiodothyronin je aktivní podoba hormonů štítné žlázy, která se podílí největší měrou na jejich účinku (Potluková 2013).
- 3) Thyroxin (T_4) je druhý nejdůležitější hormon štítné žlázy, který obsahuje ve své molekule 4 atomy jodu. Pomocí enzymu zvaného deiodáza se thyroxin v cílových buňkách mění na aktivní formu triiodothyronin (Potluková 2013).

3.3 Význam jodu v lidském organismu

3.3.1 Vliv jodu na štítnou žlázu

Štítná žláza je endokrinní žláza s vnitřní sekrecí, která leží v krku ve přední části. Skládá se ze dvou laloků umístěných po stranách průdušnice, které jsou propojené v přední části můstkem, jak je patrné z **Obrázku 1** (Cassan 2005).



1. Štítná žláza

1.1 Lalok pravý

1.2 Lalok levý

1.3 Zúženina spojující lalok pravý a levý

1.4 Lalok pyramidální

Obrázek 1 Štítná žláza (Zdroj: Hudák a Kachlík 2013, upraveno autorem)

Štítná žláza shromažďuje jod z krve, který následně využívá k syntéze dvou hormonů, a to trijodtyroninu a tyroxinu (Kittnar et al. 2011). V krvi se trijodtyronin a tyroxin nacházejí ve volné či vázané formě. Trijodtyronin a tyroxin se v krvi přenášejí převážně navázané na vazebné proteiny, a to na tyroxin vázající globulin (TBG), dále tyroxin vázající prealbumin (TBPA) a albumin (Murray et al. 2009).

Hormony trijodtyronin a tyroxin mají na lidský organismus široký účinek. Podporují růst, vývoj a diferenciaci organismu a mozku, proteosyntézu a mají účinek na termoregulaci a energetický metabolismus. Opomenout nelze ani hormon kalcitonin regulující vápník v krvi, jenž také štítná žláza produkuje (Kittnar et al. 2011).

Činnost štítné žlázy je řízena pomocí hypofýzy, kde vzniká hormon tyreotropin. Tyreotropin stimuluje štítnou žlázu k růstu a zvýšené funkci. Při nadbytku tyroxinu a trijodtyroninu sekrece tyreotropinu klesá a při snížené hladině těchto hormonů je naopak sekrece tyreotropinu zvýšená. Choroby štítné žlázy většinou vznikají chorobnými změnami ve štítné žláze (Zamrazil a Čeřovská 2014).

3.3.2 Jod a jeho význam v těhotenství

V těhotenství se zvyšuje potřeba tyreoidálních hormonů, což je zapříčiněno placentárním přenosem hormonů štítné žlázy z matky na plod. Hormony štítné žlázy mají v těhotenství jednak velký význam při růstu tkání, jednak jsou stěžejní pro vývoj a diferenciaci mozku plodu. Do 12. týdne těhotenství je plod zcela závislý na průchodu hormonů štítné žlázy placentou od matky. Až mezi 12. a 16. týdnem začíná syntéza hormonů ve štítné žláze plodu a závislost na hormonech štítné žlázy od matky pomalu klesá přibližně na čtvrtinu (Chittimoju & Pearce 2019).

V průběhu těhotenství je patrná zvýšená koncentrace estrogenu, který je důležitý pro růst děložní sliznice. Také je v těhotenství zvýšena produkce choriogonadotropinu v placentě, který stimuluje růst žlutého tělíska a působí stimulačně na štítnou žlázu. Již od počátku těhotenství tak dochází ke zvýšené tvorbě tyroxinu vázacího globulin, což vyplývá ze zvýšené hladiny estrogenu. V druhé polovině těhotenství se zvyšuje průtok krve ledvinami a glomerulární filtrace, což je zapříčiněno syntézou hormonů ve štítné žláze plodu. Zvýšený průtok krve ledvinami a glomerulární filtrace vedou ke zvýšenému vyplavování jodidu z plazmy, a tím ztrátě jodu z organismu (Leung et al. 2011). Aby se předešlo poruchám a onemocněním u plodu, ale i u matky, je důležitý dostatečný příjem jodu, který musí být zajištěn z potravy či suplementací (Glinioer 2007).

3.3.3 Zdroje jodu pro člověka

V potravě se jod vyskytuje v setinách až desetinách mg/kg. Množství jodu obsaženého v potravinách rostlinného původu závisí na množství jodu v půdě. Jak je patrné z **Tabulky 2**, největší obsah jodu v rostlinných potravinách se nachází v mořských řasách (Milagres et al. 2020).

Tabulka 2 Průměrný obsah jodu u vybraných rostlinných potravin

Druh potraviny	Průměrný obsah jodu
Mořské řasy-Kombu	2410 µg/100 g
Tuřín	10,25 µg/100 g
Kešu ořechy	6,25 µg/100 g
Vlašské ořechy	5,80 µg/100 g
Lněné semínko	5,00 µg/100 g
Kokos	1,00 µg/100 g

Zdroj: Milagres et al. (2020), Yeh et al. (2014), upraveno autorem

Množství jodu obsažené v potravinách živočišného původu závisí na množství jodu obsaženém v krmivu a suplementaci jodu do krmiv. Nutno podotknout, že zvýšený obsah jodu v živočišných produktech nemusí pocházet pouze z diety. Příkladem lze uvést mléko a mléčné výrobky, kdy se na zvýšeném obsahu jodu může podepsat používání dezinfekčních prostředků.

Tyto prostředky se používají například k dezinfekci dojícího zařízení či k dezinfekci struků dojnice (Flachowsky et al. 2014). Obsah jodu ve vybraných potravinách živočišného původu je uveden v **Tabulce 3**.

Tabulka 3 Průměrný obsah jodu u vybraných živočišných potravin

Druh potravin	Průměrný obsah jodu
Měkkýši/Korýši	101,13 µg/100 g
Ústřice	66,50 µg/100 g
Křepelčí vejce	50,80 µg/100 g
Mořské ryby	45,00 µg/100 g
Slepičí vejce	32,00 µg/100 g
Čerstvé kravské mléko	17,90 µg/100 g
Hovězí ledviny	10,50 µg/100 g

Zdroj: Milagres et al. (2020), upraveno autorem

Jak je patrné z **Tabulky 3** i mléko lze řadit mezi živočišné potraviny vyznačující se zvýšeným obsahem jodu. Ryšavá et al. (2005) uvádí, že nejvyšší průměrné hodnoty jodu jsou obsažené v mléce z distribuční sítě v České republice v porovnání s dalšími evropskými zeměmi. Množství jodu obsažené v mléce bylo v České republice měřeno mezi roky 1997 až 2005. Průměrný obsah jodu v mléce z distribuční sítě v České republice byl 472 µg/l, což odpovídá cca 126 % DDD (Denní Doporučená Dávka). Dále následují země jako Velká Británie, Slovensko, Francie, Belgie, Spolková republika Německo, Polsko a Švýcarsko, které byly v analýze také hodnoceny.

Co se týče obsahu jodu v syrovém mléce, na tuto problematiku se zaměřila Křížová et al. (2016). Ti měřili hodnoty jodu obsaženého v mléce z několika farem ve 13 okresech v České republice. Měření probíhalo v období od srpna 2013 do března 2015. Při měření v roce 2015 byl průměrný obsah jodu v mléce $203,1 \pm 138,3$ µg/l. V roce 2013 byl zjištěn průměrný obsah jodu ve vzorcích $357,6 \pm 344,6$ µg/l, což značí pokles jodu v mléce v roce 2015 o 154,5 µg/l naproti roku 2013. Při analýze značně kolísaly hodnoty jodu v mléce odebraného v jednotlivých chovech, což je způsobeno nesourodou suplementací jodu do krmných dávek. Souběžně při stanování obsahu jodu v mléce Křížová et al. (2016) stanovovali v roce 2013 hodnoty jodu obsaženého v syrovátce. Při zvyšování obsahu jodu v mléce taktéž stoupají hodnoty jodu obsaženého v syrovátce. Zjištěný obsah jodu v syrovátce byl průměrně 245,84 µg/l. Také bylo zjištěno, že v průměru přechází 67,17 % jodu z mléka do syrovátky. Obsah jodu v některých mléčných výrobcích zkoumali Dahl et al. (2003). Studie byla prováděna na vybraných norských mléčných výrobcích. Bylo zjištěno, že hodnoty obsahu jodu v mléčných výrobcích pocházejících z rozdílných oblastí jsou velmi variabilní. Největší variabilita byla zaznamenána u syrovátkového sýru, kde naměřené hodnoty jodu byly 103-1360 µg/kg. Dále byly zkoumány mléčné výrobky jako zakysaná smetana či jogurt, kde variabilita obsahu jodu

již nebyla tak široká. Obsah jodu v zakysané smetaně se pohyboval v rozmezí 44-176 µg/kg a obsah jodu v jogurtu byl v rozmezí 115-179 µg/kg.

Jod je rovněž obsažen v minerálních vodách. V České republice jsou typickým příkladem minerální vody s vyšším obsahem jodu (např. Vincentka), kdy pro pokrytí denní dávky jodu postačí pouze několik mililitrů (Zamrazil a Čeřovská 2014).

Určitý zdroj jodu v rámci diety představují i některá potravinářská aditiva. Pro stabilizaci těsta se např. používají jodičnan vápenatý či jodičnan draselný. Rovněž se v potravinářství používá erythrosin, červené potravinářské barvivo, které obsahuje 58 % jodu. Pokud by bylo žádoucí zvýšení obsahu jodu v pokrmech či potravinách, lze jej zvýšit použitím kuchyňské soli s obsahem jodu. V kuchyňské soli bývá obsah jodu od 20 do 50 mg/kg a jod je zde obsažen ve formě jodičnanu sodného, jodičnanu draselného či jodidu (Velíšek et al. 2020).

3.3.4 Nedostatek a nadbytek jodu

Doporučený denní příjem jodu pro různé věkové kategorie je uveden v **Tabulce 4**. V této tabulce je možné vidět, že v prvním roce života dítěte by děti měly přijímat kolem 110-130 µg jodu za den. Z tabulky je rovněž patrné, že kojící ženy mají dvakrát tolik zvýšený doporučený denní příjem jodu, aby pokryly příjem pro sebe i pro dítě (Russell et al. 2001).

Tabulka 4 Doporučený denní příjem jodu

Věk	Doporučený denní příjem jodu
0-6 měsíců	110 µg/den
7-12 měsíců	130 µg/den
1-8 let	90 µg/den
9-13 let	120 µg/den
14-18 let	150 µg/den
Nad 19 let	150 µg/den
Těhotné ženy	250 µg/den
Kojící ženy	290 µg/den

Zdroj: Russell et al. (2001), upraveno autorem

Nejnižší hranice pro příjem jodu pro člověka je stanovena na 100 µg/den, pro kojící a těhotné ženy je tato hranice stanovena na 150 µg/den. Horní hranice bezpečného příjmu jodu, se určuje obtížněji. Podle posledních informací ICCIDD (International Committee for Control of Iodine Deficiency Disorders) je bezpečná horní hranice příjmu jodu 500 µg/den (Zamrazil a Čeřovská 2014).

Nedostatek jodu a zdravotní důsledky z něj závisí na stupni poklesu jeho přívodu do organismu. Projevy jodopenie jsou závislé na věku a v malé míře také na pohlaví. Nedostatek jodu v organismu může způsobit sníženou funkci štítné žlázy, tzv. hypotyreózu (Bürgi 2010). Mezi klinické příznaky spojené se sníženou funkcí štítné žlázy řadíme únavu, ospalost,

zpomalené pohyby, či zpomalenou řeč. Hypotyreóza se vyskytuje u dospělých, seniorů a vzácně se může také vyskytnout u dětí (Zamrazil a Čeřovská 2014).

Závažný je nedostatek jodu u plodu, který vede k poruchám vývoje organismu. Při jodopenii dochází k deformaci kostí a zpomalení jejich tvorby. Dále se může vyskytovat široká škála vrozených vad, především v gastrointestinálním traktu a srdci (Zamrazil a Čeřovská 2014). Zamrazil a Čeřovská (2014) uvádí, že pokud je mateřský příjem jodu nižší než 20 μg může vzniknout kretenismus, který se v České republice již nevyskytuje. Nedostatek jodu vede také k poklesu IQ o několik bodů, kdy toto snížení je trvalé. Dále vede také k rozvoji ADHD (Attention Deficit Hyperactivity Disorder), neboli k poruše pozornosti s hyperaktivitou. Nedostatek jodu během těhotenství nemusí ovlivnit pouze plod, ale i matku, kdy může vést k tvorbě strumy. Tvorba mateřské strumy souvisí s dobou trvání a mírou stimulace žláz, ke které dochází v těhotenství. Struma, která se vytvoří během těhotenství při nedostatečném zásobení jodem matky, nemusí po porodu zcela vymizet. Dále jodopenie může vést k nedonošenosti plodu, spontánnímu potratu či k porodu mrtvého plodu (Yarrington & Pearce 2011).

V České republice bylo na počátku 90. let 20. století prokázáno nedostatečné zásobení populace jodem. Důkaz nedostatečného příjmu jodu byl pozorován převážně u dětí, u kterých se začala objevovat struma (**Obrázek 2**). Za nedostatkem jodu stálo zhoršení kvality jodace soli či nižší konzumace potravin obsahující jod (Křížová et al. 2004). Pro řešení nedostatku jodu tenkrát vznikla Meziresortní komise pro řešení jodového deficitu, která realizovala určitá opatření pro zvýšení zásobení jodem u české populace. Opatření byla následující:

- 1) přidavek jodu do speciálních produktů pro těhotné ženy a do kojeneckých mléčných výživ,
- 2) zvýšení limitu obsahu jodu v kuchyňské soli,
- 3) zvýšení počtu výrobců (uzeniny, pečivo), kteří začali používat jodizovanou sůl, aj.

Výsledky těchto opatření byly monitorovány zejména sledováním obsahu jodu v moči. V roce 2004 bylo ICCIDD potvrzeno, že v České republice byl odstraněn nedostatečný příjem jodu (Nejedlá 2014).



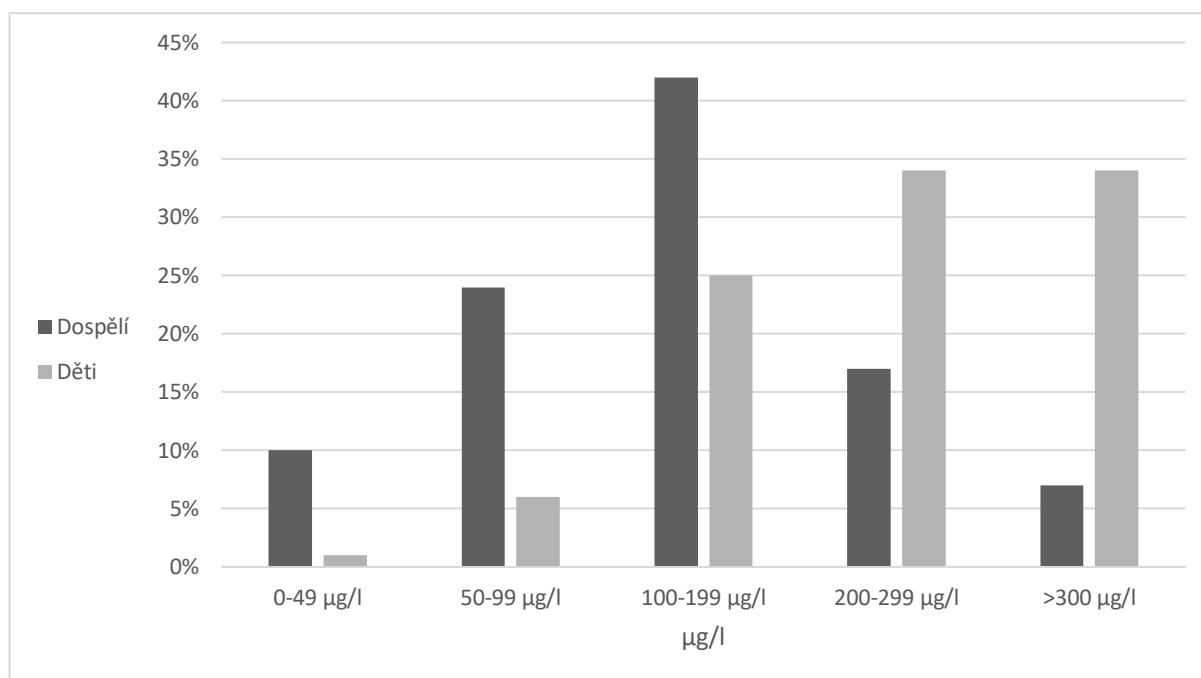
Obrázek 2 Novorozenecká struma (Zdroj: Muntau 2014)

Nepříznivé důsledky nadměrného přívodu jodu se na rozdíl od jodopenie vyskytují pouze u malé části populace. Štítná žláza má nejspíše dostatek regulačních mechanismů, kterými se přizpůsobí zvýšenému přívodu jodu. Rizikem z nadměrného příjmu jodu je zvýšená funkce štítné žlázy tzv. hypertyreóza. Hypertyreóza je stav kdy štítná žláza produkuje více hormonů (Zamrazil a Čeřovská 2014).

Nutno podotknout, že hypertyreóza nemusí být způsobena pouze zvýšeným příjmem jodu. Hyperfunkce štítné žlázy se totiž nejčastěji vyskytuje jako Gravesova-Basedova choroba, což je autoimunitní onemocnění, při kterém obranný systém organismu napadá vlastní buňky (Markalous a Gregorová 2003). Při hypertyreóze imunitní systém vytváří látku, která obdobně jako TSH stimuluje funkci štítné žlázy a podněcuje ji k vyšší činnosti. Projevuje se jako pocit horka a pocení, neklid, nespavost, bušení srdce, svalová atrofie či padání vlasů. Hypertyreóza postihuje nejen starší populaci, ale vyskytuje se také u mladších ročníků (Zamrazil a Čeřovská 2014).

Další velice častou příčinou hypertyreózy je autonomní adenom, který se projevuje vznikem uzlu či více uzlů ve štítné žláze. Vzniklé uzly vytvářejí nadbytek hormonů. Toto onemocnění se vyskytuje často u starších osob (Potluková 2013). Při nadměrné zátěži organismu jodem může vzniknout také tzv. exogenní léková hypertyreóza. Tato příčina hypertyreózy je ale vzácná (Potluková 2013).

Na **Obrázku 3** je znázorněn graf, z něhož je patrná saturace jodem (jodurie) v České republice v roce 2015. Jodurie je hodnocena podle parametrů Světové zdravotnické organizace pro dospělé i děti, kdy hodnoty nižší než 100 µg/l značí nedostatečnou saturaci, 100-199 µg/l optimální saturaci a hodnoty nad 200 µg/l značí nadměrnou saturaci. Z **Obrázku 3** je patrné, že u dospělé populace převažuje optimální saturace jodem na rozdíl od dětí, kde převažuje nadměrná saturace jodem (Hanzlíková et al. 2018).



Obrázek 3 Saturace jodem u dospělých a dětí v České republice (Zdroj: Hanzlíková et al. 2018, upraveno autorem)

3.4 Požadavky jodu pro skot

3.4.1 Potřeba jodu ve výživě skotu

Jod představuje i ve výživě skotu nezbytný stopový prvek, jelikož je vyžadován v průběhu dospívání, březosti i laktace (Pechová et al. 2009), kdy je důležitý zvláště pro správnou fyziologickou funkci štítné žlázy. Hormony štítné žlázy jsou důležitým prvkem systémů, které řídí metabolismus bílkovin, tuků, sacharidů, a také mají vliv na termoregulaci (Pavlata et al. 2009). Orientační potřebu jodu pro vybrané kategorie skotu lze nalézt v **Tabulce 5**.

Tabulka 5 Orientační potřeba jodu pro vybrané kategorie skotu

Kategorie skotu	Orientační potřeba jodu
Dojnice	0,8 mg/kg sušiny
Jalovice	1,0 mg/kg sušiny
Telata	0,4 mg/kg sušiny

Zdroj: Pechová et al. (2009), upraveno autorem

V případě, že přísun jodu z diety není dostatečný, klesá ve štítné žláze jeho koncentrace a může vzniknout struma. Struma vzniká jako důsledek snahy štítné žlázy o kompenzaci nízké produkce hormonů. Mezi další onemocnění spojené s deficitem jodu lze zařadit poruchy reprodukce nebo neplodnost (Pechová et al. 2009). Do poruch reprodukce způsobené nedostatečným příjmem jodu můžeme zařadit zmenšení objemu ejakulátu, zvýšení procenta nepohyblivých a mrtvých spermií či zhoršenou oplozovací schopnost (Doležal et al. 2009). Pechová et al. (2009) uvádí, že deficit jodu ve výživě dojnic se může rovněž projevit poklesem užitkovosti. Jod je taktéž významný pro vývin a růst mláďat již v nitroděložním vývoji. Stejně jako u dojnic je příznakem nedostatku jodu struma, kterou lze nalézt u čerstvě narozených či mladých rostoucích mláďat (Pavlata et al. 2009).

Jodismus neboli otrava jodem může také nastat, a to díky suplementaci jodu do krmných dávek skotu. Jodismus se vyskytuje především při dlouhodobém podávání vyšších dávek jodu. Hlavními příznaky otravy jodem jsou výtok z nosu, šupinatá kůže, nechutenství nebo snížení imunitních funkcí (Pechová et al. 2009).

3.4.2 Zdroje jodu ve výživě dojnice

Jod dojnice přijímá ve vodě, v krmné dávce nebo se v menších dávkách do tělního oběhu může dostat exogenními nenutričními zdroji. Koncentrace jodu v napájecí a pitné vodě je obvykle 5-10 µg/l. Příjem jodu v krmné dávce z objemných a jadrných krmiv se pohybuje v rozmezí 3 až 4 mg/kg/den (Trávníček et al. 2011). Dle nařízení komise (ES) č. 1459/2005 je maximální přípustné množství jodu v mg/kg kompletního krmiva s obsahem vlhkosti 12 % 5 mg. Obsah jodu v objemných i jadrných krmivech závisí na hnojení, rostlinném druhu, klimatických a geologických podmínkách (Trávníček et al. 2011; Trávníček et al. 2013). Geologické podmínky v rámci České republiky nezajišťují dostatečný přísun jodu do vegetace

a následně do krmné dávky dojnice, o čemž pojednává Trávníček et al. (2013). Ti se také zaměřili na vliv klimatických podmínek na obsah jodu v objemných krmivech a zjistili, že obsah jodu se během roku v objemných krmivech značně liší. Jod obsažený v objemných krmivech se nachází ve vyšším množství v podzimním období než v letním období. V období srpen až říjen bylo množství jodu v objemném krmivu $214,5 \pm 107,3$ $\mu\text{g}/\text{kg}$ sušiny a v období květen až červenec bylo množství jodu v objemném krmivu $101,3 \pm 73,6$ $\mu\text{g}/\text{kg}$ sušiny (Trávníček et al. 2004). Ve stejné studii byl rovněž zkoumán obsah jodu v různých objemných krmivech v západních a jižních Čechách v letech 1997-2001. K analýze bylo použito 304 vzorků objemných krmiv z těchto oblastí. Výsledky analýzy jsou patrné v **Tabulce 6**. Nejvyšší průměrný obsah jodu byl zaznamenán v travní siláži, a to $213,3 \pm 169,3$ $\mu\text{g}/\text{kg}$ sušiny. Naopak u kukuřičné siláže byly zaznamenány nejnižší hodnoty, a to $110,0 \pm 97,2$ $\mu\text{g}/\text{kg}$ sušiny. Trávníček et al. (2011) se také zaměřili na jadrná krmiva a obsah jodu v nich, který označil za nízký. Příkladem lze uvést obsah jodu v zrnu ječmene $0,05$ mg/kg sušiny a zrnu pšenice $0,06$ mg/kg sušiny.

Tabulka 6 Průměrný obsah jodu v objemných krmivech ($\mu\text{g}/\text{kg}$ sušiny)

Druh krmiva	Průměrný obsah jodu
Pastviny	$148,9 \pm 105,1$ $\mu\text{g}/\text{kg}$ sušiny
Seno	$112,1 \pm 93,9$ $\mu\text{g}/\text{kg}$ sušiny
Travní siláž	$213,3 \pm 169,3$ $\mu\text{g}/\text{kg}$ sušiny
Kukuřičná siláž	$110,0 \pm 97,2$ $\mu\text{g}/\text{kg}$ sušiny

Zdroj: Trávníček et al. (2004), upraveno autorem

Vzhledem k tomu, že v mnoha případech není příjem jodu z objemných a jadrných krmiv dostačující, musí se jod dodávat prostřednictvím premixů s obsahem jodu nebo jodizovaných solných lizů. Jako zdroj k trvalé dotaci jodu se nejčastěji využívá jodičnan vápenatý nebo jodid draselný. Pokud není zapotřebí trvalá dotace jodu používají se jednorázové nebo také opakované perorální aplikace jodidu nebo jodičnanu draselného. Takto podávaný jod se využívá například při graviditě (Pechová et al. 2009).

Mezi exogenní nenutriční zdroje jodu lze zařadit veterinární přípravky obsahující jod. Mezi tyto přípravky patří například povrchové dezinfekce, přípravky používané při mastitidách nebo hojivé preparáty (Trávníček et al. 2011). Podrobněji je tato problematika popsána v kapitole 3.6.

3.5 Stanovení obsahu jodu v mléce

Pro stanovení obsahu jodu v mléce lze využít několik analytických metod. Tři nejdůležitější jsou popsány níže.

3.5.1 Stanovení obsahu jodu metodou ICP-MS

Principem stanovení obsahu jodu metodou ICP-MS (Inductively Coupled Plasma Mass Spectroscopy) je extrahování sloučenin jodu alkalickým činidlem TMAH (tetrametylamonium hydroxid) v autoklávech při teplotě 90 °C. Po oddělení nerozpustných složek se k roztoku přidá demineralizovaná voda do definovaného objemu. Tento extrakt je ionizován, automatizován a zmlžován v plazmatu. Jodové ionty jsou extrahovány a odděleny z plazmatu v hmotnostním spektrofotometru. Uvolněné jodové ionty jsou stanoveny detektorem pro záchyt elektronů (Trávníček et al. 2011).

3.5.2 Stanovení obsahu jodu metodou HPLC-ED

Hejtmánková et al. (2005) uvádí, že stanovení obsahu jodu pomocí HPLC-ED (High-Performance Liquid Chromatography With Electrochemical Detection) je založeno na oddělení nerozpustných složek a vysokomolekulárních složek v centrifuze. Poté následuje filtrace přes membránový filtr a dávkování vzorku mléka do chromatografu. Vlastní stanovení se provádí na koloně s reverzní nebo mobilní fází.

3.5.3 Stanovení obsahu jodu dle Sandell-Kolthoffa

Principem stanovení obsahu jodu spektrofotometricky metodou dle Sandell-Kolthoffa optimalizovanou Bednářem je redukce ceričitých iontů na cerité ionty za účasti arseničitých iontů v prostředí kyseliny sírové. Reagují zde také jodidové ionty, které mají funkci katalyzátoru. Vyhodnocení zbarvení vzorku se měří spektrofotometricky při 430 nm naproti deionizované vodě (Trávníček et al. 2011).

3.5.4 Ostatní využívané metody

Další metodou stanovení obsahu jodu je například atomová absorpční spektrofotometrie. Při této metodě je vzorek mléka mineralizován alkalickým spalováním. Následně se v mineralizátu s obsaženou stříbrnou solí vysráží jodid stříbrný, jenž se rozpustí v thiosíranu. Množství roztoku thiosíranu se stanoví metodou plamenové absorpční spektrofotometrie (Trávníček et al. 2011).

Stanovení jodu elektrochemicky je založeno na principu měření jodu za pomoci dvou elektrod - jodid-kyanidové specifické elektrody (I⁻/CN) a referenční elektrody (Ag/AgCl) (Carleton et al. 2008).

3.6 Vliv jodu na kvalitu a složení mléka a mléčných výrobků

Jak bylo zmíněno výše, jod hraje významnou roli ve fyziologii člověka, také ale může ovlivnit kvalitu a složení mléka a mléčných výrobků, což dokazují i studie uvedené níže. Iannaccone et al. (2019) se zabývali vlivem suplementace jodu na kvalitu mléka a mléčných výrobků. Ve studii byl hodnocen počet somatických buněk (PSB), který poskytuje informaci o hygienické jakosti mléka, a tudíž určuje, zdali je mléko vhodné pro výrobu mléčných výrobků. Stádo bylo rozděleno na kontrolní skupinu dojnic a skupinu dojnic, kterým byl suplementován jod v množství 85 mg/den/dojnice. Na začátku studie byl počet somatických buněk v 1 ml mléka u obou skupin dojnic v rozmezí 150-200 tisíc. Po osmi týdnech suplementace jodu byl počet somatických buněk v 1 ml mléka v rozmezí 100-150 tisíc, zatímco u kontrolní skupiny byl počet somatických buněk v 1 ml mléka nad 200 tisíc. Výsledky ukazují významné snížení počtu somatických buněk v závislosti na obsahu jodu ve výživě, a tím zlepšení imunitní odpovědi proti infekčním onemocněním u dojnic.

Ve stejné studii Iannaccone et al. (2019) se rovněž zabývali vlivem suplementace na kvalitu čerstvého sýru ricotta. Ve studii byla sledovaná změna hladiny malondialdehydu, který vzniká při technologickém zpracování některých druhů potravin. Vyšší hladina malondialdehydu má negativní účinky nejen na zdraví lidí, ale i na kvalitu sýru. Na začátku analýzy byl obsah malondialdehydu v sýru, z mléka dojnic bez suplementace jodu 40 ± 5 $\mu\text{g/g}$, po sedmi dnech 75 ± 6 $\mu\text{g/g}$. V sýru, z mléka dojnic se suplementací jodu, byl obsah malondialdehydu na začátku analýzy 45 ± 3 $\mu\text{g/g}$ a po sedmi dnech 51 ± 4 $\mu\text{g/g}$. Z výsledků je patrný nižší obsah malondialdehydu v sýru vyrobeného z mléka dojnic se suplementací jodu než u sýru vyrobeného z mléka dojnic bez suplementace jodu, což ukazuje příznivé účinky suplementace jodu na kvalitu sýra.

Akhmedkhanov et al. (2020) se zabývali vlivem suplementace suspenze *Chlorella vulgaris* do krmné dávky na kvalitu a parametry syrového mléka a sýru Montasio. Suspenze chlorelly obohacuje mléko a mléčné produkty o jod. Analýze byly podrobeny 3 skupiny dojnic, které měly rozdílnou suplementaci jodu, a to v množství bez suplementace, 1 litr a 1,5 litru suspenze chlorelly na dojnici za den. Po třech měsících suplementace chlorelly byly pozorovány změny složení mléka. Bylo zjištěno, že minimální vliv má suplementace chlorelly na množství tuku, bílkovin a laktózy v mléce. Hodnoty se změnily v rámci setin až desetin procenta, obdobné výsledky byly pozorovány u hustoty mléka. Naopak suplementace suspenze chlorelly měla znatelný vliv na obsah železa a jodu v mléce. Obsah železa se při suplementaci 1 litru suspenze chlorelly zvýšil z 16 mg/l na 28 mg/l, u jodu bylo pozorováno zvýšení z 0 mg/kg na 0,20 mg/kg. Nejvyšší suplementace (1,5 litru suspenze chlorelly) se na navýšení obsahu železa a jodu projevila nejvíce. Obsah železa a jodu se zvýšil z 16 mg/l na 36 mg/l a z 0 mg/kg na 0,29 mg/kg. Zaznamenána byla i změna v obsahu aminokyselin, kdy nejznatelnější změna se projevila u kyseliny glutamové a lysinu, přičemž obsah kyseliny glutamové byl následující: 0,62 % (bez suplementace), 0,65 % (1 litr chlorelly) a 0,69 % (1,5 litru chlorelly). Změny byly pozorovány i u hlavních a vedlejších složek polotvrdého sýru Montasio, což je patrné z **Tabulky 7**.

Tabulka 7 Změny složení sýru Montasio po suplementaci suspenzí chlorelly do krmné dávky

Složka sýru	Bez doplňku	1 litr/den/dojnice	1,5 litru/den/dojnice
Bílkoviny	30,71 %	31,25 %	32,0 %
Tuk	35,20 %	49,87 %	52,40 %
Popel	5,54 %	6,55 %	6,73 %
Železo	5,07 mg/kg	5,70 mg/kg	5,79 mg/kg
Jod	-	297 µg/kg	312 µg/kg

Zdroj: Akhmedkhanov et al. (2020), upraveno autorem

Na vliv doplňku „Elamine“ na obsah jodu v kozím kefíru se zaměřila Ryzhkov et al. (2017). Hlavním cílem studie bylo zhodnotit fyzikální a chemické vlastnosti kefíru po přidavku doplňku do hlavní výrobní suroviny. Obsah jodu v doplňku byl v množství 554 mg/kg. Doplněk Elamine byl použit v množství 0,5 až 1,6 g/l mléčné směsi. V kefíru bez doplňku byl obsah tuku 3,20 %, obsah bílkovin 2,85 % a hodnota pH byla 4,55. Kefír s obsahem doplňku Elamine 0,5 g/l obsahoval 4,18 % tuku, 2,93 % bílkovin a hodnota pH byla 4,67. Naproti tomu kefír s obsahem doplňku Elamine 1,6 g/l obsahoval 4,38 % tuku, 3,32 % bílkovin a hodnota pH byla 4,50. Použitím doplňku Elamine se také zvýšilo množství aminokyselin a mastných kyselin obsažených v kefíru (např. izoleucin, methionin). Pozorováno bylo i zvýšené množství keřírové kultury. Množství bakterií mléčného kvašení bylo až 2,5krát vyšší ve srovnání s keřírem bez suplementace. Navýšení množství bakterií mléčného kvašení a kvasinek bylo následující:

- 1) v keříru bez doplňku bylo $1,0 \times 10^7$ bakterií mléčného kvašení a $1,0 \times 10^3$ kvasinek,
- 2) v keříru s obsahem doplňku Elamine 0,5 g/l bylo $1,5 \times 10^7$ bakterií mléčného kvašení a $1,20 \times 10^3$ kvasinek,
- 3) v keříru s obsahem doplňku Elamine 1,6 g/l bylo $2,5 \times 10^7$ bakterií mléčného kvašení a $1,55 \times 10^3$ kvasinek.

3.7 Faktory ovlivňující obsah jodu

Obsah jodu v konzumním mléce a mléčných výrobcích závisí na obsahu jodu v syrovém mléce (Trávníček et al. 2011). Mezi faktory, které ovlivňují obsah jodu v mléce a mléčných výrobcích se řadí druh mléka, výživa a s tím spojený obsah selenu, dezinfekční prostředky, způsob chovu, tepelné ošetření i následné zpracování mléka a mléčných produktů, roční období, geografické vlivy, plemenná příslušnost a fáze laktace (Flachowsky et al. 2014).

3.7.1 Druh mléka

V níže uvedených studiích, které byly provedeny v České republice i v zahraničí, bylo prokázáno, že obsah jodu v mléce se liší napříč druhy. Obsahem jodu v kravském mléce se zabývali Trávníček et al. (2006b). K analýze získali vzorky mlék ze 14 oblastí. Analýza byla provedena v roce 2005 v jihozápadních Čechách. Zjištěné hodnoty jodu obsaženého v mléce dojníc byly v rozmezí 68,6 až 1006,6 $\mu\text{g/l}$, v průměru byl obsah jodu v mléce dojníc $442,5 \pm 185,6 \mu\text{g/l}$. Při analýze bylo zjištěno, že 81,7 % vzorků mlék obsahovalo jod v množství větším než 250 $\mu\text{g/l}$, přičemž 35,7 % z těchto vzorků mlék dokonce obsahovalo jod v množství větším než 500 $\mu\text{g/l}$. Z výsledků je patrný zvyšující se trend obsahu jodu v mléce, kdy ve dřívější studii, která byla provedena mezi roky 2003 a 2004, byl průměrný obsah jodu v mléce 310,4 $\mu\text{g/l}$.

Shakerian (2013) se také zabýval obsahem jodu v kravském mléce, a to v Iránu u mléčného plemene holštýn. Zjištěný obsah jodu vykazoval hodnoty v rozmezí 20,0 až 378,0 $\mu\text{g/l}$, v průměru byl obsah jodu v mléce $225,59 \pm 97,92 \mu\text{g/l}$. Dále bylo zjištěno, že 69,7 % vzorků mlék dosahovalo koncentrace jodu 200-300 $\mu\text{g/l}$, což je dle studie optimální množství jodu v mléce.

Množstvím jodu obsaženém v kozím mléce se zabývali Trávníček a Kursá (2001). Analyzovali vzorky mlék z 64 farem nacházejících se v jižních Čechách, vzorky byly odebírány v letech 1998 a 1999. Mléko, produkované kozami bez suplementace jodu, obsahovalo jod v průměru $19,3 \pm 13,2 \mu\text{g/l}$. U vzorků mlék od koz, kterým byla podávána jodová jedlá sůl, byl průměrný obsah jodu $142,1 \pm 102,6 \mu\text{g/l}$. Nízké hodnoty jodu obsaženého v mléce koz bez suplementace potvrzují, že v České republice jsou půdy chudé na jod. Také Paulíková et al. (2008) se zabývali obsahem jodu v kozím mléce. Analyzovali vzorky kozích mlék mezi lety 2002 až 2007 v několika regionech Slovenska. Zjištěný obsah jodu v mléce koz se pohyboval v rozmezí 45,4 a 146,0 $\mu\text{g/l}$, v průměru byl obsah jodu v mléce koz $73,7 \pm 28,6 \mu\text{g/l}$. Rovněž bylo zjištěno, že 37,5 % vzorků kozího mléka obsahoval jod pod 60 $\mu\text{g/l}$, což dle Paulíková et al. (2008) značí nedostatečnou koncentraci jodu v kozím mléce.

Nejen množstvím jodu obsaženém v mléce koz, ale také množstvím jodu obsaženém v mléce ovcí se zabývali Trávníček a Kursá (2001). V rámci studie bylo analyzováno ovčí mléko z 60 farem nacházejících se v jižních Čechách. Vzorky byly odebírány mezi lety 1998 a 1999 od ovcí v různém věku a různém stádiu laktace. Obsah jodu v ovčím mléce byl $47,9 \pm 27,8 \mu\text{g/l}$ bez suplementace jodu. V případě, že byl na ovčí farmě přístup k minerálnímu lizu, obsah jodu byl v ovčím mléce zřetelně vyšší, a to $243,3 \pm 87,2 \mu\text{g/l}$. Obsahem jodu v mléce ovcí se také

zabývali Rozenská et al. (2011). K analýze použili vzorky mlék ze 6 farem nacházejících se ve středních a východních Čechách. Vzorky byly odebírány jednou měsíčně mezi roky 2006 a 2007 z malých rodinných farem (4 chovy) a také z velkochovů (2 chovy). Zjištěné průměrné hodnoty obsahu jodu v ovčím mléce z malých rodinných farem byly $47,99 \pm 13,24 \mu\text{g}/\text{kg}$. Obsah jodu v ovčím mléce z komerčních chovů byl vyšší, a to $576,7 \pm 261,2 \mu\text{g}/\text{kg}$. Vyšší hodnoty jodu obsažené v mléce z komerčních chovů mohly být zapříčiněny použitím minerálních lizů v jednom z analyzovaných chovů.

3.7.2 Výživa

Příjem jodu v krmivu je nejdůležitějším faktorem ovlivňujícím obsah jodu v mléce a mléčných výrobcích (Flachowsky et al. 2014), což potvrzuje i fakt, že o něm pojednává několik tuzemských i zahraničních studií. Jak již bylo uvedeno v kapitole 3.4.2, obsah jodu v objemných a jadrných krmivech není na území České republiky dostatečný (Trávníček et al. 2011; Trávníček et al. 2013). S čímž souhlasí i Borucki Castro et al. (2011), kteří se zabývali obsahem jodu v různých druzích krmiv dojnic z farem v Kanadě. Obsah jodu zkoumali v senu, kukuřičné siláži, sójových produktech a ve smíšené siláži, která obsahovala traviny a luštěniny. Nejvyšší hodnoty jodu byly zaznamenány ve smíšené siláži, která obsahovala v průměru $156 \mu\text{g}/\text{kg}$ sušiny. Naproti tomu nejnižší obsah jodu byl zjištěn v sójových produktech, a to v průměru $101 \mu\text{g}/\text{kg}$ sušiny. Ostatní krmiva se pohybovala mezi těmito hodnotami. Borucki Castro et al. (2011) v rámci své studie také uvedli, že rostlinný druh, klimatické nebo geologické podmínky, patří mezi stěžejní faktory, které ovlivňují obsah jodu v různých krmivech. Díky těmto faktorům je obsah jodu v rostlinách značně variabilní. Závěrem bylo v této studii stanoveno, že získané průměrné hodnoty obsahu jodu v testovaných krmivech by dodaly dojnícím pouze 17 % potřebného jodu. Je tedy patrné, že obsah jodu v krmivech je nedostačující, tudíž je nutná suplementace jodu.

Doplňkové zdroje jodu v krmné dávce

Při suplementaci jodu do krmné dávky musí být prvotně zvážena forma jodu, která bude dojnícím suplementována. Používat lze anorganické či organické sloučeniny jodu, kdy každá z nich má rozdílnou účinnost na obsah jodu v mléce a mléčných výrobcích. Dle nařízení Komise (ES) č. 1459/2005 lze použít jod jako doplňkovou látku v krmivu v těchto formách:

- 1) jodičnan vápenatý, hexahydrát,
- 2) jodičnan vápenatý, bezvodný,
- 3) jodid sodný,
- 4) jodid draselný.

Jak je patrné z nařízení Komise (ES) č. 1459/2005, jodičnany a jodidy jsou anorganické sloučeniny jodu, které lze doplnit do krmiva (Trávníček et al. 2011). Jodičnany jsou silně oxidační činidla, na rozdíl od jodidů, které jsou silně redukční. Je známo, že v potravinách obsahující jod a jeho soli, mohou probíhat ve větší míře zvýšené oxidační reakce, čímž se snižuje trvanlivost a biologická dostupnost nejen jodu, ale i dalších nutričně důležitých látek. Což není problém pouze v rámci potravin, ale i v rámci krmiv, kde použití jodičnanů a jodidů

může vést k horší trvanlivosti krmiva. Vhodný výběr formy jodu je tak jeden z faktorů, který se podepisuje na kvalitě a trvanlivosti krmné dávky (Winger et al. 2008). Z anorganických sloučenin jodu je v dnešní době nejvyužívanější jodičnan vápenatý (Trávníček et al. 2011).

Vliv různých anorganických sloučenin jodu na obsah jodu v mléce zkoumal Franke et al. (2009). Cílem této studie bylo zjistit vliv hexahydrátu jodičnanu vápenatého a jodidu draselného na obsah jodu v mléce. Stádo dojníc, kterým bylo zkrmováno krmivo DDGS (Distillers Dried Grains with Solubles), tedy lihovarské výpalky s rozpustnými látkami, bylo rozděleno na dvě skupiny. První skupině dojníc byl ke krmné dávce přidán jod ve formě hexahydrátu jodičnanu vápenatého a druhé skupině dojníc byl ke krmivu přidán jod ve formě jodidu draselného. Z výsledků v **Tabulce 8** je patrné, že mléko pocházející od dojníc, kterým byla krmná dávka obohacovaná jodem ve formě hexahydrátu jodičnanu vápenatého, obsahuje větší množství jodu než mléko pocházející od dojníc, kterým byla krmná dávka obohacena o jodid draselný.

Tabulka 8 Vliv formy a množství jodu na obsah jodu v mléce (µg/kg)

Množství suplementace	Množství jodu v mléce po suplementaci jodidu draselného	Množství jodu v mléce po suplementaci hexahydrátu jodičnanu vápenatého
0 (mg/kg sušiny)	83 ± 5 µg/kg	72 ± 3 µg/kg
0,5 (mg/kg sušiny)	158 ± 8 µg/kg	188 ± 9 µg/kg
1 (mg/kg sušiny)	214 ± 12 µg/kg	231 ± 14 µg/kg
2 (mg/kg sušiny)	550 ± 28 µg/kg	584 ± 30 µg/kg
3 (mg/kg sušiny)	638 ± 39 µg/kg	930 ± 44 µg/kg
4 (mg/kg sušiny)	1085 ± 54 µg/kg	1188 ± 50 µg/kg
5 (mg/kg sušiny)	1464 ± 67 µg/kg	1578 ± 52 µg/kg

Zdroj: Franke et al. (2009), upraveno autorem

Mezi nejběžnějšími doplňkové zdroje anorganických sloučenin jodu v krmné dávce patří minerálně vitaminové směsi, premixi mikro a makroprvků a minerální krmné přísady (MKP). Obsah jodu v minerálních krmných přísadách, které jsou v České republice nabízeny, se pohybuje v rozmezí 39 až 400 mg/kg. Mezi minerální krmné přísady využívané v České republice můžeme zařadit například NutriMix s obsahem jodu 105 mg/kg doplňku (forma jodu neuvědlena), Camisan s obsahem jodu 400 mg/kg doplňku (forma jodu neuvědlena) (**Obrázek 4**) či GIM-2006 Plus s obsahem jodu 100-250 mg/kg doplňku (forma jodu neuvědlena). Uvedené doplňky minerálních látek se používají převážně ve velkokapacitních chovech pro pokrytí všech nepostradatelných mikro a makroprvků (Trávníček et al. 2011). Prostřednictvím minerálních lizů se doplňují i další minerální látky do krmné dávky, a to selen, zinek, měď či mangan (Krys et al. 2009).



Obrázek 4 Minerální doplněk NutriMix a Camisan (Zdroj: nutrimix.cz; sano.cz)

Na využití doplňkových zdrojů jodu se zaměřuje i několik vědeckých publikací. Śliwiński et al. (2015) se zabývali vlivem solných lizů s obsahem jodu na koncentraci jodu v mléce. Analýzu mlék dojnic prováděli u dojnic plemene holštýn v Polsku. Základní krmná dávka dojnic obsahovala množství jodu 0,25 mg/kg. Dvě ze tří skupin dojnic měly kromě základní krmné dávky přístup k solným lizům obsahujícím jod v množství 150 mg/kg a 300 mg/kg. Rovněž byla testována kontrolní skupina bez přístupu k solnému lizu. Solné lizy s obsahem jodu 150 mg/kg a 300 mg/kg zajišťovaly dojnicím suplementaci jodu mezi 7,5 a 15 mg/den. Na konci experimentu byl obsah jodu v mléce u kontrolní skupiny bez suplementace jodu pouze 53,8 µg/l. U dojnic se suplementací solného lizu s obsahem jodu 150 mg/kg, se zvýšil obsah jodu v mléce o 11,2 µg/l oproti dojnicím bez suplementace, a to v průměru na 65,0 µg/l. U dojnic se suplementací jodu v podobě solného lizu s obsahem jodu 300 mg/kg, se zvýšil obsah jodu v mléce o 30,9 µg/l oproti dojnicím bez suplementace, a to v průměru na 84,7 µg/l. Z výsledků je patrné, že je zapotřebí doplňovat jod do krmné dávky dojnic, například právě v podobě solných lizů.

Jod lze také suplementovat pomocí organických sloučenin jodu. Mezi organické sloučeniny používané k suplementaci jodu lze zařadit jodované nenasycené MK, EDDI (etylendiamindihydrojodid), sladkovodní či mořské řasy, a také jodované tuky. Nejpoužívanější organickou sloučeninou jodu je v dnešní době EDDI (Trávníček et al. 2011).

Na nejpoužívanější organickou sloučeninu jodu se zaměřili Weiss et al. (2015). Obsah jodu v mléce po suplementaci EDDI byl zkoumán u dojnic holštýnského plemene, u kterých byl obsah jodu v mléce na začátku experimentu v průměru 272 µg/l (bez jakékoliv suplementace jodu). Poté byl dojnicím přidáván do krmné dávky EDDI, který doplnil krmnou dávku o jod

v množství 0,5 a 2,0 mg/kg. Krmná dávka dojníc také obsahovala řepkový extrahovaný šrot, tudíž glukosinoláty, v množství 0 %, 3,9 % a 13,9 %. Obsah jodu v mléce po suplementaci EDDI je patrný z **Tabulky 9**. Nejvyšší obsah jodu v mléce lze pozorovat u dojníc po suplementaci jodu 2,0 mg/kg a při absenci řepkového extrahovaného šrotu v krmné dávce. Naproti tomu nejnižší hodnoty jodu v mléce lze pozorovat u dojníc po suplementaci jodu 0,5 mg/kg a při obsahu řepkového extrahovaného šrotu v krmné dávce 13,9 %. Z výsledků je patrné, že nezáleží pouze na množství suplementace, ale také na obsahu glukosinolátů, které snižují vychytávání jodu štítnou i mléčnou žlázou.

Tabulka 9 Obsah jodu v mléce (µg/l) po suplementaci EDDI a rozdílného množství řepkového extrahovaného šrotu v krmné dávce

Obsah řepkového extrahovaného šrotu	EDDI se suplementací jodu v množství 0,5 mg/kg	EDDI se suplementací jodu v množství 2,0 mg/kg
0 %	358 µg l/l	733 µg l/l
3,9 %	289 µg l/l	524 µg l/l
13,9 %	169 µg l/l	408 µg l/l

Zdroj: Weiss et al. (2015), upraveno autorem

Další organickou formou jodu, kterou je hnědá řasa *Acophyllum nodosum*, se zabývali Antay et al. (2019). První skupina dojníc měla krmnou dávku neobohacenou o hnědou řasu a druhá skupina dojníc měla krmnou dávku obohacenou o 113 mg/dojnice/den hnědé řasy. Obsah jodu v mléce byl sledován po tři období, kdy v prvním období byl obsah jodu v mléce u první skupiny 140 µg/l a u druhé skupiny 416 µg/l. Ve druhém období byl obsah jodu v mléce u první skupiny 111 µg/l a u druhé skupiny 579 µg/l. Ve třetím období byl obsah jodu v mléce u první 102 µg/l a u druhé skupiny 447 µg/l. Z výsledků je patrné, že zařazení hnědé řasy *Acophyllum nodosum* do krmné dávky dojníc má značný vliv na obsah jodu v mléce. Kolísavé hodnoty mezi obdobími autoři připisují rozdílné krmné dávce s jiným množstvím glukosinolátů. Avšak autoři zde také poznamenali, že v případě zkrmování hnědých řas *Acophyllum nodosum* je nutné dbát zvýšení pozornosti, co se překročení povolených hodnot jodu v krmné dávce týče. Překročení může ovlivnit nejen zdraví dojníc, ale i zdraví konzumenta mléka.

Strumigenní látky a jejich negativní vliv na obsah jodu v mléce

Nejvýznamnější vliv na obsah jodu v rostlinných krmivech a následném obsahu jodu v mléce a mléčných výrobcích mají strumigenní látky. Strumigenní látky jsou přirozeně vyskytující se látky v rostlinných produktech, které mohou narušovat normální funkci štítné žlázy (Van der Reijden et al. 2017). Strumigenní látky mohou zabraňovat štítné žláze vytvářet dostatečné množství trijodtyroninu a tyroxinu, mohou ovlivňovat absorpci jodu ve štítné žláze nebo oxidaci jodidu na elementární jod a následný přenos do tyreoglobulinu (Flachowsky et al. 2014). Mezi strumigenní látky lze zařadit dusičnany, dusitany, thiokyanáty, chlorečnany, chloristany, izoflavony, glukosinoláty a další (Trávníček et al. 2011; Kroupová et al. 2013).

Největší vliv na obsah jodu v mléce mají glukosinoláty, které jsou obsažené v rostlinách čeledi brukvovité, zkrmuující se běžně dojnícím. Glukosinoláty obsahují látky, které snižují vychytávání jodu štítnou a také mléčnou žlázou. Mezi rostliny obsahující glukosinoláty patří například brukev řepka, kapusta, sója či některé druhy jetele. I přestože se v důsledku šlechtění rostlin snížil obsah glukosinolátů u odrůd řepky v Evropě až o čtyři pětiny (Flachowsky et al. 2014). Je tedy zapotřebí množství hlavní bílkovinné části krmné dávky, extrahovaného řepkového šrotu, zvažovat. Doporučený maximální příjem extrahovaného řepkového šrotu je 2,5 kg/dojnice/den, v němž je obsah glukosinolátů maximálně 220 mol/kg (Zukalová a Vašák 2001).

Trávníček et al. (2011) také uvádí, že glukosinoláty lze rozdělit do dvou skupin. První skupinou jsou sloučeniny odvozené od thiokyanátu a isothiokyanátu a druhou skupinou je goitrin. Sloučeniny odvozené od thiokyanátu a isothiokyanátu primárně zabraňují hromadění jodidu a jejich účinek lze zvrátit podáváním vyššího množství jodu, zatímco goitrin negativně ovlivňuje tyreoperoxidázu, která zajišťuje oxidaci jodidu a jodaci vybraných tyrosylových skupin. Antityreodální účinek goitrinu je nezvratný a nelze jej kompenzovat vyšší suplementací jodu (Vanderpas 2003).

Koncentrací jodu v mléce po přidání řepkových pokrutin do krmné dávky dojníc se zabývali Hejtmánková et al. (2006). Sledovali koncentraci jodu v mléce ze sedmi farem v severních a středních Čechách. Významně nižší koncentrace jodu v mléce se zjistila u dojníc krmných krmivem s řepkovými pokrutinami než u dojníc bez přidání řepkových pokrutin do krmné dávky. Studie ukázala, že na farmě, kde nebyly do krmiva přidány řepkové pokrutiny, byl obsah jodu v mléce průměrně $425,0 \pm 74,1$ $\mu\text{g}/\text{kg}$. Na farmách, kde řepkové pokrutiny byly zahrnuty do krmiva, se obsah jodu v mléce pohyboval v rozmezí od 34,8 do 323,9 $\mu\text{g}/\text{kg}$.

Křížová et al. (2016a) se také zabývali účinky strumigenních látek působících na obsah jodu v mléce dojníc. Dojnícím byl po dobu pěti měsíců přidáván do krmné dávky extrahovaný řepkový šrot v množství 4,7 kg/dojnice/den. Po zkrmování extrahovaného řepkového šrotu byl zjištěn jeho negativní vliv na koncentraci jodu v mléce dojníc. Koncentrace jodu v mléce při zkrmování extrahovaného řepkového šrotu byla pod 100 $\mu\text{g}/\text{l}$, avšak fyziologické rozhraní jodu v mléce se pohybuje v rozmezí od 100 do 200 $\mu\text{g}/\text{l}$.

Rovněž Trávníček et al. (2011) uvádí, že thiokyanáty a dusičnany zvyšují vylučování jodu ledvinami, což snižuje vylučování jodu mléčnou žlázou. Jako rizikové množství se označuje obsah dusičnanů v krmivu nad 10 g/kg při přijímání jodu v množství 0,2 mg/kg. Také izoflavony, nacházející se v sójových produktech zkrmovaných dojnícím, ovlivňují obsah jodu v organismu a tím následně obsah jodu v mléce. Izoflavony blokují tyreoidální peroxidázu, která se účastní syntézy hormonů štítné žlázy, obdobě tomu tak je i u huminových kyselin, jež jsou součástí půdy a pitné vody.

3.7.3 Obsah selenu

Selen je důležitý stopový prvek pro metabolismus jodu v organismu, jelikož je nepostradatelnou součástí enzymů, které se podílejí na tvorbě hormonů štítné žlázy a jejich

odbourávání z lidského organismu (Zamrazil a Čeřovská 2014). Také ovlivňuje poměr tyroxinu a trijodtyroninu (Moschini et al. 2010).

Doporučený obsah selenu v krmné dávce dojníc je 0,568 mg/kg. Tyto hodnoty jsou stanoveny pro Evropskou Unii, například v USA je stanoven doporučený obsah selenu nižší, a to 0,3 mg/kg (Phipps et al. 2008). Optimální úroveň obsahu selenu v mléce podle Trávníček et al. (2006) se pohybuje mezi 20 a 50 µg/l.

Obsah selenu v bazénových vzorcích mlék sledovali Trávníček et al. (2006) v 16 okresech České republiky, ze kterých bylo pro analýzu vybráno 86 farem. Obsah selenu byl stanovován metodou ICP-MS, která byla popsána již v kapitole 3.5. Průměrný obsah selenu v mléce byl $13,6 \pm 3,4$ µg/l, což jsou hodnoty, které nedosahují optimální úrovně saturace dojnice selenem. Z výsledků je patrné, že pouze 8,3 % farem dosahovalo optimálního obsahu selenu v mléce a zbylých 91,7 % farem bylo pod spodní hranicí obsahu selenu v mléce. Z analýzy vyplývá, že je nutné suplementovat nejen jod, ale i selen do krmné dávky dojníc.

Selen se suplementuje do krmné dávky dojníc v organické či anorganické formě. Jako organická forma selenu se pro suplementaci používají kvasnice obohacené o selen, kde převládající formou selenu je selenomethionin. Anorganickou formou selenu využívanou pro jeho suplementaci jsou seleničitan sodný či selenan sodný (Phipps et al. 2008). Weiss & Hogan (2005) se zabývali koncentracemi selenu v mléce a mlezivu pocházející z anorganické či organické formy. Zjistili, že při zkrmování kvasnic obohacených o selen byly hodnoty selenu v mléce a mlezivu přibližně 1,8krát vyšší než při suplementaci krmné dávky selenanem sodným. Problematikou využitelnosti selenu se také zabývali Muñiz-Naveiro et al. (2005), kteří zjistili značnou rozdílnost koncentrace selenu ve vzorcích mlék již od 5 dne zkrmování rozdílných forem selenu. Dojnícím bylo podáváno stejné množství selenu (0,3 µg/g) ve dvou formách, a to jako kvasnice obohacené o selen nebo jako seleničitan sodný. Koncentrace selenu v mléce byla při zkrmování kvasnicemi obohacenými o selen vyšší ($30,0 \pm 0,7$ µg/l) než při zkrmování seleničitanu sodného ($23,6 \pm 0,4$ µg/l).

3.7.4 Dezinfekční prostředky

Obsah jodu v mléce může být také ovlivněn použitými dezinfekčními prostředky, které slouží k dezinfekci struků ať už před dojením, tak po dojení či dezinfekčními prostředky, které se používají pro výplach dělohy nebo k dezinfekci dojícího zařízení (Knowles et al. 1997; Trávníček et al. 2011). Z tohoto důvodu některé země v dnešní době přecházejí při dezinfekci struků na přípravky, které jod neobsahují. Mezi dezinfekční přípravky bez jodu můžeme zařadit například chlorhexidin, panthenol či glycerin (Flachowsky et al. 2014).

Trávníček et al. (2011) uvádí příklady používaných dezinfekčních prostředků obsahujících jod v České republice k ošetření mléčné žlázy dojnice. Mezi používané dezinfekční prostředky k ošetření mléčné žlázy patří například Mikasan JD (<4 % jodu) působící na plísně, houby a viry, Kenostart (3000 ppm jodu, parts per million) nebo Dezi JODIN (<3 % jodu) používané po dojení. Také uvádí příklady používaných veterinárních přípravků obsahujících jod. Mezi takové přípravky patří například Alfadin (10 % jodu) či Betadine

(10 % jodu), které slouží jako povrchová dezinfekce, či Mastimol medikamenta (6,5 % jodu) používaný při mastitidách, nekrotázách kůže či abscesech.

Vlivem rozdílných dezinfekčních prostředků s obsahem jodu se zabývali French et al. (2016). Ve své práci se zaměřili na rozdíly mezi prostředky k ošetření struků mléčné žlázy a na vliv jejich rozdílného použití na obsah jodu v mléce. V rámci studie byly použity k ošetření dojnic post-dip ve formě tekutého dezinfekčního prostředku pro namáčení struků a post-dip ve formě spreje. Post-dip ve formě tekutého dezinfekčního prostředku pro namáčení struků byl použit s koncentrací jodu 0,25 % a 0,5 %, zatímco post-dip ve formě spreje byl použit pouze s koncentrací jodu 0,25 %. Použití post-dipů bylo srovnáváno s kontrolní skupinou, u které byl použit post-dip na bázi peroxidu vodíku. Obsah jodu v mléce u kontrolní skupiny byl průměrně 148 $\mu\text{g/l}$, obsah jodu v mléce u skupiny ošetřené post-dipem v tekuté formě s koncentrací jodu 0,25 % byl průměrně 157 $\mu\text{g/l}$ a s koncentrací jodu 0,5 % byl 177 $\mu\text{g/l}$. U dojnic ošetřených post-dipem ve spreji s koncentrací jodu 0,25 %, byl obsah jodu v mléce v průměru 178 $\mu\text{g/l}$. Z výsledků jsou patrné rozdílné hodnoty jodu po použití různých post-dipů, kdy nejvyšší hodnoty jodu v mléce vykazuje mléko po použití post-dipu ve formě spreje. Vyšší obsah jodu v mléce po použití post-dipu ve formě spreje je zřejmě zapříčiněn větší plochou ošetření struku, a tím zvýšení vstřebaného množství jodu. Viditelný rozdíl ošetření mléčné žlázy lze spatřit na **Obrázku 5**, kdy v horní řadě je zobrazeno použití post-dipu ve formě spreje a v dolní řadě použití post-dipu v tekuté formě pomocí namáčení.



Obrázek 5 Ošetření mléčné žlázy různými druhy post-dipů (Zdroj: Borucki Castro et al. 2012)

Účinek použití post-dipu na obsah jodu v mléce dojníc zkoumal i Flachowsky et al. (2007). K ošetření struků dojníc byl použit roztok s obsahem Nonoxinol(9)-jod s koncentrací jodu 3 g/kg. Studie vlivu post-dipu byla prováděna u dojníc v pozdní laktaci. Obsah jodu v mléce bez použití post-dipu byl $100 \pm 23 \mu\text{g/kg}$. Po použití post-dipu s obsahem jodu se koncentrace jodu v mléce zvýšila na $154 \pm 42 \mu\text{g/kg}$. Ze studie je patrné, že aplikace post-dipu s obsahem jodu významně zvýšila koncentraci jodu v mléce, a to v průměru o $54 \mu\text{g/kg}$. Taktéž ve své studii porovnávali nejen různé obsahy jodu v dezinfekčních prostředcích, ale i také jejich zařazení během dojení. Porovnávány byly následující obsahy 1; 2,7; 3; 5 a 10 g/l. Dezinfekční prostředky byly aplikovány jako pre-dipy a post-dipy. Z výsledků v **Tabulce 10** je patrné největší zvýšení obsahu jodu v mléce u dezinfekčního prostředku s obsahem jodu 10 g/l a při použití jako pre-dip i post-dip. Naproti tomu nejmenší zvýšení obsahu jodu v mléce bylo pozorováno u dezinfekčního prostředku s obsahem jodu 2,7 g/l, který byl použit pouze jako pre-dip. Také je z tabulky patrné, že více ovlivňuje obsah jodu v mléce post-dip než pre-dip.

Tabulka 10 Vliv koncentrace dezinfekčních prostředků na obsah jodu v mléce

Koncentrace jodu v dezinfekčním prostředku (g/l)	Aplikace dezinfekčního prostředku	Zvýšení koncentrace jodu v mléce ($\mu\text{g/kg}$)
1 g/l	Post-dip	35 $\mu\text{g/kg}$
2,7 g/l	Pre-dip	30 $\mu\text{g/kg}$
3 g/l	Post-dip	54 $\mu\text{g/kg}$
5 g/l	Post-dip	27-120 $\mu\text{g/kg}$
10 g/l	Post-dip	46-90 $\mu\text{g/kg}$
10 g/l	Pre-dip a post-dip	110-150 $\mu\text{g/kg}$

Zdroj: Flachowsky et al. (2007), upraveno autorem

3.7.5 Způsob chovu

Způsob chovu taktéž může ovlivnit obsah jodu v mléce. Rozdíly mezi koncentrací jodu v mléce z ekologického zemědělství a koncentrací jodu v mléce z konvenčního zemědělství byly potvrzeny vědeckými studiemi. Různorodý obsah jodu v mléce pocházející od dojníc z ekologického zemědělství, nebo od dojníc z konvenčního zemědělství může být zapříčiněn rozdílným způsobem krmení, včetně, rozdílného použití minerálních směsí obsahujících jod, a také očišťováním struků pomocí různých dezinfekčních prostředků obsahujících jod (Flachowsky et al. 2014). Norouzian & Azizi (2013) uvádí, že předpisy o ekologickém zemědělství neumožňují použití minerálních a vitaminových přípravků právě v ekologickém zemědělství. Taktéž uvádějí, že nejméně 60 % krmiva podávaného dojnícím musí být čerstvá nebo konzervovaná píče. Z toho vyplývá, že se u ekologicky chovaných dojníc může vyskytnout nedostatek jodu, který se následně odráží do mléka.

Köhler et al. (2012) prováděli studii, která se zabývala koncentrací jodu ve vzorcích mlék z konvenčních a ekologických chovů v Německu. Studie byla prováděna vždy v měsících březem

a listopad mezi roky 2007 a 2011. K analýze bylo použito 165 vzorků mlék. Obsah jodu ve vzorcích byl stanoven metodou ICP-MS. Z analýzy vzorků bylo zjištěno, že mléko z ekologických chovů obsahuje nižší koncentraci jodu než mléko z konvenčních chovů. Obsah jodu v mléce z ekologických chovů se průměrně pohyboval v rozmezí 90-100 µg/l a obsah jodu z konvenčních chovů se průměrně pohyboval v rozmezí 140-150 µg/l.

Koncentrací jodu v mléce z ekologického a konvenčního chovu ve Velké Británii se zabývali Bath et al. (2012). Zaměřovali se na srovnání koncentrace jodu ve vzorcích mlék z šestnácti oblastí Velké Británie v letním období. Analýze se podrobilo 92 vzorků z ekologických chovů a 80 vzorků mlék z konvenčních chovů. Průměrná koncentrace jodu v mléce z ekologických chovů byla o 42,1 % nižší než průměrná koncentrace jodu v mléce z konvenčních chovů, což potvrzuje výsledky studií uvedených výše. Tuto skutečnost potvrdil i Payling et al. (2015), který se se svým vědeckým týmem zaměřil také na sledování obsahu jodu v mléku od dojníc z ekologického a konvenčního zemědělství ve Velké Británii. Z výsledků jejich analýzy vyplývá, že koncentrace jodu v mlékách z konvenčních chovů byla o 35,5 % vyšší než u mlék z ekologických chovů. Mléko z ekologických chovů se stává v dnešní době populárnější, než tomu bylo doposud. Je to zapříčiněno potencionálními přínosy pro zdraví a také vztahem k životnímu prostředí. Jelikož mléko pocházející od dojníc z ekologických chovů obsahuje menší množství jodu, je zapotřebí aby lidé, kteří konzumují mléko z ekologického chovu, mysleli na dostatečný příjem jodu z alternativních zdrojů (Bath et al. 2012).

3.7.6 Tepelné ošetření

Jod se v mléce dojníc nachází až z 90 % ve volné formě. Takto vysoké množství jodu ve volné formě společně s jeho sublimační vlastností vede ke snižování jodu během tepelného ošetření. Kromě pasterace snižuje obsah jodu v mléce také válečkové a sprejové sušení mléka (Norouzian 2011).

Nazeri et al. (2015) se ve své studii zabývali vlivem tepelného ošetření na obsah jodu v mléce. Zkoumali dva druhy záhřevu, a to sterilaci ultra vysokou teplotou (UHT), což je tepelné ošetření nad 135 °C po dobu delší než 1 s, a také šetrnou pasteraci, kde uvádí zahřátí mléka na 72 °C po dobu 15 sekund. Tepelné ošetření mléka pomocí sterilace zvýšilo obsah jodu v mléce ve srovnání s mlékem syrovým. Obsah jodu ve sterilizovaném mléce byl $327,10 \pm 100,7$ µg/l a obsah jodu v syrovém mléce byl $309,4 \pm 100,57$ µg/l. Naopak proces pasterace snížil obsah jodu v mléce v porovnání se syrovým mlékem. Obsah jodu v pasterovaném mléce byl $67,4 \pm 12,4$ µg/l a obsah jodu v syrovém mléce byla $142,6 \pm 22,5$ µg/l. Vyšší hodnoty jodu ve sterilizovaném mléce lze částečně vysvětlit kondenzací a snížením objemu mléka v důsledku vysoké teploty při sterilizaci ve srovnání s pasterací. Vlivem UHT ošetření se zabýval Walther et al. (2018), který došel k odlišným výsledkům než Nazeri et al. (2015). Surové mléko, které bylo podrobena analýze, obsahovalo jod v množství 95 ± 23 µg/l a obsah jodu po UHT ošetření byl 95 ± 25 µg/l. Z jeho výsledků je tedy patrné, že UHT ošetření nemělo vliv na obsah jodu v mléce.

Vlivem pasterace a suplementace jodu na množství jodu v mléce se zabýval také Norouzian (2011). Ten se zaměřil na vliv šetrné pasterace, zahřátí mléka na 72 °C po dobu

15 sekund, na obsah jodu v mléce. Dojnice byly rozděleny do čtyř skupin podle množství suplementace jodu, a to na bez suplementace, kdy základní krmná dávka obsahovala 0,534 mg jodu/kg, a se suplementací jodidu draselného v množství 2,5 mg/kg, 5 mg/kg a 7,5 mg/kg. Obsah jodu v syrovém mléce těchto skupin byl 162,2 µg/l, 534,5 µg/l, 559,8 µg/l a 607,5 µg/l. Po pasteraci se obsah jodu snížil o 27,4 %, a to na 101,4 µg/l, 381,2 µg/l, 415,2 µg/l a 500,2 µg/l, což je způsobeno sublimací jodu během záhřevu.

3.7.7 Zpracování mléka a mléčných produktů

Payling et al. (2015) se zaměřili na studium obsahu jodu u konzumních mlék dle jejich tučnosti. V rámci pokusu bylo testováno plnotučné, polotučné a odstředění mléko. Rovněž v této studii podchytili vliv ekologického a konvenčního zemědělství. Průměrný obsah jodu v mlékách z konvenčních chovů byl v plnotučném mléce $577,8 \pm 53,1$ µg/l, v polotučném mléce $572,8 \pm 14,1$ µg/l a v odstředěném mléce $635,5 \pm 77,4$ µg/l. Průměrný obsah jodu v mlékách z ekologických chovů byl v plnotučném mléce $399,2 \pm 48,9$ µg/l, v polotučném mléce $436,5 \pm 19,8$ µg/l a v odstředěném mléce $325,5 \pm 12,5$ µg/l. Z výsledků je patrný rozdílný obsah jodu v závislosti na tučnosti mléka. Obdobnou studii zpracoval Soriguer et al. (2011) ve Španělsku, kde do pokusu bylo rovněž zařazeno plnotučné, polotučné a odstředění mléko. Nehledě na lokalitě byl obsah jodu v plnotučném mléce v průměru 251 ± 61 µg/l, v polotučném mléce 254 ± 57 µg/l a v odstředěném mléce byl obsah jodu v průměru 273 ± 52 µg/l. Z výsledků je patrný vyšší obsah jodu v odtučněném mléce a téměř žádný rozdíl v obsahu jodu mezi plnotučným a polotučným mlékem. Ze studií je patrné, že nejvyšší obsah jodu byl zaznamenán v odstředěném mléce, naproti tomu nejnižší obsah jodu v mléce byl zaznamenán v polotučném mléce. S tímto se neshoduje pouze mléko z ekologických chovů, kde nejvyšší obsah jodu byl v mléce polotučném a nejnižší obsah jodu byl zaznamenán v mléce odstředěném.

Změnou obsahu jodu při výrobě jogurtu a sýrů se zabývali Van Der Reijden et al. (2019). Studie byla prováděna v roce 2016 v Itálii, kde byl zkoumán obsah jodu v různých fázích výroby jednotlivých výrobků. Vyráběnými výrobky byly sýry Fontina (polotvrdý sýr), Toma (polotvrdý sýr), Tomino (čerstvý sýr), Reblec (čerstvý sýr) a bílý jogurt. Sledované hodnoty v různých typech sýrů a jogurtu jsou uvedeny po suplementaci jodu 1 mg/kg sušiny krmné dávky. Rozdílné hodnoty jodu v mléce na začátku výroby jednotlivých výrobků jsou dány použitím totožného mléka s rozdílnou úpravou. U sýru Fontina byl průměrný obsah jodu v mléce 78 µg/l (syrové mléko), v syrovátce 63 µg/kg a ve sraženině 187 µg/kg. Po 24 hodinách od lisování byl obsah jodu v sýru 190 µg/kg a po 84 dnech zrání byl obsah jodu ve výrobku 189 µg/kg. U sýru Tomo byl průměrný obsah jodu v mléce 79 µg/l (syrové mléko a částečně odstředěné mléko v poměru 1:1), v syrovátce 74 µg/kg a ve sraženině 124 µg/kg. Po 24 hodinách od lisování byl obsah jodu v sýru 126 µg/kg a po 56 dnech zrání byl obsah jodu ve výrobku 113 µg/kg. U sýru Tomino byl průměrný obsah jodu v mléce 92 µg/l (pasterované plnotučné mléko s přísadkou soli), v syrovátce 72 µg/kg a v hotovém výrobku 84 µg/kg. U sýru Reblec byl průměrný obsah jodu v mléce 82 µg/l (pasterované plnotučné mléko), v syrovátce 83 µg/kg a v hotovém výrobku 79 µg/kg. U bílého jogurtu se hodnota jodu v mléce pohybovala v průměru 58 µg/l

(pasterované mléko) a v hotovém výrobku byl obsah jodu v průměru 64 µg/kg. Během experimentu bylo zjištěno, že většina jodu obsaženého v mléce odchází do syrovátky, a to více než 75 %. Z toho vyplývá, že obsah jodu v sýru byl pod 25 % původního obsahu. I přes tyto nízké hodnoty obsahu jodu v sýru, se během výroby, v důsledku ztráty vlhkosti, obsah jodu ve finálním produktu zvýšil.

Obsahem jodu v různých typech sýrů a použití jodizované soli v průběhu výroby se zabývali Haldimann et al. (2019). K analýze byly použity tvrdé (Gruyère), polotvrdé (Týlžský sýr) a měkké (Camembert) sýry vyrobené ve Švýcarsku. Obsah jodu u sýrů, kde nebyla použita jodizovaná sůl byl u Gruyère $35 \pm 1,5$ µg/l, u Týlžského sýru $30 \pm 0,2$ µg/l a u Camembertu $57 \pm 0,8$ µg/l. Obsah jodu v sýrech při použití jodizované soli při výrobě sýrů byl u Gruyère 409 ± 17 µg/l, u Týlžského sýru 474 ± 23 µg/l a u Camembertu 445 ± 89 µg/l. Vyšší obsah jodu v sýru Camembert, který nebyl ošetřen jodizovanou solí, může být vysvětlen růstem plísní, což zvyšuje obsah sušiny. Množství jodu obsaženého v sýrech, bez ošetření jodizovanou solí, je téměř totožné s obsahem jodu v mléce, ze kterého jsou sýry vyráběné. Z výsledků je patrné, že použitím jodizované soli při výrobě sýrů se obsah jodu v sýrech výrazně zvýšil. To přispělo k lepšímu zásobení jodem Švýcarské populace o 20,3 až 29,2 µg/den, při konzumaci těchto sýrů.

3.7.8 Roční období

Jak prokázali Hejtmánková et al. (2006) obsah jodu může ovlivnit i samotné roční období. Výzkumný kolektiv sledoval koncentraci jodu obsaženého ve vzorcích mlék ze sedmi farem ve středních a severních Čechách během letního a zimního období. Měření v letním období probíhala od dubna do září a měření v zimním období probíhala od října do března. Jak je patrné z **Tabulky 11**, obsah jodu v mléce dojníc v letním období je nižší naproti obsahu jodu v mléce dojníc v zimním období. Lze předpokládat, že nižší hodnoty v letních měsících jsou zapříčiněné zkrmováním čerstvého krmiva, které obsahuje strumigenní látky, které obsah jodu v mléce snižují.

Tabulka 11 Průměrný obsah jodu v mléce v letním a zimním období ($\mu\text{g}/\text{kg}$)

	Průměrný obsah jodu v mléce v letním období	Průměrný obsah jodu v mléce v zimním období
Farma 1	153,1 \pm 44,6 $\mu\text{g}/\text{kg}$	186,8 \pm 28,5 $\mu\text{g}/\text{kg}$
Farma 2	202,2 \pm 53,3 $\mu\text{g}/\text{kg}$	224,2 \pm 39,5 $\mu\text{g}/\text{kg}$
Farma 3	192,5 \pm 45,1 $\mu\text{g}/\text{kg}$	198,4 \pm 28,5 $\mu\text{g}/\text{kg}$
Farma 4	231,3 \pm 42,3 $\mu\text{g}/\text{kg}$	210,7 \pm 44,5 $\mu\text{g}/\text{kg}$
Farma 5	410,0 \pm 77,9 $\mu\text{g}/\text{kg}$	475,1 \pm 77,9 $\mu\text{g}/\text{kg}$
Farma 6	152,7 \pm 65,2 $\mu\text{g}/\text{kg}$	310,0 \pm 68,3 $\mu\text{g}/\text{kg}$
Farma 7	59,0 \pm 31,5 $\mu\text{g}/\text{kg}$	-

Zdroj: Hejtmánková et al. (2006), upraveno autorem

Trávníček et al. (2006b) rovněž prováděli analýzu vzorků mlék za účelem porovnání obsahu jodu v mléce dojníc v letním a zimním období. Analýza mlék byla prováděna ve 14 oblastech jihozápadních Čech. Dospěli ke stejnému závěru jako Hejtmánková et al. (2006), a to, že obsah jodu v mléce v letním období (září 350,9 \pm 178,4 $\mu\text{g}/\text{l}$) je nižší než obsah jodu v mléce v zimním období (duben 495,9 \pm 50,8 $\mu\text{g}/\text{l}$). Z výše uvedených studií je patrné, že rozdíl obsahu jodu v mléce během letního a zimního období koreluje se skladbou krmné dávky dojnice, což uvádí i Trávníček et al. (2006b) ve své studii. Vyšší obsah jodu v mléce přisuzuje vyššímu obsahu konzervovaných krmiv v zimní dávce, která je charakteristická vyšším obsahem jodu. Čerstvé krmivo, jenž je zkrmováno v letním období, obsahuje strumigenní látky, které, jak již bylo zmíněno výše, snižují koncentraci jodu v mléce (Hejtmánková et al. 2006).

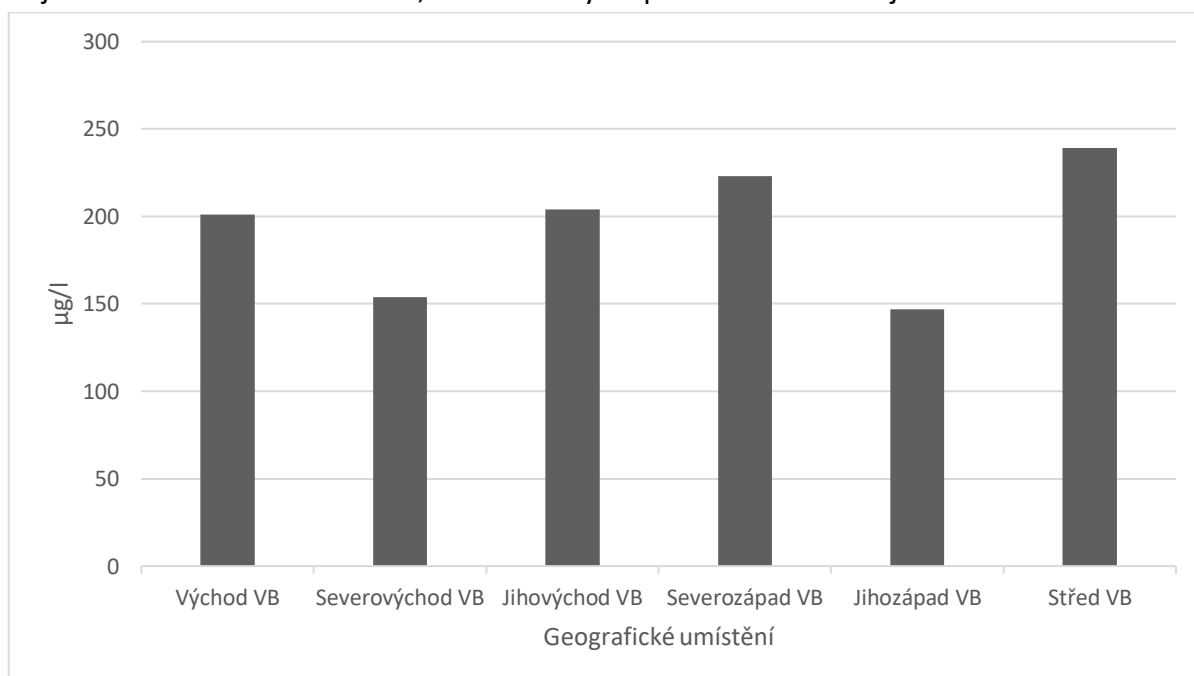
Změny obsahu jodu během roku zkoumali taktéž zahraniční studie, např. Ovadi et al. (2018). Ti se zaměřili na obsah jodu v mléčných výrobcích během letního a zimního období v Izraeli. Analýza mléčných produktů proběhla v květnu a v prosinci v roce 2015. Zjistili, že v letním období obsah jodu v mléčných produktech je nepatrně vyšší než v zimním období. Mezi analyzovanými mléčnými výrobky byla například zakysaná smetana, která vykazovala obsah jodu 20 $\mu\text{g}/100$ g v letním období a 16 $\mu\text{g}/100$ g v zimním období. Také byl v analýze zkoumán obsah jodu v jogurt s obsahem tuku 4,5 %. V letním období byl obsah jodu v jogurtu 20 $\mu\text{g}/100$ g a v zimním období byl obsah jodu 15 $\mu\text{g}/100$ g. Rozdíl v obsahu jodu mezi letním a zimním období je zřejmě zapříčiněn tím, že v Izraeli v zimních měsících vzkvétá vegetace pro pastvu a v letních měsících vše usychá, tudíž mají dojnice rozdílnou krmnou dávku s odlišným obsahem jodu.

3.7.9 Geografické vlivy

V několika zahraničních studií byl rovněž studován geografický vliv na obsah jodu v mléce. Například Haug et al. (2012) se zabývali regionálními vlivy působícími na obsah jodu v mléce dojníc z Norska. Nejvyšší obsah jodu v mléce byl zjištěn na severu Norska, a to

v průměru 139 $\mu\text{g}/\text{l}$. Dále následoval západ a střed s obsahem jodu v mléce průměrně 107 $\mu\text{g}/\text{l}$. Na jihu Norska byl obsah jodu v mléce průměrně 92 $\mu\text{g}/\text{l}$ a nejnižší obsah jodu v mléce byl naměřen na východě, a to v průměru 89 $\mu\text{g}/\text{kg}$. Rozdílné koncentrace jodu v rámci regionů mohou být způsobené rozdílně sestavenou krmnou dávkou dojníc, a také výskytem rostlin s vyšší koncentrací jodu v blízkosti moří.

Rovněž Coneyworth et al. (2020) se zajímali geografickými faktory působící na obsah jodu v mléce dojníc. Zkoumali rozdílné hladiny jodu v mléce na východě, severovýchodě, jihovýchodě, severozápadě, jihozápadě a ve středu Velké Británie (VB) v letním období. Obsah jodu v mléce z různých lokalit je zobrazen v grafu na **Obrázku 6**. Z výsledků je patrné, že hodnoty jodu obsaženém v mléce jsou odlišné napříč celou zemí. Nejvyšší koncentrace jodu v mléce byla naměřena ve středu Velké Británie, a to v průměru 239 $\mu\text{g}/\text{l}$, naproti tomu nejnižší hodnota jodu v mléce byla naměřena na jihozápadě Velké Británie, a to v průměru 147 $\mu\text{g}/\text{l}$. Rozdílnost obsahu jodu v mléce mezi jednotlivým geografickým umístěním může být zapříčiněna nejen rozlišnou krmnou dávkou, ale i rozdílným způsobem chovu dojníc.



Obrázek 6 Průměrný obsah jodu v mléce podle geografického umístění (Zdroj: Coneyworth et al. 2020, upraveno autorem)

3.7.10 Plemenná příslušnost

Obsah jodu v mléce může být také ovlivněn plemennou příslušností. Ve studii Hejtmánková et al. (2006) byl studován vliv plemenné příslušnosti na obsah jodu v mléce. Obsah jodu byl stanovován v mléce tří plemen z farem lokalizovaných ve středních a severních Čechách. Analyzovanými plemeny byly holštýn, český strakatý skot a jersey. Uvedené hodnoty jodu v mléce dle plemenné příslušnosti jsou patrné z **Tabulky 12**. Nutností zmínit je, že do obsahu jodu v mléce vstupoval i vliv rozdílné krmné dávky na jednotlivých farmách. Nižší množství jodu může být také zapříčiněno rozdílným obsahem řepkových pokrutin v krmné

dávce, které snižují hladinu jodu v mléce. Další hlubší studie jsou v tomto směru bohužel postrádány (Flachowsky et al. 2014).

Tabulka 12 Průměrný obsah jodu v mléce podle plemenné příslušnosti

	Plemeno	Průměrný obsah jodu v mléce
Farma 1	Holštýn	167,4 ± 41,4 µg/kg
Farma 2	Český strakatý skot	210,0 ± 48,4 µg/kg
Farma 3	Holštýn (70 %), Český strakatý skot (30 %)	194,5 ± 39,7 µg/kg
Farma 4	Holštýn	224,4 ± 42,5 µg/kg
Farma 5	Holštýn	425,0 ± 74,1 µg/kg
Farma 6	Holštýn, Český strakatý skot	231,8 ± 96,9 µg/kg
Farma 7	Jersey	59,0 ± 31,5 µg/kg

Zdroj: Hejtmánková et al. (2006), upraveno autorem

3.7.11 Laktace

Obsah minerálních látek v mléce je rovněž ovlivněn fází laktace. Tímto vlivem se zabýval Niero et al. (2020). Analýza mléka byla prováděna od května do července 2018 a testována byla farma s holštýnskými dojnícemi. Výsledky analýzy ukázaly, že na začátku laktace je v mléce nejnižší obsah jodu, a to v průměru 95,57 µg/kg. Následně se obsah jodu v mléce výrazně zvýšil v průměru na 180,67 µg/kg a ke konci laktace byl obsah jodu v mléce v průměru 186,19 µg/kg.

4 Závěr

Jod je nezbytným stopovým prvkem v lidském organismu a hraje důležitou roli zvláště při syntéze hormonů štítné žlázy.

Chovatelé by tudíž měli dbát na správné složení krmné dávky, aby obsahovala dostatečné množství jodu, a tím se předcházelo jak nemocem způsobeným nedostatkem jodu u skotu, tak nemocem způsobeným nedostatkem jodu u lidí. U skotu se může jednat například o strumu, poruchy reprodukce, neplodnost nebo poruchy růstu mláďat. U lidí se nedostatek jodu může projevit například jako struma nebo hypertyreóza. Nejzávažnější je však deficit jodu u plodu, který vede k poruchám jeho vývoje, vrozeným vadám srdce a gastrointestinálního traktu nebo ke vzniku kretenismu. Nejenom nedostatek, ale jak bylo prokázáno i nadbytek jodu má negativní vliv na zdraví skotu i lidí. Je tedy nezbytné zamýšlet se nad oběma extrémy.

O faktorech ovlivňujících zkoumanou problematiku je možné dlouze diskutovat, avšak u některých faktorů je důležité provedení adekvátních studií a pokusů, které by potvrdili či vyvrátili vliv jednotlivých faktorů, protože současné studie se nejenže dost často rozcházejí, ale současně jsou již poměrně zastaralé. Ze zmíněných faktorů ovlivňující obsah jodu v mléce a mléčných výrobcích je nejvýznamnějším faktorem výživa. Rostlinná krmiva využívaná v dietě dojnic obsahují jod v množství, které, jak bylo zjištěno, je nedostačující a je nutná jeho suplementace anorganickými či organickými sloučeninami. Nejvýznamnější vliv na příjem jodu z krmné dávky mají strumigenní látky, které negativně ovlivňují vychytávání jodu štítnou a mléčnou žlázou dojnic. Velmi důležitým faktorem podepisujícím se na finálním obsahu jodu v mléce jsou také druhy dezinfekčních prostředků, obsahující jod, používané k dezinfekci struků a jejich aplikace, ať už před dojením, tak po dojení. Bylo zjištěno, že aplikace post-dipů na bázi jodu, se výrazně promítá do zvýšeného obsahu jodu v mléce, a proto některé země již odstupují od aplikace těchto dezinfekčních prostředků, aby zamezily případnému nadbytku jodu v mléce.

5 Seznam literatury

- Abo El Enien K, Abd El Aziz M. 2012. Determination of Iodine Content of Milk From Different Animals and in Certain Dairy Products. *Journal of Food and Dairy Sciences* **3**:357-366.
- Akhmedkhanova R, Dzhambulatov Z, Gadzhaeva Z, Shabanov G, Alieva S. 2020. The influence of chlorella suspension on the quality of milk and its processing products. *E3S Web of Conferences* **222**:1-7.
- Antaya NT, Ghelichkhan M, Pereira ABD, Soder KJ, Brito AF. 2019. Production, milk iodine, and nutrient utilization in Jersey cows supplemented with the brown seaweed *Ascophyllum nodosum* (kelp meal) during the grazing season. *Journal of Dairy Science* **102**:8040-8058.
- Bath SC, Button S, Rayman MP. 2012. Iodine concentration of organic and conventional milk: implications for iodine intake. *The British journal of nutrition* **107**:935-940.
- Belanger J, Thomson Bredesenová S. 2010. *Storey's Guide to Raising Dairy Goats*. Storey Books Publishing, North Adams.
- Benjamin S, Spener F. 2009. Conjugated linoleic acids as functional food: An insight into their health benefits. *Nutrition and Metabolism* **6**:1-13.
- Block SS. 2001. *Disinfection, Sterilization, and Preservation*. Lippincott Williams & Wilkins, United States of America.
- Borucki Castro SI, Berthiaume R, Robichaud A, Lacasse P. 2012. Effects of iodine intake and teat-dipping practices on milk iodine concentrations in dairy cows. *Journal of Dairy Science* **95**:213-220.
- Borucki Castro SI, Lacasse P, Fouquet A, Beraldin F, Robichaud A, Berthiaume R. 2011. Short communication: Feed iodine concentrations on farms with contrasting levels of iodine in milk. *Journal of Dairy Science* **94**:4684-4689.
- Bürgi H. 2010. Iodine excess. *Best Practice and Research: Clinical Endocrinology and Metabolism* **24**:107-115.
- Carleton CL, Threlfall WR, Schwarze RA. 2008. Iodine in milk and serum following intrauterine infusion of Lugol's solution. *International Journal of Applied Research in Veterinary Medicine* **6**:121-129.
- Cashman KD. 2002. Macroelements, Nutritional Significance. Pages 925–932 in Fuquay JW, editor. *Encyclopedia of Dairy Sciences*. Academic Press, San Diego.
- Cassan A. 2005. Endokrinní systém. Pages 86-89 in Orlová K, editor. *Anatomie člověka*. Fragment, Havlíčkův Brod.
- Čerešňáková Z, Chrenková M, Rajský M, Margetín M, Žitňan R, Formelová Z, Kirchnerová K. 2014. *Výživa oviec a kôz*. Národné poľnohospodárske a potrvinárske centrum, Výskumný ústav živočíšnej výroby, Nitra.
- Chittimoju SB, Pearce EN. 2019. Iodine Deficiency and Supplementation in Pregnancy. *Clinical Obstetrics and Gynecology* **62**:330-338.
- Coneyworth LJ, Coulthard LCHA, Bailey EH, Young SD, Stubberfield J, Parsons L, Saunders N, Watson E, Homer EM, Welham SJM. 2020. Geographical and seasonal variation in iodine content of cow's milk in the UK and consequences for the consumer's supply. *Journal of*

- Trace Elements in Medicine and Biology **59**:1-9.
- Dahl L, Opsahl JA, Meltzer HM, Julshamn K. 2003. Iodine concentration in Norwegian milk and dairy products. *British Journal of Nutrition* **90**:679-685.
- Davis H, Chatzidimitriou E, Leifert C, Butler G. 2020. Evidence that forage-fed cows can enhance milk quality. *Sustainability* **12**:1-15.
- Dobrzański Z, Kołacz R, Górecka H, Chojnacka K, Bartkowiak A. 2005. The content of microelements and trace elements in raw milk from cows in the Silesian region. *Polish Journal of Environmental Studies* **14**:685-689.
- Doležal R, Vinkler A, Zajíc J, Čech S. 2009. Onemocnění pohlavního aparátu a poruchy reprodukce. Pages 469-601 in Hofírek B, editor. *Nemoci skotu*. Noviko a.s., Brno.
- Early R. 2012. Dairy products and milk-based food ingredients. Pages 417–445 *Natural Food Additives, Ingredients and Flavourings*. Woodhead Publishing, Cambridge.
- Fantová M, Fleischer P, Kacerovská L, Malá G, Mátlová V, Nohejlová L, Skřivánek M, Šlosárková S. 2015. *Chov koz*. Brázda, s. r. o., Praha.
- FAO, World Health Organization. 2004. Vitamin and mineral requirements in human nutrition. World Health Organization and Food and Agriculture Organization of the United Nations, China. Available from www.who.org.
- Flachowsky G, Franke K, Meyer U, Leiterer M, Schöne F. 2014. Influencing factors on iodine content of cow milk. *European Journal of Nutrition* **53**:351-365.
- Flachowsky G, Schöne F, Leiterer M, Bemann D, Spolders M, Lebzien P. 2007. Influence of an iodine depletion period and teat dipping on the iodine concentration in serum and milk of cows. *Journal of Animal and Feed Sciences* **16**:18-25.
- Franke K, Meyer U, Wagner H, Flachowsky G. 2009. Influence of various iodine supplementation levels and two different iodine species on the iodine content of the milk of cows fed rapeseed meal or distillers dried grains with solubles as the protein source. *Journal of Dairy Science* **92**:4514-4523.
- French EA, Mukai M, Zurakowski M, Rauch B, Gioia G, Hillebrandt JR, Henderson M, Schukken YH, Hemling TC. 2016. Iodide Residues in Milk Vary between Iodine-Based Teat Disinfectants. *Journal of food science* **81**:1864-1870.
- Fuge R, Johnson CC. 2015. Iodine and human health, the role of environmental geochemistry and diet, a review. *Applied Geochemistry* **63**:282-302.
- Gajdůšek S. 2003. *Laktologie*. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, Brno.
- Glinoe D. 2007. The importance of iodine nutrition during pregnancy. *Public Health Nutrition* **10**:1542-1546.
- Gupta C, Prakash D. 2017. Therapeutic Potential of Milk Whey. *Beverages* **3**:1–14.
- Haldimann M, Walther B, Dudler V, Aubert R, Wechsler D. 2019. Increase of iodine content in brine-salted soft, semi-hard and hard cheeses by diffusion of iodide. *Food Additives and Contaminants - Part A Chemistry, Analysis, Control, Exposure and Risk Assessment* **36**:1787-1799.
- Hanzlíková L, Sochorová L, Kašparová L, Fialová A, Kubínová R, Černá M. 2018. Aktuální výsledky biomonitoringu - Jodurie u české populace. *Hygiena* **63**:84-88.

- Haug A, Høstmark AT, Harstad OM. 2007. Bovine milk in human nutrition - A review. *Lipids in Health and Disease* **6**:1-16.
- Haug A, Taugbøl O, Prestløkken E, Govasmark E, Salbu B, Schei I, Harstad OM, Wendel C. 2012. Iodine concentration in Norwegian milk has declined in the last decade. *Acta Agriculturae Scandinavica A: Animal Sciences* **62**:127-134.
- Hejtmánková A, Kuklík L, Trnková E, Dragounová H. 2006. Iodine concentrations in cow's milk in Central and Northern Bohemia. *Czech Journal of Animal Science* **51**:189-195.
- Hejtmánková A, Vejdová M, Trnková E. 2005. Stanovení jodu v biologickém materiálu metodou HPLC s elektrochemickým detektorem. *Chemické listy* **99**:657-660.
- Hudák R, Kachlák D. 2013. *Memorix anatomie*. TRITON, Praha.
- Humphrey OS, Young SD, Bailey EH, Crout NMJ, Ander EL, Watts MJ. 2018. Iodine soil dynamics and methods of measurement. *Environmental Science: Processes & Impacts* **20**:288-310.
- Iannaccone M, Ianni A, Elgendy R, Martino C, Giantin M, Cerretani L, Dacasto M, Martino G. 2019. Iodine supplemented diet positively affect immune response and dairy product quality in fresian cow. *Animals* **9**:1-13.
- Kalyankar SD, Khedkar CD, Patil AM, Deosarkar SS. 2016. Milk: Sources and Composition. Pages 741–747 in Caballero B, Finglas PM, Toldrá F, editors. *Encyclopedia of Food and Health*. Academic Press, Oxford.
- Kittnar O, Jandová K, Kuriščák E, Langmeier M, Marešová D, Mlček M, Mysliveček J, Pokorný J, Riljak V, Trojan S. 2011. *Lékařská fyziologie*. Grada Publishing a. s., Praha.
- Knowles SO, Lee J, Grace ND. 1997. Metabolism of trace elements in lactating dairy cows: Perspectives of selenium and iodine in animal health and human nutrition. Pages 174–183 in Knowles SO, editor. *Proceedings of the nutrition society of New Zealand*.
- Köhler M, Fechner A, Leiterer M, Spořil K, Remer T, Schafer U, Jahreis G. 2012. Iodine content in milk from German cows and in human milk: New monitoring study. *Trace Elements and Electrolytes* **29**:119-126.
- Kopáček J. 2014. Jak poznáme kvalitu? Mléko a mléčné výrobky. Sdružení českých spotřebitelů, z.ú. a Potravinářská komora ČR, Praha.
- Křížová Z, Trávníček J, Hasoňová L, Vítková L, Staňková M. 2004. Mléko jako zdroj jódu v lidské výživě. *Mlékařské listy* **147**:20-23.
- Křížová Z, Trávníček J, Konečný R, Hladký J, Hasoňová L, Kala R. 2016a. The Effect of Feeding Extracted Rapeseed Meal on the Content of Iodine in Milk, Urine and Blood Plasma in Dairy Cows. *MendelNet* **23**:790-794.
- Křížová Z, Trávníček J, Samková E, Hasoňová L, Konečný R, Kala R, Hladký J, Staňková M. 2016b. Obsah jódu v mléce a syrovátce. *Mlékařské listy* **155**:1-3.
- Kroupová V, Trávníček J, Staňková M, Richterová J, Dušová H. 2013. Vývoj obsahu jodu v mléce v prvovýrobě na území ČR. Pages 32-33 in Ryšavá L, Žoltá M, editors. *Zásobení jodem jako prevence tyreopatií a zdroje dietární expozice*. Státní zdravotní ústav, Praha.
- Krys Š, Lokajová E, Podhorský A, Pavlata L. 2009. Microelement supplementation in dairy cows by mineral lick. *Acta Veterinaria Brno* **78**:29-36.

- Leung AM, Pearce EN, Braverman LE. 2011. Iodine nutrition in pregnancy and lactation. *Endocrinology and Metabolism Clinics of North America* **40**:765-777.
- Malá G, Novák P, Švejcarová M, Knížková I, Milerski M, Kunc P. 2011. Chov dojných ovcí-zásady správné chovatelské praxe. Výzkumný ústav živočišné výroby, v.v.i., Praha.
- Markalous B, Gregorová M. 2003. Nemoci štítné žlázy. TRITON, Praha.
- Markiewicz-Keszycza M, Czyzak-Runowska G, Lipinska P, Wójtowski J. 2013. Fatty acid profile of milk. *Bulletin of the Veterinary Institute in Pulawy* **57**:135-139.
- Milagres RCRM, Souza ECG de, Peluzio M do CG, Franceschini S do CC, Duarte MSL. 2020. Food Iodine Content Table compiled from international databases. *Revista de Nutrição* **33** (e190222) DOI: 10.1590/1678-9865202033e190222.
- Moschini M, Battaglia M, Beone GM, Piva G, Masoero F. 2010. Iodine and selenium carry over in milk and cheese in dairy cows: Effect of diet supplementation and milk yield. *Animal* **4**:147-155.
- Muñiz-Naveiro Ó et al. 2005. Selenium content and distribution in cow's milk supplemented with two dietary selenium sources. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **53**:9817-9822.
- Muntau AC. 2014. *Pediatric*. Grada Publishing a. s., Praha.
- Murray RK, Bender DA, Botham KM, Kennelly PJ, Rodwell VW, Weil AP. 2009. *Harperova ilustrovaná Biochemie*. Galén, Praha.
- Nařízení komise (ES) č. 1459/2005 ze dne 8. září 2005, kterým se mění podmínky pro povolení některých doplňkových látek v krmivech, které patří do skupiny stopových prvků. Pages 8-10 in *Úřední věstník Evropské unie L 233/8*, 2009, Brusel.
- Nazeri P, Norouzian MA, Mirmiran P, Hedayati M, Azizi F. 2015. Heating process in pasteurization and not in sterilization decreases the iodine concentration of milk. *International Journal of Endocrinology and Metabolism* **13**:1-4.
- Nejedlá M. 2014. Vyřešení nedostatku jodu. Pages 97-99 *Zpráva o zdraví obyvatel České republiky*. Ministerstvo zdravotnictví České republiky, Praha.
- Niero G, Franzoi M, Vigolo V, Peruzzo M, Cassandro M, De Marchi M. 2020. Variation of iodine content in bovine milk and predictive ability of mid-infrared spectroscopy. *International Dairy Journal* **102** (e27995) DOI: 10.5812/ijem.27995.
- Norouzian MA. 2011. Iodine in raw and pasteurized milk of dairy cows fed different amounts of potassium iodide. *Biological Trace Element Research* **139**:160-167.
- Norouzian MA, Azizi F. 2013. Factors Affecting Iodine Content in Dairy Cow's Milk - a Review. *European Journal of Food Research & Review* **3**:63-73.
- Ovadia YS, Gefel D, Weizmann N, Raizman M, Goldsmith R, Mabeesh SJ, Dahl L, Troen AM. 2018. Low Iodine Intake from Dairy Foods Despite High Milk Iodine Content in Israel. *Thyroid* **28**:1042-1051.
- Park YW, Juárez M, Ramos M, Haenlein GFW. 2007. Physico-chemical characteristics of goat and sheep milk. *Small Ruminant Research* **68**:88-113.
- Paulíková I, Seidel H, Nagy O, Kováč G. 2008. Milk iodine content in Slovakia. *Acta Veterinaria Brno* **77**:533-538.

- Pavlata L, Dirksen G, Hofírek B, Němeček L, Šterc J, Doll K, Dvořák R, Pospíšil Z, Krejčí J. 2009. Nemoci telat. Pages 953-1012 in Hofírek B, editor. Nemoci skotu. Noviko a.s., Brno.
- Payling LM, Juniper DT, Drake C, Rymer C, Givens DI. 2015. Effect of milk type and processing on iodine concentration of organic and conventional winter milk at retail: Implications for nutrition. *Food Chemistry* **178**:327-330.
- Pechová A, Pavlata L, Dirksen G, Hofírek B, Dvořák R. 2009. Poruchy metabolismu. Pages 665-714 in Hofírek B, editor. Nemoci skotu. Noviko a.s., Brno.
- Phipps RH, Grandison AS, Jones AK, Juniper DT, Ramos-Morales E, Bertin G. 2008. Selenium supplementation of lactating dairy cows: Effects on milk production and total selenium content and speciation in blood, milk and cheese. *Animal* **2**:1610-1618.
- Potluková E. 2013. Poruchy štítné žlázy a těhotenství. *Praktické lékařství* **9**:157-160.
- Reece WO. 2011. Laktace. Pages 425-438 in Reece WO, editor. Fyziologie a funkční anatomie domácích zvířat. Grada Publishing a. s., Praha.
- Roženská L, Hejtmánková A, Koliňová D, Miholová D. 2011. Selenium and iodine content in milk from farms in central and east Bohemia. *Scientia Agriculturae Bohemica* **42**:153-158.
- Russell R et al. 2001. Dietary Reference Intakes for Vitamin A, Vitamin K, Arsenic, Boron, Chromium, Copper, Iodine, Iron, Manganese, Molybdenum, Nickel, Silicon, Vanadium, and Zinc. The National Academies Press, Washington, DC.
- Ryšavá L, Červková A, Kubačková J, Irglová Z. 2005. Obsah jódu a selenu v mléce v distribuční síti ČR a evropských státech. Available from <https://www.zuova.cz/Content/files/video-a-prezentace/chl014.pdf>.
- Ryzhkova T, Bondarenko T, Dyukareva G, Biletskaya Y. 2017. Development of a technology with an iodine-containing additive to produce kefir from goat milk. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies* **3**:37-44.
- Sano - Moderní výživa zvířat spol. s.r.o. [ilustrační foto]. Domažlice. Available from <https://www.sano.cz>.
- Shakerian A. 2013. Iodine determination in raw cow's milk in Iran. *Journal of Food Biosciences and Technology* **4**:41-48.
- Śliwiński B, Brzóška F, Węglarzy K, Szybiński Z, Kłopotek E. 2015. The effects of iodised salt licks and teat dipping on the iodine content of cow's milk and blood plasma. *Endokrynologia Polska* **66**:244-250.
- Soriguer F, Gutierrez-Repiso C, Gonzalez-Romero S, Olveira G, Garriga MJ, Velasco I, Santiago P, de Escobar GM, Garcia-Fuentes E. 2011. Iodine concentration in cow's milk and its relation with urinary iodine concentrations in the population. *Clinical Nutrition* **30**:44-48.
- Stupka R, Čítek J, Ledvinka Z, Navrátil J, Nohejlová L, Stádník L, Šprysl M, Štolc L, Vacek M, Zita L. 2013. Chov zvířat. Powerprint, Praha.
- Trávníček J, Herzig I, Kroupová V, Kursá J. 2006a. Milk as a food source of iodine, molybdenum, selenium, zinc and manganese. Pages 467-471 in Sziágyi M, Szentmihályi K, editors. Trace elements in the food chain: Proceedings of the International symposium on trace elements in the food chain. Working Committee on Trace Elements of the Complex

- Committee, Hungarian Academy of Sciences and Institute of Materials and Environmental Chemistry of the HAS, Budapest.
- Trávníček J, Herzig I, Kursa J, Kroupová V, Navratilová M. 2006b. Iodine content in raw milk. *Veterinarni Medicina* **51**:448-453.
- Trávníček J, Kroupová V, Dušová H, Krhovjáčková J, Konečný R. 2011. Optimalizace obsahu jodu v kravském mléce. Jihočeská Univerzita v Českých Budějovicích, České Budějovice.
- Trávníček J, Kroupová V, Šoch M. 2004. Iodine content in bulk feeds in western and southern Bohemia. *Czech Journal of Animal Science* **49**:483-488.
- Trávníček J, Kursa J. 2001. Iodine concentration in milk of sheep and goats from farms in south Bohemia. *Acta Veterinaria Brno* **70**:35-42.
- Trouw Nutrition Biofaktory s.r.o. [ilustrační foto]. Praha. Available from <https://www.nutrimix.cz>.
- Van Der Reijden OL et al. 2019. Effects of feed iodine concentrations and milk processing on iodine concentrations of cow's milk and dairy products, and potential impact on iodine intake in Swiss adults. *British Journal of Nutrition* **122**:172-185.
- Van der Reijden OL, Zimmermann MB, Galetti V. 2017. Iodine in dairy milk: Sources, concentrations and importance to human health. *Best Practice and Research Clinical Endocrinology and Metabolism* **31**:385-395.
- Vanderpas J. 2003. Goitrogens and Antithyroid Compounds. Pages 2949-2957 in Caballero B, editor. *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition*. Academic Press, Oxford.
- Velíšek J, Koplík R, Čejpek K. 2020. Mineral elements. Pages 439-498 in Velíšek J, editor. *The Chemistry of Food*. John Wiley & Sons, West Sussex.
- Walstra P, Wouters JTM, Geurts TJ. 2006. *Dairy Science and Technology*. Taylor & Francis Group, United States of America.
- Walther B, Wechsler D, Schlegel P, Haldimann M. 2018. Iodine in Swiss milk depending on production (conventional versus organic) and on processing (raw versus UHT) and the contribution of milk to the human iodine supply. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology* **46**:138-143.
- Weaver C, Wijesinha-Bettoni R, McMahon D, Spence L. 2013. Milk and dairy products as part of diet. Pages 103-206 in Muehlhoff E, Bennett A, McMahon D, editors. *Milk and Dairy Products in Human Nutrition*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- Weiss WP, Hogan JS. 2005. Effect of selenium source on selenium status, neutrophil function, and response to intramammary endotoxin challenge of dairy cows. *Journal of Dairy Science* **88**:4366-4374.
- Weiss WP, Wyatt DJ, Kleinschmit DH, Socha MT. 2015. Effect of including canola meal and supplemental iodine in diets of dairy cows on short-term changes in iodine concentrations in milk. *Journal of Dairy Science* **98**:4841-4849.
- Whetstone MEC, Drake MA. 2008. Flavor Characteristics of Goat Milk and Other Minor Species Milk Products. Pages 107-120 in Park YW, Haenlein GFW, Wendorff WL, editors. *Handbook of Milk of Non-Bovine Mammals*. Blackwell Publishing, Oxford.

- Winger RJ, König J, House DA. 2008. Technological issues associated with iodine fortification of foods. *Trends in Food Science and Technology* **19**:94-101.
- Winter GF. 2016. Alternatives to breastfeeding: The use of goats' milk in infant formula. *British Journal of Midwifery* **24**:624-628.
- Yarrington C, Pearce EN. 2011. Iodine and pregnancy. *Journal of Thyroid Research* **2011**:1-8.
- Yeh TS, Hung NH, Lin TC. 2014. Analysis of iodine content in seaweed by GC-ECD and estimation of iodine intake. *Journal of Food and Drug Analysis* **22**:189-196.
- Zamberlin Š, Antunac N, Havranek J, Samaržija D. 2012. Mineral elements in milk and dairy products. *Mljekarstvo* **62**:111–125.
- Zamrazil V, Čeřovská J. 2014. Jod a štítná žláza. Optimální přívod jodu a poruchy z jeho nedostatku. Mladá fronta, a.s., Praha.
- Zaralis K. 2015. SOLID participatory research from UK : Reducing antibiotic use for mastitis control in organic dairy farms. The Organic Research Centre, United Kingdom.
- Zukalová H, Vašák J. 2001. Kvalita řepky, šrotů a pokrutin. *Krmivářství* **3**:20-24.