

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů



**Fakulta agrobiologie,
potravinových a přírodních zdrojů**

Katedra pedologie a ochrany půd

Obsah vybraných rizikových a nutričních prvků v máku

Bakalářská práce

Kateřina Malečková

Výživa a potraviny (NUTRIB)

Vedoucí práce: doc. Ing. Ondřej Drábek, Ph.D.

Konzultant práce: RNDr. Václav Tejnecký, Ph.D.

© 2021 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Obsah vybraných rizikových a nutričních prvků v máku" jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího 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 22.4.2022

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala doc. Ing. Ondřeji Drábkovi, Ph.D. za vedení, cenné rady a podporu při mé tvorbě bakalářské práce. A také Ing. Karlu Němečkovi za asistenci při provádění stanovení obsahů minerálních látek. V neposlední řadě děkuji mým nejbližším, zejména rodině za veškerou podporu během celého studia.

Obsah vybraných rizikových a nutričních prvků v máku

Souhrn

Konzumace máku a jeho používání k lékařským účelům má původ již v neolitu. Přestože je mák setý neblaze znám pro vysoký obsah alkaloidů, v České republice je pěstován především pro potravinářské účely. Semena máku jsou obecně považována za funkční potravinu, především kvůli jejich nutričnímu složení. Kromě tuků, zejména nenasycených mastných kyselin a vitamínů, obsahuje také mnoho minerálních látek, které jsou, i přes absenci energetické hodnoty, důležitou součástí lidské výživy. Minerální látky, jak makroprvky (např. vápník, hořčík, sodík, draslík), tak stopové prvky (železo, zinek, měď aj.) mají podíl na řadě biologických procesů v těle. To může laická veřejnost vnímat jako čistě „zdravou“ potravinu. V semenech máku se také mohou vyskytovat mnohé rizikové prvky jako například kadmium, arsen a potenciálně olovo, rtuť.

S ohledem na rostoucí znečištění planety antropogenní činností je třeba kontrolovat, zda neroste i množství toxických prvků v potravinách. Z toho důvodu se tato práce zabývá nejen nutričně významnými prvky, ale i prvky rizikovými. Právě kadmium bylo v poslední době označeno Evropským úřadem pro bezpečnost potravin (EFSA) jako významný rizikový prvek pro lidský organismus. Proto Evropská unie vydala nařízení, ve kterém byly stanoveny nové maximální limity pro kadmium v řadě potravin.

Obsahem práce je posoudit použitelnost rentgen fluorescenční (XRF) spektroskopie na stanovení minerálních látek v semenech máku. Dále byl sledován rozdíl v obsazích prvků v mletých a nemletých vzorcích máku. Jednalo se o vzorky pocházející z různých oblastí České republiky od rozdílných pěstitelů.

Detekční limity nestačily pro stanovení olova, arsenu, rtuti, selenu a fosforu. Obsah kadmia ve vzorcích byl přibližně 18 mg/kg. Detekční limity pro kadmium byly vyšší než limit stanovený legislativou. U prvků draslík, vápník, železo a měď byly zjištěny statisticky významné rozdíly v obsahu mezi mletým a nemletým mákem. Naproti tomu u prvků chrom, zinek a kadmium se rozdíly nepotvrdily.

Celkově lze konstatovat, že XRF spektroskopii lze použít pro stanovení benefičních prvků, případně i pro rizikové prvky u vysoce kontaminovaných vzorků. Pro kontrolu, zda rizikové prvky odpovídají limitů legislativy je třeba použít přesnější metody.

Klíčová slova: kadmium; rizikové prvky; těžké kovy; maková semena; nutrienty; minerální látky; XRF spektroskopie; rentgen fluorescenční spektroskopie

Content of selected risk and nutritional elements in poppy seeds

Summary

The consumption of poppy seeds and its use for medical purposes has its origins in the Neolithic. Although poppy is notoriously known for its high alkaloid content, in the Czech Republic it is grown mainly for food purposes. Poppy seeds are generally considered a functional food, mainly due to its nutritional composition. In addition to fats, especially unsaturated fatty acids and vitamins, it also contains many minerals, which, despite the lack of energy value, are an important part of human nutrition. Minerals, both macro-elements (e.g. calcium, magnesium, sodium, potassium) and trace elements (iron, zinc, copper, etc.) are involved in many biological processes in the body. This can be perceived by the public as a purely "healthy" food. Many risk elements such as cadmium, arsenic and potentially lead, mercury can also be present in seeds.

With respect to the growing pollution of the planet by anthropogenic activities, it is necessary to check whether the amount of toxic elements in food is also growing. For this reason, this thesis deals not only with nutritionally important elements, but also with risk elements. Cadmium has recently been identified by the European Food Safety Authority (EFSA) as a significant risk element for the human body. That is why the European Union has issued a regulation setting new maximum levels for cadmium in a number of foods.

The aim of the thesis is to assess the applicability of X-ray fluorescence spectroscopy (XRF) for the determination of elements in poppy seeds. The difference in element contents in ground and unground poppy samples was also monitored. The samples came from different areas of the Czech Republic and from different growers.

Detection limits were not sufficient for the determination of lead, arsenic, mercury and selenium. The cadmium content of the samples was approximately 18 mg / kg. The detection limits for cadmium were higher than the limit set by the legislation. Statistically significant differences in content between ground and unground poppy were found for the following elements: potassium, calcium, manganese, iron and copper. In contrast, the differences between ground and unground poppy for chromium, zinc and cadmium were not confirmed.

Overall, it can be stated that XRF can be used for the determination of beneficial elements, or even for risk elements in highly contaminated samples. More precise methods need to be used to check that the risk elements comply with the limits of the legislation.

Keywords: cadmium; risk elements; heavy metals; poppy seeds; nutrients; minerals; X-ray fluorescence spectroscopy; XRF spectroscopy

Obsah

1	Úvod	1
2	Hypotéza a cíle práce	2
3	Metodika	2
4	Literární rešerše	3
4.1	Mák napříč kulturami	3
4.2	Botanické zařazení máku	3
4.2.1	Morfologie máku setého	4
4.3	Rozdělení máku setého	5
4.3.1	Podle získávané suroviny.....	5
4.3.2	Podle využití	6
4.3.3	Další rozdělení	6
4.4	Technologie pěstování a zpracování máku	6
4.5	Složení máku.....	7
4.6	Požadavky na kvalitu semene máku	8
4.7	Minerální prvky a jejich vliv na lidský organismus	10
4.7.1	Vápník.....	10
4.7.2	Fosfor.....	10
4.7.3	Hořčík	11
4.7.4	Draslík.....	11
4.7.5	Sodík.....	11
4.7.6	Železo	11
4.7.7	Zinek	12
4.7.8	Měď	12
4.7.9	Selen	13
4.7.10	Chrom.....	13
4.7.11	Kadmium	14
4.7.12	Olovo	14
4.7.13	Arsen.....	15
4.7.14	Rtuť.....	15
4.8	Příjem minerálních látek rostlinou z půdy.....	16
4.8.1	Půda.....	16
4.8.2	Půdní roztok	16
4.8.3	Živiny	17
4.8.4	Toxické minerální látky.....	18

4.8.5	Výživa rostlin	18
4.9	Stanovení prvků	20
4.9.1	Rentgen fluorescenční (XRF) spektroskopie	20
5	Metodika	21
5.1	Materiál.....	21
5.1.1	Příprava vzorků.....	21
5.2	Laboratorní analýza.....	21
5.3	Statistické metody	21
6	Výsledky.....	22
6.1	Statistické vyhodnocení.....	24
7	Diskuze	25
7.1	Použití XRF spektroskopie pro stanovování prvků	25
7.2	Rozdíly v obsahu minerálních látek mezi mletým a nemletým mákem	26
7.3	Porovnání hodnot zjištěných z rešerše a naměřených XRF spektroskopií	26
7.4	Obsahy prvků v máku a jejich benefity nebo rizika	28
8	Závěr.....	29
9	Literatura.....	30
	Přílohy.....	I

1 Úvod

Mák by se díky svému jedinečnému nutričnímu složení mohl řadit mezi funkční potraviny. Ačkoliv je mák znám především pro vysoký podíl tuku a z toho zejména nenasycené mastné kyseliny, je tato bakalářská práce zaměřena na obsahy minerálních látek v semenech máku. V máku se nachází nemalé množství nutričně hodnotných prvků, které mají pozitivní vliv na lidské zdraví, ale také některé prvky, které jsou označovány jako rizikové a mají na organismus člověka nepříznivé až toxické účinky.

Literární rešerše je první částí této bakalářské práce. Mák je v ní představen z pohledu historického, botanického, je v ní zmíněna i technologie pěstování. Dále se věnuje požadavkům na kvalitu a složení. Největší část zaujímá výčet minerálních látek, jejich obsah v máku a popis vlivu na lidské zdraví. Druhá část je věnována stanovení již představených prvků pomocí rentgen fluorescenční spektroskopie.

2 Hypotéza a cíle práce

Mák setý je významným zdrojem nutričních prvků, nicméně představuje i potenciální zdroj rizikových prvků pro lidský organismus. Cílem práce bylo shromáždit, prostudovat a posoudit poznatky o rizikových a nutričních prvcích v semenech máku prezentované v současné literatuře. Větší pozornost byla věnována kadmiu, jež je v současné době vyzdvihován jako významný rizikový prvek. Dalším úkolem práce bylo posoudit možnost stanovení obsahu rizikových a nutričních prvků v máku pomocí rentgen fluorescenční (XRF) spektroskopie. V rámci stanovování prvků v semeni máku pomocí XRF spektroskopie byly určeny dílčí hypotézy:

- Detekční limity jsou dostačující pro stanovení hodnot rizikových prvků dle vyhlášek.
- Pro nutriční prvky jsou detekční limity dostačující.
- Existují statisticky významné rozdíly mezi obsahy prvků v mletých a nemletých vzorcích máku.

3 Metodika

Provést literární rešerši zaměřenou na obsah vybraných rizikových a nutričních prvků v různých odrůdách máku. Provést stanovení obsahu vybraných rizikových a nutričních prvků ve vybraných odrůdách máku pomocí rentgen fluorescenční spektroskopie (XRF). Posoudit vhodnost použití metody XRF pro danou aplikaci.

4 Literární rešerše

4.1 Mák napříč kulturami

Mák je bylina rozšířená na většině kontinentech. Měl a má v historii lidstva místo v mnoha kulturách. Existují dochované záznamy, které potvrzují, že byl mák používán již v neolitu, tedy mladší době kamenné (Sinskaja 1973). Hlavní naleziště byla v oblastech Španělska podhůří Alp a v okolí řeky Rýn, odtud se pak pravděpodobně rozšířil do dalších oblastí. Na základě nálezů semen se předpokládá, že šlo o nekulturní plevelný druh (Vašák 2010). Podle některých zdrojů vznikl mák setý (*Papaver somniferum*) z máku štětinkatého (*P. setigerum*). Na území České republiky byly nalezeny důkazy o existenci máku v Ostrově u Stříbra a datují se do pozdní doby bronzové (Tétényi 1997; Kočár & Dreslerová 2010).

Mák setý je znám především pro své narkotické účinky. Z tohoto důvodu ho také začali pěstovat Sumerové v období přibližně 3000 let před naším letopočtem. Dokazují to dochované hlíněné tabulky nalezené v oblasti Nippur. Na jedné z tabulek byl lékařský předpis, který obsahoval ideogram „*Hul-gill*“, což bylo přeloženo jako „květina radosti“. Existují ale i důkazy o tom, že byl mák používán i v zahradách jako okrasa. V hrobce Kha at Deir el-Medina v Egyptě se našla nádoba, ve které byla uložena semena máku vlčího, *Papaver rhoeas* L. (Kapoor 1995; Veiga 2017).

Způsob použití a účinky máku promítly i do jeho názvu. V Americe je mák setý označován jako „Breadseed“, což by se mohlo volně přeložit jako chlebové semínko. Semena máku se totiž tradičně používají v pekárenském odvětví, například na posypání pečiva. Latinský název máku setého (*Papaver Somniferum*) také vypovídá o účincích máku, „*somniferum*“ v překladu znamená „způsobující spánek, spánkodárný“ (Procházka & Smutka 2012; Susan 2017).

Ve východoslovanských zemích (Rusko, Ukrajina) má mák symbolizovat bohatství nebo moudrost a víru rozsetou po celém světě a byl přidáván do mnoha tradičních pokrmů (Králová 2012). Do pokrmů je mák setý tradičně přidáván i v naší zemi.

4.2 Botanické zařazení máku

Mák se řadí do čeledi makovité (*Papavereaceae*), která kromě rodu mák (*Papaver*) čítá okolo dalších 40 rodů (Christenhusz & Byng 2016; Encyclopaedia Britannica 2017). Zástupci vyskytující se na našem území jsou například vlaštovičník (*Chelidonium*), rohatec (*Glaucium*), aj. Rod mák zahrnuje více než 50 druhů, jako jsou například: mák vlčí (*Papaver rhoeas*), mák alpský (*P. alpinum*), mák polní (*P. argemone*), mák pochybný (*P. dubium*), mák zvrhlý (*P. hybridum*), mák Lecoqův (*P. lecoqii*), mák východní (*P. orientale*), mák štětinkatý (*Papaver setigerum*). Dále pak v potravinářství nejvyužívanější a bohatý na nutričně významná semena, mák setý (*Papaver somniferum*) (Voglmayr et al. 2014).

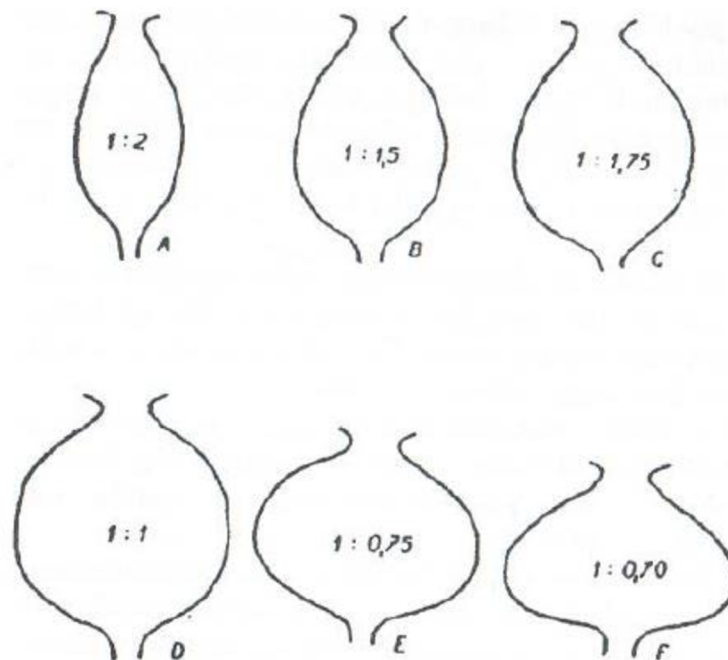
4.2.1 Morfologie máku setého

Mák setý je jednoletá bylina jejíž kořenová soustava se skládá z hlubokého, dužnatého kůlového (kuželovitého) kořene (500-750 mm) a několika postranních kořenů mělce pod povrchem půdy vyrůstají menší vláscité kořínky (Bechyně & Novák 1987; Tétényi 1997; Vašák 2010).

Stonek máku setého je olistěn. Výška lodyhy je značně ovlivněna mnoha faktory (odrůda, spon, výživa, ranost setby), pohybuje se v rozmezí 0,5 – 2 m. Stonek má tendence se rozvětňovat. Ideální výška rostliny je 1 m. (Bechyně & Novák 1987). Listy jsou jednoduché, podlouhlé, mírně zvlněné a zubovité (Tétényi 1997; Vašák 2010).

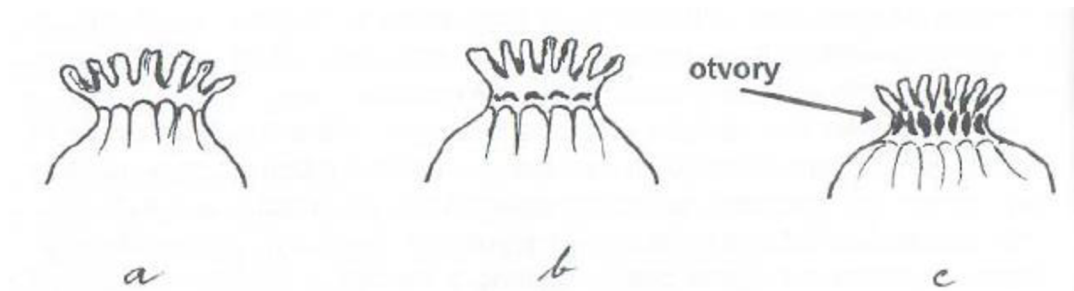
Barva květů se pohybuje na široké škále barev od bílé, růžové různé odstíny červené až po fialovou. Někdy se na bázi korunních lístků objevuje skvrna světlá nebo tmavá. Květ má 2 kališní lístky a čtyři korunní plátky. Květní vzorec můžeme popsat jako: $\checkmark * K_2, C_2 + 2, A_\infty, G_\infty$. Díky velkému množství tyčinek tvoří velké množství pylu, díky němuž je velmi vyhledávan opylovači, přestože je samosprašný (Kapoor 1995; Tétényi 1997; Vašák 2010).

Plodem je makovice, botanicky označovaná jako tobolka. Velikost a tvar tobolek je dán odrůdou, mohou být, ale ovlivněny vnějšími podmínkami a agrotechnikou. Tvar makovice může být podlouhlý, oválný, široce oválný, kulatý, zploštělý či silně zploštělý, jsou znázorněny na obrázku 1. Bliznový terč tvoří „korunku“ makovice, jejíž tvar může být střečovitý, rovný nebo miskovitý (miskovitý je nežádoucí z důvodu zadržování vody a následné náchylnosti k chorobám).



Obrázek 1: Tvary tobolek: A – podlouhlý; B – oválný; C – široce oválný; D – kulatý; E – zploštělý; F – silně zploštělý (kresba Bechyně 2001)

Mák, který má pod „korunkou“ otvory se nazývá hledák, těmito otvory pak semena máku vypadávají. Přechodný typ má otvory zcela uzavřené. Typ slepák má makovici zcela uzavřenou (Bechyně & Novák 1987). Obrázek 2 znázorňuje různé druhy makovic podle velikosti otvorů



Obrázek 2: a – slepák; b – přechodný typ; c – hledák (kresba Bechyně 2001)

Množství a velikost semen jsou závislé na velikosti tobolky, tvaru a počtu lamel v tobolkách (shodný s počtem paprsků blizny). Množství semen v tobolce se obvykle pohybuje mezi čtyřmi až šesti tisíci, může však dosáhnout až dvanácti tisíc semen v tobolce. Hmotnost semen je průměrně 2,5 g na makovici (Kapoor 1995; Tétényi 1997; Vašák 2010).

Semeno máku má ledvinovitý tvar a délku přibližně 1,25 mm. Na jeho povrchu tvoří brázdy šestiúhelníkové plošky, které jsou ohraničené mírně vystouplými žebry. Obvyklé barevné varianty semen máku jsou modrá, modrošedá, bílá či okrová existují ale i další jako je: stříbrošedá, fialová, růžová, tmavě hnědá až černá (Kapoor 1995; Vašák 2010).

Chuťově se liší semena tmavé modré barvy a barvy bílé. Blankytná modrá barva je jakousi garancí typické makové chuti. Kdežto bílá semena mají chuť méně výraznou a více podobnou vlašským ořechům. Méně výrazná chuť bílých semen je kvůli tenkému osemení, ve kterém je tedy méně ligninu, vlákniny a dalších doprovodných látek. Na druhou stranu ale obsahuje více tuku (Kapoor 1995; Vašák 2010).

4.3 Rozdělení máku setého

4.3.1 Podle získávané suroviny

Mák opiový je významný vysokým obsahem alkaloidů, zejména morfinu a dalších, například narkotinu, kodeinu, papaverinu, thebainu. Jako mák opiový jsou označovány poddruhy máku setého využívané pro produkci opia. Výnos opia z hektaru některých poddruhů máku může být až 40 kg/ha, často se z něj nelegálně vyrábí heroin. Rostliny těchto poddruhů mají uvnitř vodivého lýka velké mléčnice. Po naříznutí makovice z ní vytéká bílý latex (šťáva), tj. opium (Vašák 2010). Největší množství latexu se z makovice získá přibližně 8. až 10. den po opadání korunních lístků, toto období je nazýváno stadiem „opiové zralosti“. Kapičky latexu na porušené makovici zaschnou, můžeme zde pozorovat změnu barvy z bílé na hnědou. Zaschlé opium je posléze seškrabáváno a dále zpracováváno v nelegálních laboratořích přes morfin až na heroin (Kubánek 2008).

Mák olejný, také označován jako semenný, je zastupován jedním poddruhem (ssp. *eurasiaticum*). Na produkci opia není vhodný, neboť téměř nevytváří latex. Nejvíce rozšířený je v Evropě (Vašák 2010; Procházka & Smutka 2012).

4.3.2 Podle využití

Máky potravinářské patří do skupiny máků semenných, protože hlavně semena, v různých barevných variantách, jsou v potravinářství dále využívána. Nejčastěji jako pochutina, zřídka pro olej (dříve byl ze semen olej lisován běžně a nahrazoval olej olivový). Suchá makovina (prázdné makovice se stonky maximální délky 15 cm) obsahuje minimum morfinu, jeho množství je proměnlivé, maximálně však dosahuje asi 1 % (Vašák 2010).

Máky průmyslové (technické) jsou využívány především pro extrakci alkaloidů pro farmaceutické účely (legální cestou). Nejčastěji jsou používány máky šedo-, černo- a modrosemenné, z jejichž suché makoviny je získáváno více než 1 % morfinu, často 1,5–2,5 % (maďarská modrosemenná odrůda Buddha). Nejsou ale výjimkou odrůdy máku s obsahem morfinu nad 3 %, které jsou pěstovány v Tasmánii. Extrakce alkaloidů, zejména morfinu, se provádí z makoviny. Používá se i makovina máků potravinářských, přestože obsahuje malé množství morfinu (Vašák 2010). Semena máků technických (sekundární produkt) se nezřídka používají při falšování potravinářského máku a snižují tím kvalitu produktu a jeho bezpečnost. Důvodem je vyšší obsahu alkaloidů v rostlině technického máku a tím pádem je zvýšené riziko ulpívání alkaloidů na semenech máku (Norn et al. 2005; SZPI 2013; EFSA (CONTAM) 2018).

Máky okrasné využívány především pro pestrobarevné květy jako okrasy v zahradách (Sabolová 2020).

4.3.3 Další rozdělení

Dle otevírání makovic označujeme typy máků jako hledák, slepák a přechodný typ. Hledáky jsou pro velkovýrobu nevhodné, z důvodu ztrát semen, která vypadávají otvory pod korunkou. Pro velké výnosy se proto pěstuje slepák, který otvory pod korunkou nemá. Jsou znázorněny na obrázku 2 viz výše. Další členění je podle genetického základu ozimosti na máky jarní a ozimé (Vašák 2010).

4.4 Technologie pěstování a zpracování máku

Česká republika je světovou velmocí, co se týká produkce a exportu makových semen. Zaujímá přibližně 33 % světové produkce makových semen. Výnosnost máku pěstovaného v České republice se v posledních letech (2010–2020) pohybuje mezi 500–900 kg/ha. Sklizňová plocha je proměnlivá a data z ČSÚ udávají, že v letech 2010–2020 byla 18,4–51,1 tisíc hektarů. Ročně se tak vyprodukuje průměrně 27 tisíc tun máku, z toho je pak do zahraničí vyvezeno až 85 % (Procházka & Smutka 2012; Přibík 2019; ČSÚ 2021).

Mák se stal plně mechanizovanou plodinou podle Schreiera v 70. letech minulého století (Schreier J & Zájeda J. 1994). Tento princip pěstování přetrvává až do současnosti. Mák se seje do řádků s roztečí 12,5–25 cm do hloubky 1–2 cm, na 1 m² je požadováno 70–100 rostlin a na každé z nich 1–2 makovice. Dnes se zdokonalováním pěstitelské technologie zabývá spolek Český modrý mák z.s. už od roku 1999. Jedná se zejména o výběr herbicidů, ochranu proto škůdcům, zdokonalení osiva, použití hnojiv a regulátorů dozrávání a šlechtění nových odrůd (Vašák 2010; Český modrý mák 2019).

Sklizně máku je nejčastěji prováděna žacími mlátičkami, termín sklizně závisí na druhu máku. Dalším faktorem zahájení sklizně je zralost máku a vlhkost. Maximální přípustná vlhkost makoviny je 17 % a semene 10 %. Při sklizni může snadno docházet ke ztrátám semen, zejména pokud je prováděna sklizně semen bez makoviny. Sklizní semen s makovinou se sníží ztráty z 25 % na pouhých 5 %. Sklizená makovina a mák jsou dále vystaveny posklizňovému ošetření (Cihlář et al. 2007; Vašák 2010; Havel 2018).

Posklizňové ošetření a skladování jsou procesy, které mají klíčový vliv jak na makovinu, tak na kvalitu semen. Směs makoviny a máku je v halách dosoušena (ideální vlhkost 8 %), aby se zabránilo vzniku plísní v makovině. Následně se provádí separace makoviny. Směs je plynule dávkována do čističky, kde se rovnoměrně rozloží na sítěch o průměru 6 mm. Díky tomu získáme makovinu bez jemného podílu (mák, prach), která se pak v závislosti na obsahu morfinu může dále zpracovávat. Předčištěný mák se potom dále čistí a zbavuje se příměsí, nečistot a prachu (Vašák 2010; Havel 2018).

Čištění máku se velmi liší od čištění ostatních zemědělských plodin. Jeho specifičnost spočívá ve vysokých nárocích na strojní vybavení a obsluhu. Při čištění se používají síta různých velikostí pro odseparování větších i menších částic, než je mák. Pro oddělení částic stejné velikosti (kamínky a semena plevelů např. merlík, laskavec) se používají pneumatické (gravitační) třídící stoly. Výsledný produkt musí dosahovat vysoké čistoty, 99,9 %. Klíčové je též velmi šetrná manipulace se semeny. Mechanické poškození snižuje kvalitu a jakost máku, způsobuje žluknutí a změnu chuti, hořkost (Vašák 2010; Havel 2018).

4.5 Složení máku

Mák je v populaci často spojován s obsahem alkaloidů, morfin, kodein, thebain a další. V mnoha nezávislých testech se zjišťují nadlimitní obsahy alkaloidů v produktech na trhu. Skutečností je, že zralá semena máku přirozeně neobsahují žádnou z těchto sloučenin. V rostlině máku setého se alkaloidy skutečně vyskytují. Až 80 opiových alkaloidů najdeme v celé rostlině i nezralých semenech. I když jsou české odrůdy pěstované pro potravinářský průmysl vyšlechtěny, pro nízký obsah alkaloidů v makovině (obsah morfinů do 1 %), do konečného produktu se alkaloidy dostanou při zpracování spolu se zbytky makoviny a nezralými semeny (Vašák 2010).

Existují i pozitivní látky, které v semeni máku najdeme například mastné kyseliny. V makovém oleji najdeme významné množství nenasycených mastných kyselin (olejová, linolová a α -linolenová kyselina). Linolová kyselina, omega-6, je zastoupená nejvíce (70–74 %), olejová méně (13–18 %) a nejméně α -linolenová, omega-3, (1 %). Obsah nasycených mastných kyselin představuje asi jen 11 %. Mák je také zdrojem vitamínů, obsahuje nezanedbatelné množství tokoferolů α , β , γ , a vitamínů skupiny B (B_1 , B_2 , B_3 , B_5 , B_6 , B_7 , B_9). Přirozený obsah tuku a vitamínu E (rozpuštěný v tucích) je kombinace, která zvyšuje využitelnost vitamínu E z máku v potravě (Český modrý mák 2019).

Mák je znám především pro svůj významný obsah vápníku, hořčíku, železa a zinku, obsahuje ale další nutričně významné prvky jako fosfor, draslík, sodík, měď, selen. Spolu s nutričně významnými prvky se v máku mohou nacházet i rizikové, kadmium, arsen, olovo, chrom, rtuť. Množství každého prvku v semeni se v dostupných zdrojích liší, důvodem může být obsah minerálních látek v půdě. Dalším faktorem ovlivňující množství minerálních látek je způsob (šetrnost) sklizně, odrůda aj. V tabulce 2 jsou zaznamenána data obsahů zmíněných prvků, zjištěná z dostupných databází. O vlivu minerálních látek na lidské zdraví se pojednává v následujících odstavcích (Výskumný ústav potravinářský 2010; USDA 2018; Český modrý mák 2019; ÚZEI 2020).

4.6 Požadavky na kvalitu semene máku

Spotřebitelé v České republice jsou zvyklí na vysoké kvality máku. Jakost máku je hodnocena podle vícero hledisek (technologické, nutriční, hygienicko-toxikologické, sensorické). Zdravotní nezávadnost je regulována Zákonem o potravinách (Zákon č. 110/1997 Sb.). Vyhláška č. 399/2013 Sb. je prováděcím předpisem zákona o potravinách a najdeme v něm požadavky na olejnatá semena. Česká cechovní norma (Modrý mák) z roku 2019 pak udává požadavky na sensorické vlastnosti a také složení (Potravinářská komora České republiky 2019). Další značkou kvality máku je chráněné zeměpisné označení, které bylo registrováno 9. 2. 2021 pod označením Český modrý mák. Produkty, které nesou toto označení pak musí splňovat další kritéria (Evropská komise 2021).

V Tabulce 1 jsou představené požadavky na kvalitu makových semen z Vyhlášky č. 399/2013 Sb. Jakost máku je rozlišována na dvě třídy (1. jakost a 2. jakost). Z hlediska technologické kvality musí mák 1. jakosti obsahovat maximálně 8,0 % a mák 2. jakosti maximálně 10,0 % vlhkosti z celkové hmotnosti. Hygienicko-toxikologická jakost pak zahrnuje limity příměsí a látek nebo sloučenin, kterými je mák kontaminován a které mohou mít potenciálně toxický či jiný nežádoucí účinek. Konkrétní sledované parametry a jejich limity jsou představené v Tabulce 1, v případě překročení některého z limitů, nesmí být mák uveden na trh. V obsahu morfinových alkaloidů je Česká cechovní norma přísnější než Vyhláška č. 399/2013 Sb. a uvádí 20 mg/kg jako nejvyšší přípustný obsah.

Tabulka 1: Požadavky na jakost olejnatých semen

Barva semen	modrá	nejvýše 0,2 % hmotnosti máku bílého	
	bílá nebo směs barev	nad 0,2 % hmotnosti máku bílého	
Vlhkost	1. jakost	nejvýše 8,0 % hmotnosti	
	2. jakost	nejvýše 10,0 % hmotnosti	
Semena nevybarvená tmavá až černá		nejvýše 5,0 % hmotnosti	
Příměsi a nečistoty celkem		nejvýše 8,0 % hmotnosti	
z toho:			
a)	semena nevyzrálá rezavé barvy	nejvýše 5,0 % hmotnosti	
b)	poškozená semena	nejvýše 3,0 % hmotnosti	
c)	nečistoty	celkem 1. jakost	nejvýše 0,2 % hmotnosti
		celkem 2. jakost	nejvýše 1,0 % hmotnosti
d)	semena blínu černého (<i>Hyoscyamus niger</i> L.)	nejvýše 0,00 % hmotnosti	
e)	semena laskavce a merlíku	nejvýše 0,2 % hmotnosti	
f)	anorganické nečistoty	nejvýše 0,0 % hmotnosti	
g)	obsah kadmia	nejvýše 0,8 mg/kg	
h)	obsah arsenu	nejvýše 0,1 mg/kg	
i)	obsah rtuti	nejvýše 0,012 mg/kg	
j)	obsah olova	nejvýše 1,0 mg/kg	
k)	obsah morfinových alkaloidů	nejvýše 25 mg/kg	

31.8.2021 vyšlo v platnost nové Nařízení Komise (EU) 2021/1323, ve kterém byly stanoveny nové maximální limity kadmia v některých potravinách včetně makových semen. Limit byl stanoven na 1,2 mg/kg čerstvé hmotnosti. Dále je v Nařízení Komise (EU) 2021/1323 uvedeno doplnění: „Potraviny uvedené na seznamu v příloze, jež byly v souladu s právními předpisy uvedeny na trh před vstupem tohoto nařízení v platnost, mohou na trhu zůstat do dne 28. února 2022.“ Po tomto datu již nebude možné uvádět na trh produkty s vyšším obsahem kadmia, než je 1,2 mg/kg. Toto nařízení by nemělo nijak ovlivnit český trh, protože Vyhláška 399/2013 Sb. má stanovený limit dokonce o 4 desetiny nižší.

Senzorické vlastnosti mají také podíl na kvalitě máku. Je požadován ledvinovitý tvar semen, velikost okolo 1 mm a typická zvrásněnost semen. Semena musí být zdravá, vyzrálá, nepoškozená a schopna skladování. Co se týká bravy, jsou podle Vyhlášky 399/2013 Sb. uznávány tři podskupiny máku: modrý, bílý a barevný. Do barevného máku jsou zařazeny ostatní nepřilíš typicky barevné odrůdy, šedý, oranžový, okrový, růžový. Chuť by měla být typicky maková a sladká, bez známek žluknutí, hořkosti, kyselosti a jiných cizích příchutí. Vůně je požadována výrazná maková bez cizích pachů (Potravinářská komora České republiky 2019).

Nutriční hodnota semen máku je jedinečná, co se týká skladby živin. Obsahem v semeni máku převládá tuk, tvoří až 47 % celkové hmoty. Bílkoviny zaujímají okolo 20 % celkového objemu semene. Semeno máku není příliš významným zdrojem sacharidů, obsahuje pouze okolo 3 %.

Bylo v něm ale zjištěno významné množství vlákniny, jejíž obsah se ve zjištěných zdrojích pohybuje v rozmezí 14–23 %. Energetická hodnota máku se pohybuje v rozmezí 495–537 kcal, což odpovídá 2043–2241 kJ (Výzkumný ústav potravinářski 2010; USDA 2018; Český modrý mák 2019; ÚZEI 2020).

4.7 Minerální prvky a jejich vliv na lidský organismus

Tabulka 2: Seznam prvků detekovatelných v máku a jejich obsah v semeni

Prvek	obsah v modrém máku (mg/100 g)
Vápník	1140–1500
Fosfor	870–1010
Draslík	720–830
Hořčík	350–380
Sodík	4–26
Železo	8,75–9,7
Zinek	6,79–8,7
Měď	1–2
Selen	0,0135
Chrom	0,21–0,297
Kadmium	0,05
Olovo	0,0027–0,0304
Arsen	0,161
Rtuť	nedetekováno

4.7.1 Vápník

Ze zmíněných prvků je vápník nejvíce zastoupenou minerální látkou v semeni máku. Jeho obsah se pohybuje v rozmezí 1140–1500 mg/100 g (Výzkumný ústav potravinářski 2010; USDA 2018; Český modrý mák 2019; ÚZEI 2020). Pro porovnání: sklenice kravského mléka (300 ml) obsahuje přibližně stejné množství vápníku jako 30 g máku (cca 3 makové koláče). Doporučená denní dávka vápníku pro dospělého člověka je 1 g. Dostatečný příjem vápníku je důležitý pro tvorbu zubů, kostí a prevenci osteoporózy. Vápník má vliv také na srážlivost krve, produkci hormonů, přenos nervových impulzů a činnost srdce. Absorpce vápníku organismem je ovlivňována mnoha faktory, jedním z nich je vyšší příjem fosforu oproti vápníku (Kvasničková 1998; FAO 2001; Kunová 2017).

4.7.2 Fosfor

Doporučenou denní dávku fosforu spolehlivě pokrývá množství (870–1010 mg) obsažené ve 100 g máku (USDA 2018; Český modrý mák 2019; ÚZEI 2020). Fosfor je po vápníku druhou nejrozšířenější minerálií v lidském těle. Kromě toho, že je stejně jako vápník důležitý při mineralizaci zubů a kostí, je důležitou strukturální součástí buněk (ATP, DNA, fosfolipidy,

glykolýza atd.). Nedostatek fosforu je při normální stravě velmi vzácný. Nadbytek fosforu může způsobovat odvápnění kostí či křeče (Kvasničková 1998; Kunová 2017; Informační centrum bezpečnosti potravin 2021).

4.7.3 Hořčík

Dalším bohatě zastoupeným prvkem v máku je hořčík, jeho hodnoty dosahují téměř 400 mg/100 g (USDA 2018; Český modrý mák 2019; ÚZEI 2020). Absorpce hořčíku v organismu je negativně ovlivňována vyšší koncentrací vápníku a fosforu. Doporučená denní dávka hořčíku činí přibližně 357 mg. V lidské těle je hořčík zodpovědný za správnou činnost svalů a srdce. Spolu s draslíkem se podílí i na přenosu nervového podnětu. Při nedostatku můžeme pozorovat svalové křeče, únavu či bolesti hlavy (Kvasničková 1998; FAO 2001; Kunová 2017).

4.7.4 Draslík

Draslík je třetím nejvíce zastoupeným prvkem v máku (720–830 mg /100 g), v lidském organismu je nachází v intracelulárním prostoru buněk (USDA 2018; Český modrý mák 2019; ÚZEI 2020). Společně se sodíkem, ve formě sodíko-draslíkové pumpy, vytváří membránový potenciál a tím významně ovlivňují fungování nervové a svalové činnosti. Nedostatek draslíku při běžné stravě téměř nenastává, běžně se vyskytuje v mléčných výrobních, obilovinách, ovoci, zelenině a dalších dostupných potravinách. Nadbytečný draslík je vylučován ledvinami, předávkování nastává většinou v případě jejich poškození. Normální denní dietetický příjem draslíku se pohybuje okolo 2000 mg, ten by měl být doplňován podobným množstvím přijatého sodíku (Kvasničková 1998; Weaver 2013; Kunová 2017).

4.7.5 Sodík

Sodík není v máku příliš významně zastoupen, zaujímá pouhých 4–26 mg/100 g (USDA 2018; Český modrý mák 2019; ÚZEI 2020). V lidském těle se vyskytuje v extracelulárních tekutinách, kde ovlivňuje jejich objem a stabilitu vnitřního prostředí. Nízký obsah sodíku můžeme vnímat jako pozitivum, neboť je všeobecně ve společnosti konzumován v nadbytečném množství ve formě kuchyňské soli. Nadbytek a nedostatek negativně ovlivňují činnost ledvin, které na nadbytek sodíku reagují zvýšeným vylučováním a na nedostatek naopak jeho zadržováním. Denní dávka sodíku by neměla překročit 2400 mg (Kvasničková 1998; Pasquale & Leclercq 2014; Kunová 2017).

4.7.6 Železo

Železo je významným stopovým prvkem pro lidský organismus a jeho obsah v máku se pohybuje okolo 9 mg/ 100 g. Stejně množství železa najdeme ve 400g hovězím steaku (USDA 2018; Český modrý mák 2019; ÚZEI 2020). Nejlépe dostupné je pro lidský organismus hemové železo, které získáváme především z živočišných výrobků. Vitamín C zvyšuje vstřebatelnost železa v trávicím traktu. V rostlinných zdrojích je často železo vázáno na fytáty

nebo fenolické sloučeniny a stává se tak pro lidský organismus nevyužitelné. Proto i doporučený denní příjem železa je ovlivněn jeho biologickou dostupností z potravy (udává se v %). Organizace pro výživu a zemědělství (Food and Agriculture Organization, dále už jen „FAO“) a Světová zdravotnická organizace (World Health Organization, dále už jen „WHO“) proto vytvořili čtyři úrovně biologické dostupnosti železa v potravě a stanovili podle nich doporučený denní příjem železa pro děti, ženy a muže v různých věkových kategoriích. Průměr pro dospělého člověka se pak pohybuje od 10 do 30 mg/den. Při nedostatku železa může nastat chudokrevnost, únava či poruchy imunity. Dlouhodobý nadbytek způsobuje akumulaci železa ve tkáních. Při okamžitém nadměrném příjmu (200–250 mg/kg živé hmotnosti) může být železo pro člověka extrémně toxické. Akutní otrava se projevuje zvracením a krvavým průjmem, který je způsoben poškozením střev (Kvasničková 1998; FAO 2001).

4.7.7 Zinek

Neméně důležitým stopovým prvkem, který má v lidském těle významnou roli, je zinek, v semeni máku ho bylo detekováno 7–8,7 mg/100 g (USDA 2018; Český modrý mák 2019; ÚZEI 2020). Po železe je druhým nejčastěji se vyskytující přechodný kov v těle (průměrný obsah 2 g v celém organismu). Je součástí mnoha enzymů a hormonů, jedním z nich je inzulín. Napomáhá mu prodlužovat glykemický efekt, působí pozitivně na prostatu a plodnost mužů a je nezbytný při růstu a vývoji organismu. Nedostatek způsobuje poruchy růstu, sexuálního vývoje a imunitního systému. Díky nižšímu iontovému poloměru může kationt zinečnatý rychleji obsadit cílová místa v proteinech a tím snižuje toxicitu kadmia. Doporučený příjem se podle FAO/WHO pohybuje v jednotkách mg denně v závislosti na věku dané osoby a také na přijímaných potravinách. Zinek je v potravinách často vázán na jiné sloučeniny (např. fytáty) a je pro tělo tak prakticky nevyužitelný. FAO společně s WHO rozdělili denní potřebu zinku do tří skupin podle jeho dietetické využitelnosti z konzumovaných potravin lidským organismem (vysoká/střední/nízká). Například příjem muže, 18 let se střední denní potřebou zinku by měl být 8 mg na den (Kvasničková 1998; FAO 2001).

4.7.8 Měď

Dalším představitelem esenciálních prvků je měď. Mák se svým obsahem mědi (1–2 mg/100 g) snadno konkuruje ořechům (mandle, vlašské, lískové atd.), které jsou doporučovány jako zdroj mědi a dalších nutričních prvků (USDA 2018; Český modrý mák 2019; ÚZEI 2020). Funkce mědi v organismu nemůže být nahrazena jiným kovem. Ve tkáních a krvi se váže na proteiny („metaloprotein“) a stává se tak součástí mnoha enzymů a biokatalyzátorů. Přispívá tak s normálnímu přenosu železa v krvi, proto i nedostatek mědi může být spojován s anémií. Dále se podílí na normální činnosti nervové soustavy, ochraně buněk před oxidačním stresem a také přispívá k normální pigmentaci pokožky a vlasů. Z deficitu, který bývá způsoben jednostrannou výživou, mohou vznikat anémie, poruchy imunity, růstu vlasů, pigmentace aj. Nadbytek je rizikový zejména pro malé děti např. v případech nadměrného množství mědi ve vodě (Kvasničková 1998; Informační centrum bezpečnosti potravin 2021).

Doporučená dietní dávka pro děti do 18 let je v rozmezí 0,340–0,890 mg na den a 0,9 mg/den pro dospělé. Přičemž by denní příjem neměl přesáhnout 10 mg denně. Otravy jsou velmi vzácné, protože konzumací běžných potravin a vody není jednoduché přesáhnout hranici 10 mg (Eske 2020).

4.7.9 Selen

Jedním z nejméně zastoupených esenciálních prvků v máku je selen (0,0135 mg/100 g), jeho nezbytnost pro fungování lidského těla byla prokázána teprve v roce 1957. Do té doby byla zkoumána především jeho toxicita (Kvasničková 1998; USDA 2018; Český modrý mák 2019; ÚZEI 2020). Jeho největším přínosem pro člověka je schopnost vázat volné radikály a tím působí jako antioxidant a snižuje oxidační stres. Jeho schopnost chránit buňky před volnými radikály je spojována s prevencí rakoviny. Výživová doporučení odborníků ohledně příjmu selenu se rozcházejí, rozsah doporučené denní dávky by se tak pohyboval v rozmezí setin až desetin miligramů. Podle FAO a WHO je denní dávka okolo 0,02–0,04 mg, horní hranice přípustné dávky je 0,4 mg pro dospělého člověka.

Toxicita selenu je závislá na jeho chemické formě, anorganické sloučeniny jsou více toxické než organické. Chronická otrava (selenóza) nastává při dlouhodobém užívání vysokého množství selenu (více než 2 mg/den) a projevuje se nevolnostmi, únavou, ztrátou vlasů, změnami na nehtech (Kvasničková 1998, FAO 2001; Informační centrum bezpečnosti potravin 2021). V roce 2008 byl v Americe zaznamenán případ otravy selenem u několika osob. Bylo zjištěno, že osoby konzumovaly doplněk stravy, na kterém bylo uvedené špatné množství selenu. Výrobek deklaroval, že obsahuje 0,2 mg selenu v jedné dávce, testy Úřadu pro kontrolu léčiv pak stanovily ve výrobku koncentraci selenu 40,8 mg, což je přibližně 200násobek deklarovaného množství. Společnost produkt následně stáhla z trhu (MacFarquhar et al. 2010).

4.7.10 Chrom

Další prvek, který se v máku vyskytuje je chrom, jeho zastoupení se diametrálně liší v závislosti na produkčních oblastech, odkud byl odebrán. Ve vzorcích z experimentálních a produkčních oblastí na Slovensku bylo detekováno množství chromu v rozmezí 0,0206–0,0297 mg/100 g. Oproti tomu vzorky z Turecka obsahovaly chromu značně více (0,23–0,52 mg/100 g) (Salamon & Fejér 2011). Účinky chromu na lidský organismus jsou rozdílné podle toho, zda se jedná o trojmocný nebo šestimocný chrom.

Zatímco šestimocný (VI) chrom je všeobecně označován jako toxický, karcinogenní a bez jakékoliv nutriční hodnoty, trojmocný (III) byl historicky považován za základní prvek (Wise & Wise Sr 2012). Esencialista chromu (III), pozitivní vliv na organismus a mechanismy působení jsou dodnes diskutovány. Vládní úřady Austrálie, Nového Zélandu a Spojených států považují chrom za esenciální stopový prvek, který má významnou roli při působení inzulínu. Uvádějí adekvátní denní příjem v rozmezí 0,025–0,035 mg na den. Maximální tolerovatelná dávka není

stanovena, ale doporučují obezřetnost při konzumaci vyššího množství (Australian Government 2014 & National Institutes of Health 2021). Neexistují důkazy o mechanismech působení trojmocného chromu v organismu, ani záznam o nedostatku a příznacích nedostatku. Evropský úřad pro bezpečnost potravin (EFSA) proto neuznává chrom (III) jako esenciální prvek a udává, že nastavení adekvátního příjmu pro chrom není vhodné (EFSA (CONTAM) 2014).

4.7.11 Kadmium

Kadmium, rizikový prvek toxický pro lidský organismus, jeho koncentrace v semenech máku uvedených na trh je však regulována a nejvyšší možné množství je v české legislativě dokonce přísnější než v nejnovějším nařízení Evropské unie. Ve Vyhlášce č. 399/2013 Sb. je maximální povolené množství kadmia ve 100 g produktu je 0,08 mg. Nové Nařízení Komise (EU) 2021/1323 platné od 31.8.2021 uvádí nejvyšší možnou koncentraci 0,12 mg/100 g čerstvé hmotnosti. Toto stanovisko ke kadmii v potravinách bylo přijato na základě doporučení Evropského úřadu pro bezpečnost potravin (The European Food Safety Authority) déle už jen „EFSA“ (2012), kde jsou uvedena doporučení maximální přípustné dávky pro lidský organismus a následky způsobené zvýšenou expozicí kadmii. Maximální tolerovatelný týdenní příjem se uvádí jako 2,5 µg/kg živé hmotnosti, to znamená, že pro osobu vážící 70 kg je maximální denní dávka 25 µg kadmia v potravě (tj. 0,025 mg).

Z laboratorní analýzy spolku Český modrý mák (2019) byl zjištěn obsah kadmia v makových semenech (0,05 mg/100 g), což je stále téměř dvakrát nižší než nově stanovený limit. Tento prvek je řazen mezi kumulativní jedy, to znamená že se při dlouhodobé expozici na organismus hromadí ve vnitřních orgánech, svalech a tukových tkáních. Nejvíce postiženým orgánem při chronické otravě kadmii jsou ledviny, kde dlouhodobé hromadění kadmia způsobuje nevratné poškození. Akutní otrava požitím kadmia z vysoce kontaminované potravy vyvolává podráždění žaludku, nevolnosti až zvracení. Může být doprovázena také průjmy, svalovými křečemi a bolestmi hlavy. Intoxikace kadmii je velmi častá v průmyslu inhalací emisí, ale také kouřením, další cesta intoxikace je požitím kontaminované vody nebo potravin, které jsou kontaminovány především z půdy, kam se kadmium dostává nejčastěji atmosférickým spadem (Slíva 2005, EFSA 2012; Rahimzadeh et al. 2017).

4.7.12 Olovo

Další pro člověka toxický prvek, kterým může být mák kontaminován, je olovo. Ve vzorcích z experimentálních a produkčních oblastí v Čechách a na Slovensku bylo detekováno různé množství olova (0,0027-0,0304 mg/100 g). Ve vzorcích z Turecka bylo odhaleno až pětinasobně větší množství (0,16 mg/100 g) (Salamon & Fejér 2011). Nařízení komise (EU) 2021/1317 udává limit 0,09 mg/100 g pro semena, Česká republika má tento limit specifikován přímo pro semena máku a ve Vyhlášce č. 399/2013 je maximální povolený obsah olova 0,01 mg/100 g a je oproti nařízení EU nižší.

Maximální tolerovatelný denní příjem pro dospělého člověka není stanoven. EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain (CONTAM) (2010) dospěl k závěru, že hodnota dočasně stanovená odborníky z WHO a FAO (25 µg/kg živé hmotnosti), již není vhodná, protože neexistuje důkaz o přesné hraniční hodnotě. Z výsledků vyplývá, že by přibližná denní dávka dospělého člověka neměla přesáhnout 1,5 µg/kg živé hmotnosti na den, aby se předešlo jeho toxickým účinkům. Negativními účinky působení olova na lidský organismus jsou poruchy ledvin a jater, krevního tlaku a neurotoxicita. Nejrizikovější skupinou jsou děti, u nich je olovo snadněji absorbováno do těla a má vliv na nervový vývoj dítěte (snížení inteligence, pomalá schopnost učení), narušení imunity. Maximální odhadovaná dávka činí 0,5 µg/kg živé hmotnosti pro zachování správného vývoje dítěte.

4.7.13 Arsen

Arsen je další rizikový prvek, který se může vyskytovat v máku. Ve vzorku z nádobového experimentu, který prováděl Tlustoš et al. (1997), bylo nalezeno 0,161 mg arsenu na 100 g hmoty. Obsah arsenu v máku je limitován Vyhláškou č. 399/2013, jehož hodnotu naleznete v tabulce 1. Toxicita tohoto prvku je závislá na jeho formě.

Organická forma nevykazuje tak závažné toxické účinky jako anorganický arsen. Po požití nedochází v trávicím traktu k velkým biologickým transformacím a je vyloučen téměř nezměněn. Na druhé straně anorganický arsen je považován za prokázaný karcinogen. Při dlouhodobém působení je lidský organismus vystavován riziku vzniku různých karcinomů, například kůže, měchýře, plic, ledvin, jater a prostaty. Kromě toho je expozice také spojena se změnami gastrointestinálních, kardiovaskulárních, hematologických, plicních, neurologických, imunologických a reprodukčních/vývojových funkcí. U vysoce exponovaných dětí bylo hlášeno, že expozice anorganickému arsenu souvisí s rozvojem rakoviny a plicních onemocnění později v životě (Hojsak et al. 2015). EFSA označili anorganický arsen za bezprahový karcinogen, jakákoli expozice představuje riziko a nelze stanovit žádnou přijatelnou úroveň příjmu. EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain (CONTAM) (2009) přesto určili spodní hranici referenčního limitu spolehlivosti dávky v rozmezí 0,3–0,8 µg/kg živé hmotnosti na den, kde ale stále nelze vyloučit riziko toxicity.

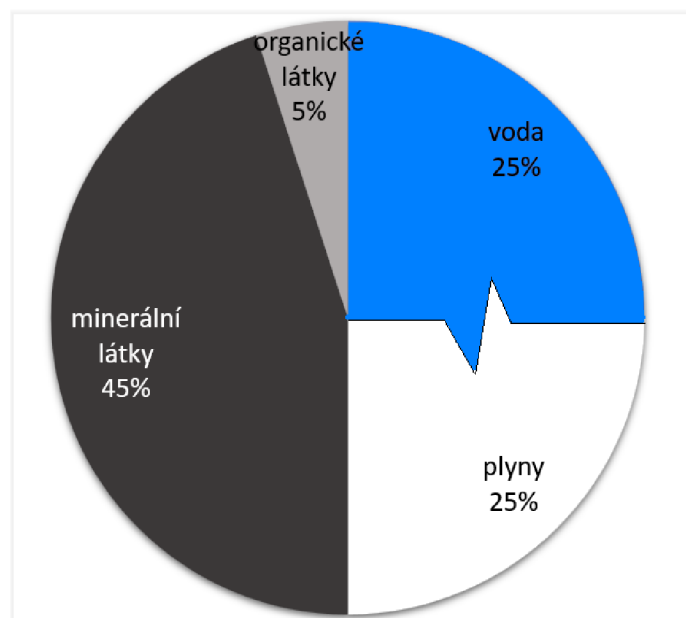
4.7.14 Rtuť

Rtuť je kov, který je toxický a potenciálně by se mohl vyskytovat v máku. Stanovení z dostupných databází neprokázaly obsah rtuti v máku, přesto je ve Vyhlášce č. 399/2013 stanovený limit viz tabulka 1. Evropská unie nemá limit rtuti konkrétně v semenech máku, ale zabývá se otázkou omezení kontaminace životního prostředí rtutí. Toxicita rtuti záleží na její formě. Obecně lze říci, že největší riziko spočívá v její schopnosti bioakumulace (hromadění v organismech) (Mališová et al. 2017). Do životního prostředí se dostává ve formě emisí produkovaných lidskou činností či z přírodních zdrojů např. sopečnou aktivitou. V půdě ji pak můžeme nalézt díky atmosférickému spádu (Pacyna 2006).

4.8 Příjem minerálních látek rostlinou z půdy

4.8.1 Půda

Nejsvrchnější vrstvu zemské kůry tvoří půda. Je směsí organických látek, minerálů, kapalin a organismů, které společně vytváří základ pro růst rostlin. Zjednodušeně se půda skládá z pevné části (minerální 45 % a organické 5 % látky) a druhou část zaujímají póry. Póry prostupují plyny a voda, jejich poměr je proměnlivý. Kapalná část, která zaujímá přibližně 25 % z celkového složení půdy, není nikdy čistá voda. Obsahuje další rozpuštěné organické a minerální látky, a proto ji přesněji nazýváme půdní roztok (Laník & Halada 1960; Šimek et al. 2019). Obrázek 3 vytvořený na základě výše zmíněných informací demonstruje rozložení jednotlivých půdních fází. Pevná fáze složená z minerální a organické složky zaujímá jednu polovinu grafu a druhá polovina je prolínající se plynná a kapalná fáze.



Obrázek 3: Zjednodušený graf znázorňující složení půdy

4.8.2 Půdní roztok

Kapalná fáze půdy je půdní voda, která svými dispergačními, rozpouštěcími, hydrolytickými a transportními účinky zajišťuje vláhu a přísun živin pro rostliny. Vlivem působení vody na půdní minerály se z nich uvolňují ionty a vytváří tak půdní roztok. Koncentrace minerálních látek obsažených v půdě je pak závislá na řadě faktorů (např. fyzikální, chemické a biologické procesy, čerpání živin rostlinou, hnojení atd.). Prvky se převážně v půdním roztoku vyskytují jako kationty či anionty, se zvyšujícím se pH pak tvoří komplexy zvané cheláty. Tyto živiny jsou pak půdním roztokem transportovány ke kořenům rostlin a dále pak do buněk rostlin. Další možností pohybu půdního roztoku je vertikální transport v půdním profilu. To znamená, že jsou živiny vyplavovány pod úroveň kořenového systému a nejsou pro rostliny dostupné (Šimek et al. 2019). Pohyb vody v půdě je pak

ovlivňován druhem půdy, změnou vodního potenciálu, pufracími schopnostmi, velikostí pórů, vlhkosti půdy aj. (Hornburg & Brümer 1993).

4.8.3 Živiny

Pro rostliny, stejně tak jako pro lidi, existuje množství prvků, které jsou pro jejich život a správný vývoj a růst nezbytné. Od základních biogenních prvků (uhlík, vodík, kyslík), makroživin/makroprvků (dusík, síra, fosfor, draslík, vápník, hořčík), jichž je třeba větší množství. Až po mikroživiny/mikroprvky (železo, mangan, zinek, měď, molybden, nikl, chlór, bor), které svou přítomností též ovlivňují růst rostliny, ale jejich množství se pohybuje v jednotkách maximálně desítkách mikrogramů na gram sušiny (Schulze et al. 2019). Nedostatek jakékoli živiny znemožňuje rostlině dokončit vývojový cyklus. Různé prvky mají odlišné projevy nedostatku na rostlině. Na rostlině můžeme při nedostatku některých prvků pozorovat zpomalení růstu či zakrnění, deformaci či změnu barvy listů až smrt. Dále existují prvky doplňkové, které mají některé rostliny určité benefity, ale nejsou nezbytně nutné k jejímu vývoji (křemík, sodík, kobalt, selen). Celkově je to 17 živin, které jsou pro rostliny esenciální, kromě základních biogenních prvků jsou shrnuty v tabulce 3 s vyčísleným množstvím, které je pro rostlinu ideální (Whitehead 2000).

Tabulka 3: Adekvátní koncentrace makroživin a mikroživin v rostlině (Schulze et al. 2019)

Prvek	Chemická značka	Adekvátní koncentrace v $\mu\text{g/g}$ sušiny
<i>Makronutrienty</i>		
Dusík	N	15000
Draslík	K	1000
Vápník	Ca	5000
Hořčík	Mg	2000
Fosfor	P	2000
Síra	S	1000
<i>Mikronutrienty</i>		
Železo	Fe	100
Mangan	Mn	50
Zinek	Zn	20
Měď	Cu	6
Molybden	Mo	0,1
Nikl	Ni	0,005
Chlor	Cl	100
Bor	B	20

4.8.4 Toxické minerální látky

Některé mikronutrienty a benefiční prvky se mohou snadno stát pro rostlinu toxickými (mangan, křemík, hliník, sodík, bor). Adekvátní dávka je u nich totiž velmi nízká a při špatně zvolené dávce (vyšší množství) může mít pak prvek na rostlinu toxické účinky. Dále jsou pak prvky, které nejsou pro růst rostliny nijak užitečné, jsou jimi např. arsen, kadmium, olovo, rtuť (Hornburg & Brümer 1993). Často mají podobnou chemickou strukturu jako esenciální prvky a jsou tak snadno zabudovávány přímo do buněk rostliny. Takovými prvky jsou například arsen a kadmium. Anion arseničnanový (AsO_4^{3-}) je velmi podobný fosfátovému aniontu (PO_4^{3-}) a kadmium má velmi podobné chemické charakteristiky jako esenciální zinek. Transportéry živin nedokážou rozlišit rozdíl mezi kademnatými ionty (Cd^{2+}) a ionty zinečnatými (Zn^{2+}) (Cibulka et al. 1991). Toxicita se může projevovat vnějšími změnami rostliny, existují však druhy rostlin, které dokážou hromadit rizikové prvky v různých orgánech bez projevů toxicity. Mezi tyto rostliny patří i mák se svou schopností akumulovat kadmium v celé rostlině a nejvíce v semenech (Salamon & Fejér 2011; Schulze et al. 2019). Zvýšenou akumulaci Cd v semenech oproti ostatním částem makové rostliny potvrdily následující studie.

Smrček a Pavelka (1992) zkoumali kontaminaci máku pěstovaného v oblasti Nového Jičína. Analýza půdy před setím ukázala, že kontaminace maximálně 0,343 mg Cd na 1 kg půdy. Podle výsledků analýzy jednotlivých částí rostliny se nejvyšší množství Cd nahromadilo v semenech, o něco méně v kořenech a tobolkách. Nejméně Cd bylo ve stoncích rostliny. Navzdory relativně nízké koncentraci Cd v půdě byly rostliny schopné akumulovat mnohem vyšší množství v semenech (od 0,256 do 2,3 mg/kg).

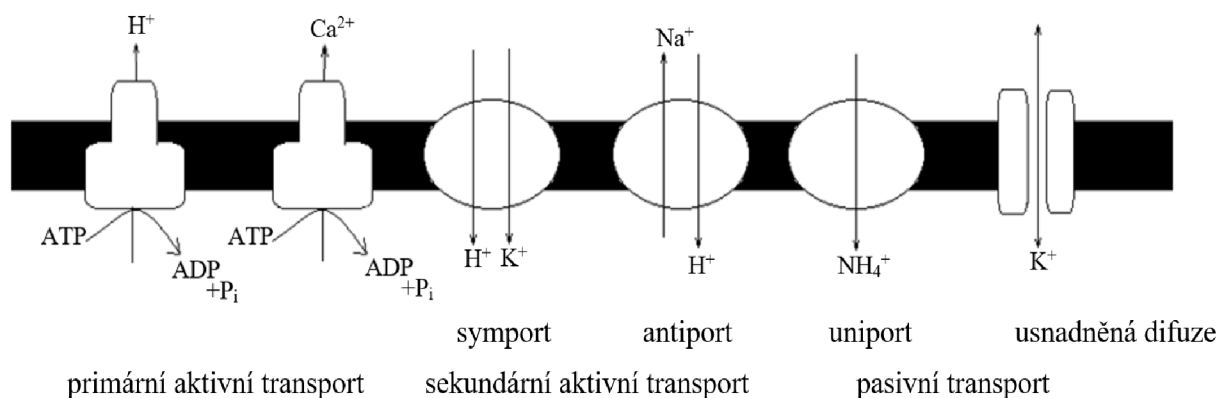
Studie Pavlíkové et al. (2007) se zabývala vlivem množství Cd v půdě na jeho akumulaci v rostlině. Mák byl pěstován na dvou odlišných typech půdy s rozdílnou celkovou kontaminací kadmiiem (luvisol 0,18 mg Cd/kg půdy; černozem 17,56 mg Cd/kg půdy). Stejně jako u předchozí studie, výsledky ukázaly vyšší akumulaci Cd v semenech než v tobolkách a stoncích s listy. Obsah Cd v semenech máku pěstovaného na luvisolu byl přibližně dvakrát vyšší než obsah Cd v půdě. Naproti tomu obsah Cd v semenech máku pěstovaného na vysoce kontaminované černozemi byl okolo 4 mg /kg. Rostlina máku dokáže akumulovat Cd i z méně kontaminovaných půd. Nicméně, na více kontaminovaných půdách akumulace Cd v semenech rapidně stoupá.

4.8.5 Výživa rostlin

Rostliny jsou schopné přijímat živiny všemi svými orgány (kořen, stonek, listy). Převážná část živin je však přijímána kořenovým systémem z půdního roztoku. Živiny jsou přijímány z půdního roztoku ve formě kationtů a aniontů. V závislosti na způsobu přechodu prvku přes plazmatickou membránu rozlišujeme 2 kategorie transportu, jsou jimi pasivní a aktivní transport (Schulze et al. 2019).

Usnadněná difuze je forma pasivního transportu, který je energeticky výhodný, protože následuje elektrochemický protonový gradient. K přenosu prvku je zapotřebí protein zabudovaný v membráně, který difuzi usnadňuje. Typickým prvkem, který je takto přenášen, je draslík. Naproti tomu aktivní transport pohybuje s ionty proti koncentračnímu gradientu. Tento pohyb je tedy prováděn z místa o nižší koncentraci do místa o koncentraci vyšší nebo proti opačnému náboji vyskytujícímu se na plazmatické membráně (Marschner 2012).

Primární aktivní transport je prováděn pomocí přenašeče, který je poháněn hydrolýzou adenosin trifosfátu (ATP). Díky dodané energii probíhá proti koncentračnímu gradientu, ale může přenášet pouze jednu částici. Sekundární aktivní transport rozlišujeme podle počtu přenášených částic na uniport (probíhá přenos jedné částice nebo iontu) a kotransport (přenosu se účastní dvě a více molekul nebo iontů). Kotransport se dále dělí na symport a antiport, podle toho, jakým směrem se částice pohybují. Při antiportu se jeden prvek pohybuje proti koncentračnímu gradientu a druhý koncentrační gradient následuje. Při symportu jsou přenášeny dvě částice stejným směrem (Taiz & Zeiger 2006). Na obrázku 4 jsou schematicky zobrazeny výše zmíněné druhy transportu.



Obrázek 4: Druhy transportu (upraveno podle Marschner (2012))

4.8.5.1 Příjem kadmia rostlinou

Kadmium je rostlinou přijímáno téměř výhradně kořenovým systémem. Ke kořenům rostliny se dostává díky difuzi a hmotovému toku půdního roztoku půdními póry. Zároveň rostlina produkuje organické kyseliny do okolí svých kořenů. Tím, že se kademnaté kationty do bezprostřední blízkosti kořenů, dochází k reakci Cd s organickými kyselinami a vzniká chelát. Tím se zvýší difúzní gradient a urychlí se příjem prvku do buněk rostliny. Transport z vnějšího prostředí do skrz buněčné membrány je pasivní, ionty jsou přenášeny difuzí (Tlustoš et al. 2006).

4.9 Stanovení prvků

Pro stanovení minerálního složení zkoumaného vzorku existuje více metod. Liší se principem, přesností měření, rozsahem koncentrací, možnostmi stanovovat kovové i nekovové prvky či způsobem přípravy vzorku. Pro většinu metod je nutná mineralizace vzorků, to znamená odstranění organického podílu spalováním (suché/mokrý) a hlavně převod vzorku z tuhé do kapalné fáze. Příkladem takových metod jsou: optická emisní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem (ICP OES); hmotnostní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem (ICP MS); elektrochemické metody; atomová absorpční spektrometrie (AAS) (García & Báez 2011; Robinson et al. 2021). Existují i metody, u kterých nemusí dojít k rozložení (destrukci) vzorku, aby mohl být změřen obsah prvků, např. rentgen fluorescenční spektroskopie.

4.9.1 Rentgen fluorescenční (XRF) spektroskopie

Rentgen fluorescenční spektroskopie je rychlá, přesná a nedestruktivní analytická metoda pro kovové i nekovové materiály. Může být používána pro kvalitativní i kvantitativní měření. Lze ji použít pro všechny prvky periodické tabulky s protonovým číslem vyšším než 12 s výjimkou prvků označovaných jako vzácné plyny a většinu aktinoidů (posledním prvkem, který lze stanovit je uran). Lze takto během jedné minuty stanovovat prvky o koncentracích od jednotek ppm (parts per milion) až po desítky procent s přesností až 99,7 % (Beckhoff et al. 2007). Další výhodou je, že existují varianty ručních přístrojů XRF spektroskopie, které jsou přenosné a mohou tak být používány mimo laboratoř (Moioli & Seccaroni 2000).

Principem je ionizace atomů na povrchu vzorku primárním rentgenovým zářením, které je vysíláno na analyzovaný vzorek. Následkem dopadu záření na atom je vyrazení elektronů z vnitřních obalových vrstev a přesunutí elektronu z vyšších vrstev na nově uvolněná místa. Přebytek energie je z atomu vysílán zpět ve formě charakteristického fluorescenčního rentgenového záření (sekundární záření). Na základě přítomnosti sekundárního záření, které je charakteristické pro každý prvek je pak možné vyhodnotit přítomnost jednotlivých prvků (kvalitativní analýza). a pro zjištění konkrétního množství se hodnotí intenzita sekundárního záření. Pro přesnou kvantitativní analýzu je nutná kalibrace příslušnými standardy (Beckhoff et al. 2007; Marguí & Grieken 2013).

Využití XRF spektroskopie je díky jeho vlastnostem velmi široké, primárně je používán pro hodnocení kovových materiálů (Beckhoff et al. 2007). Přesto se začíná uplatňovat v mnoha dalších oborech, nejvíce využívaná je v oborech hutnictví, archeologie, geologie, pedologie, kriminalistiky, lze použít i na analýzu historických památek uměleckých děl a plastových či jiných materiálů (Kadachi & Al-Eschaikh 2012). Při analýze uměleckých děl či historických artefaktů se využívá nedestruktivnosti této metody. Přesto je třeba brát na zřetel, že XRF spektroskopie analyzuje pouze svrchní vrstvu. Nicméně, není ani výjimečné používání XRF spektroskopie na biologických vzorcích v oblastech medicíny, zemědělství, botaniky, potravinářství a kvality potravin (Pessanha 2010; Chuparina & Martynov 2011).

5 Metodika

5.1 Materiál

Pro výzkum obsahu nutričních a rizikových prvků v máku bylo vybráno 10 vzorků semen máku setého z různých zemědělských podniků ze sklizně z roku 2020. Vzorky se tedy lišily barvou semen, odrůdou i lokalitou pěstování.

5.1.1 Příprava vzorků

Na analýzu byly použity vzorky ve 2 variantách. První varianta („nemletý“) byly vzorky semen v nezměněném stavu, tj. celá semena ve stavu, v jakém byly získány od producentů. Ve druhé variantě („mletý“) byly vzorky namleté na kulovém achátovém mlýně (mlýnu FRITSCH Analysette 3 SPARTAN, Německo). Připravené vzorky byly převedeny do nádob určených pro analýzu.

5.2 Laboratorní analýza

Analýza obsahu minerálních látek byla provedena pomocí ručního rentgenového analyzátoru DELTA PREMIUM (Olympus Innov-X, USA), který je součástí přístrojového vybavení Katedry pedologie a ochrany půd na České zemědělské univerzitě. Který je automaticky kalibrován pro různé druhy matic. Byl nastaven na stanovování materiálu „lehká matrice“. Analýza byla provedena pro všechny prvky, které je přístroj schopen zachytit. Pro tuto bakalářskou práci byly vybrány ke statistickému zpracování ty prvky, které byly již představeny v rámci literární rešerše a to: K, Ca, P, Cr, Fe, Cu, Zn, As, Se, Cd, Hg, Pb. Pro každý vzorek a jeho variantu byly provedeny 3 měření. Výsledkem bylo 30 hodnot pro každý prvek ve variantě „mletý“ a 30 hodnot pro každý prvek ve variantě „nemletý“.

5.3 Statistické metody

Pro vyhodnocení výsledků byl použit program STATISTICA 12 (StatSoft, Inc.) Pro zjištění statisticky významných rozdílů mezi mletým a nemletým mákem byla použita jednofaktorová analýza rozptylu ANOVA s následnou kontrolou post-hoc Scheffeho testem na hladině významnosti 95 %.

6 Výsledky

Z vybraných prvků byla většina rizikových prvků (Hg, Pb, As) a jeden benefiční prvek (Se) na dolní hranici limitu nebo pod ní. Zvláštní situace nastala při měření obsahu fosforu. Obsah P v nemletých semenech nebyl detekován a u mletých detekován byl. Proto byly tyto prvky vyřazeny z dalších výpočtů. Přehled detekčních limitů pro jednotlivé prvky je uveden v tabulce 7 (viz kapitola Diskuze). a rovněž výsledkové tabulky 4 a 5 ukazují, že právě prvky Pb, Hg, As a Se nebyly analyzátorem změřeny. Zkratka ND (nedetekováno) znamená, že prvek byl pod detekčním limitem a nebyl detekován.

Tabulka 4: Výsledky pro měření nemletých semen máku (uvedené hodnoty u jednotlivých prvků jsou v mg/kg)

Vzorek	varianta	K	Ca	P	Cr	Fe	Cu	Zn	As	Se	Cd	Hg	Pb
1	nemletý	8252	35704	377	20,3	103	22	109	ND	ND	22	ND	ND
1	nemletý	7920	35576	557	17,6	95	15,4	92	ND	ND	20	ND	ND
1	nemletý	8340	34047	370	18,1	99	15,6	101	3,5	ND	16	ND	ND
2	nemletý	7373	37768	855	18,1	67	18,8	65,4	ND	ND	18	ND	ND
2	nemletý	7346	38468	942	18,8	65	18	64,6	ND	ND	15	ND	ND
2	nemletý	7010	37555	847	16,2	68	15,4	59,7	ND	ND	17	ND	ND
3	nemletý	8904	32339	ND	19,2	90	13,6	78	3,2	ND	18	ND	ND
3	nemletý	8915	33944	ND	19,1	95	14,6	76,4	ND	ND	18	ND	ND
3	nemletý	8788	34407	ND	16,3	97	16,6	77,6	3,1	ND	20	ND	ND
4	nemletý	8371	36028	ND	15,1	103	11,4	92	ND	ND	19	ND	ND
4	nemletý	8550	37648	313	18,5	100	12,4	96	ND	ND	20	ND	ND
4	nemletý	8675	37430	264	18,8	102	11,2	93	ND	ND	15	ND	ND
5	nemletý	7154	42378	409	17	105	10,1	77,2	ND	ND	17	ND	ND
5	nemletý	7148	42333	244	22,6	97	11,7	74,5	ND	ND	18	ND	ND
5	nemletý	6800	43248	ND	16	96	9,5	79,2	ND	ND	18	ND	ND
6	nemletý	8728	35094	635	15,9	97	22,7	96	3,3	ND	19	ND	ND
6	nemletý	8615	35526	484	17,9	91	19,7	95	3,8	ND	14	ND	ND
6	nemletý	9140	35160	672	16,6	94	20,5	97	3,2	ND	13	ND	ND
7	nemletý	6518	42754	767	14,3	63	8,8	74	ND	ND	18	ND	ND
7	nemletý	6556	43352	648	16,8	63	6,3	75,8	4,2	ND	22	ND	ND
7	nemletý	6916	43036	615	16,4	66	6,9	79,7	3,2	ND	23	ND	ND
8	nemletý	6482	29375	ND	22,8	147	23,1	153	ND	ND	19	ND	ND
8	nemletý	6673	32243	ND	20,4	146	21,1	148	ND	ND	15	ND	ND
8	nemletý	6544	30834	ND	24,3	151	19,6	148	ND	ND	18	ND	ND
9	nemletý	7478	39764	571	14,8	88	10,9	104	ND	ND	18	ND	ND
9	nemletý	7699	39232	575	17,4	87	7,7	101	3,3	ND	21	ND	ND
9	nemletý	7706	38247	524	15,6	90	6,9	102	ND	ND	16	ND	ND
10	nemletý	5634	38166	337	16,5	87	17,3	67,5	ND	ND	21	ND	ND
10	nemletý	6030	35998	ND	17,2	78	17,7	62,7	ND	ND	17	ND	ND
10	nemletý	5745	36576	ND	20,7	67	14	61,4	ND	ND	18	ND	ND

Tabulka 5: Výsledky pro měření mletých semen máku (uvedené hodnoty u jednotlivých prvků jsou v mg/kg)

Vzorek	varianta	K	Ca	P	Cr	Fe	Cu	Zn	As	Se	Cd	Hg	Pb
1	mletý	8877	25243	747	17,8	134	19,8	111	ND	ND	22	ND	ND
1	mletý	8444	25238	886	19,3	118	20,6	102	ND	ND	18	ND	ND
1	mletý	9066	26882	900	18,5	136	20,5	109	ND	ND	23	ND	ND
2	mletý	8747	24845	1311	19,8	142	22,2	69,3	ND	ND	13	ND	ND
2	mletý	8453	25884	1066	15,2	149	20,9	69	3	ND	27	ND	ND
2	mletý	8577	27189	1243	18,6	116	21,4	68	3,4	ND	15	ND	ND
3	mletý	9894	24140	737	18,1	193	18,7	89	3,6	ND	13	ND	ND
3	mletý	10452	24723	1010	19	191	16,4	91	ND	ND	19	ND	ND
3	mletý	10193	24467	875	19	210	19,3	89	4	ND	22	ND	ND
4	mletý	9623	26562	915	16,7	117	13,7	99	ND	ND	23	ND	ND
4	mletý	9598	27613	954	19,7	119	12,3	106	ND	ND	22	ND	ND
4	mletý	9700	26975	749	22	120	15,2	106	ND	ND	17	ND	ND
5	mletý	7940	30004	597	17,2	120	10,1	76	3,3	ND	12	ND	ND
5	mletý	8479	31843	829	17,1	114	14,6	86	3,1	ND	17	ND	ND
5	mletý	8514	32191	727	14,3	113	13	85	ND	ND	22	ND	ND
6	mletý	10775	25198	1218	20	143	28,7	111	ND	ND	18	ND	ND
6	mletý	10424	24423	1058	19	141	27	108	ND	ND	20	ND	ND
6	mletý	10417	25225	1103	19	137	29,7	106	ND	ND	15	ND	ND
7	mletý	8600	31061	1162	15,6	94	11,9	92	3,7	ND	15	ND	ND
7	mletý	8585	30835	1009	20	92	11,4	85	ND	ND	19	ND	ND
7	mletý	8107	28613	933	22	80	11,1	86	3,3	ND	16	ND	ND
8	mletý	8566	24447	722	17,5	186	30,3	169	ND	ND	16	ND	ND
8	mletý	8588	25009	914	24	201	29,6	184	3,3	ND	20	ND	ND
8	mletý	8700	23422	765	19,9	201	30,9	189	ND	ND	20	ND	ND
9	mletý	8938	27214	1024	20	110	9	115	4,1	ND	22	ND	ND
9	mletý	9030	26257	1243	18,2	108	11	118	3,8	ND	17	ND	ND
9	mletý	9273	25591	1224	17,6	119	9,7	117	3,2	ND	20	ND	ND
10	mletý	8687	28774	1107	18,9	111	20,9	77	3	ND	13	ND	ND
10	mletý	8540	29872	885	19,1	102	24,4	78	3,5	ND	18	ND	ND
10	mletý	8109	26898	883	20,2	92	18,2	74	ND	ND	26	ND	ND

6.1 Statistické vyhodnocení

Z vypočtených hodnot v tabulkách 6 a 7 jsou na první pohled evidentní rozdíly v obsazích jednotlivých prvků u máku mletého a nemletého.

Tabulka 6: Statistická data naměřených hodnot pro *nemletý* mák

Výsledky měření nemletých vzorků máku (obsah v mg/kg)							
Prvek	K	Ca	Cr	Fe	Cu	Zn	Cd
Průměr	7534	37141	18	93	15	90	18
Minimum	5634	29375	14,3	63	6,3	59,7	13
Maximum	9140	43352	24,3	151	23,1	153	23
Sm. odch.	1023	3738	2,4	23	5	24,6	2,4

Tabulka 7: Statistická data naměřených hodnot pro *mletý* mák

Výsledky měření mletých vzorků máku (obsah v mg/kg)							
Prvek	K	Ca	Cr	Fe	Cu	Zn	Cd
Průměr	9063	26888	19	134	19	102	19
Minimum	7940	23422	14,3	80	9	68	12
Maximum	10775	32191	24	210	30,9	189	27
Sm. odch.	786	2461	2	36,2	6,9	30,7	3,8

Statisticky významné rozdíly byly zjištěny u draslíku, vápníku, železa, mědi ($p < 0,001$). Statisticky významné rozdíly nebyly zjištěny u chromu, zinku a kadmia. Výsledky analýzy ANOVA a post-hoc testu jsou v Přílohách.

7 Diskuze

7.1 Použití XRF spektroskopie pro stanovování prvků

Stanovení minerálních látek v semenech máku je možné, díky systémovému nastavení rentgenového analyzátoru DELTA PREMIUM (Olympus Innov-X, USA). Tento přenosný přístroj je automaticky kalibrován pro různé druhy matric. Nastavení „lehká matrice“ umožňuje analyzovat organické materiály jako je například mák. Pro praktické využití dané instrumentace je zapotřebí znát limitní hodnoty analyzátoru pro detekci jednotlivých prvků. Pokud bychom naměřené hodnoty chtěli porovnávat s hodnotami danými legislativou, musí být limitní hodnoty detekce nižší než limity stanovené v legislativě.

Z tabulky 6 vyplývá, že daný, přenosný přístroj rentgen fluorescenční analýzy není vhodný pro stanovování rizikových prvků (Cd, As, Hg, Pb), protože detekční limity pro dané prvky jsou výrazně nad limity, které jsou stanovené vyhláškou. Benefiční prvky a Cr mohou být stanovovány pomocí této instrumentace.

Tabulka 8: Limity detekce, horní hranice, obecně deklarovaná výrobcem.

Vzorek	K	Ca	P	Cr	Fe	Cu	Zn	As	Se	Cd	Hg	Pb
Detekční limit (mg/kg)	50	50	5000	10	10	10	5	5	5	10	5	5

Kadmium je prvek, kterým se v nedávné době důkladněji zabývala legislativa Evropské Unie, a proto vyšlo 31. 8. 2021 v platnost nové Nařízení Komise (EU) 2021/1323, které ukládá limitní hodnoty pro Cd v máku (1,2 mg/kg). Pro český trh to však nemá velký význam, neboť legislativa České republiky již dávno požaduje maximální hodnoty Cd v máku nižší než 0,8 mg/kg. S ohledem na detekční limity přístroje DELTA je přesné stanovení kadmia možné ve vzorcích, u nichž očekáváme vyšší obsah kadmia. Hodnoty, které jsme zjistili během stanovení, nejsou směrodatné pro hodnocení, zda prvek vyhovuje limitům daných legislativou nebo ne. Z důvodu vyššího detekčního limitu přístroje, než jsou limity legislativy. Stejná situace platí pro prvky Hg, Pb, As, které nebyly detekovány. Jejich detekční limity jsou také vyšší než limity stanovené legislativou (Ministerstvo zemědělství 2013; Evropská komise 2021).

XRF spektroskopie by se dala použít pro jednoduché prvotní skenování k vyřazení vzorků s extrémně vysokou koncentrací rizikových prvků, speciálně kadmia. Jinak by bylo správné použít metodu s dostatečnou citlivostí, kterou je například ICP-OES, kde je ovšem nutné nejdříve provést mineralizaci vzorku (Huml et al. 2020).

Pro benefiční prvky je situace jiná, zde stačí aby limity detekce byly nižší, než je koncentrace prvků ve vzorku, aby mohly být detekovány. Zvláštní situace nastala u fosforu, u něj byl očekávaný obsah přibližně 9000 mg/kg a detekční limit přístroje (deklarovaný výrobcem) pro fosfor by měl být 5000 mg/kg. Proto nebyly předpokládány žádné problémy s detekcí. Přesto přístroj u nemleté varianty nebyl schopen detekovat množství P a u mleté varianty jsou

z výsledků čitelné stanovené hodnoty (průměr 960 mg/kg). Nicméně tyto hodnoty jsou teoreticky pod detekčním limitem. Z tohoto je jasné že je třeba provést vlastní stanovení mezi detekce pro daný přístroj a pro všechny zájmové prvky. Nicméně tato činnost překračovala rámec dané bakalářské práce a bude provedena v rámci jiné, navazující magisterské práce.

7.2 Rozdíly v obsahu minerálních látek mezi mletým a nemletým mákem

U několika prvků byly zjištěny statisticky významné rozdíly mezi mletými a nemletými vzorky. Vzhledem k principu analytické metody (XRF spektroskopie) lze odhadovat rozmístění jednotlivých prvků v rámci semene máku.

U vápníku byly rozdíly mezi variantami patrné už na první pohled a jednofaktorová analýza rozptylu ANOVA potvrdila statisticky významný rozdíl mezi mletou a nemletou variantou. U semen, které byly měřeny v celém stavu byl průměrný obsah Ca vyšší než u semen mletých. To může nasvědčovat skutečnosti, že vyšší obsah Ca se nachází ve svrchní vrstvě semene. Podle dostupných studií víme, že struktura obalových vrstev a vnitřku semen je odlišná (Boesewinkel & Bouman 1984; Moïse et al. 2005). Z toho můžeme usuzovat, že i prvkové složení může být jiné v obalových vrstvách než ve vnitřku semene. Při rozrušení vrchní vrstvy mletím se odhalí vnitřek, kde Ca pravděpodobně není anebo je ho tam méně.

Opačnou situaci můžeme pozorovat u draslíku a železa. I zde byly prokázány statisticky významné rozdíly mezi mletým a nemletým mákem. Vyšší podíl Fe i K se prokázal u mleté varianty. Což nám ukazuje, že obsah Fe i K v semeni máku je pravděpodobně vyšší uvnitř semene. Neboť narušením svrchní vrstvy mletím se odhalil vnitřek semene a rentgenový paprsek tak dopadal na vnitřní část semene, kde pravděpodobně byly prvky ve vyšší koncentraci.

U mědi nebyly rozdíly na první pohled příliš veliké, statistická analýza ANOVA a posléze post-hoc Scheffeho analýza potvrdily statisticky významné rozdíly u tohoto prvku mezi mletou a nemletou variantou vzorků. Stav ohledně odhadovaného rozmístění prvků v rámci semene je podobný jako u Fe a K.

7.3 Porovnání hodnot zjištěných z rešerše a naměřených XRF spektroskopii

Porovnání naměřených hodnot s hodnotami zjištěnými z dostupných databází a výzkumů v rámci literární rešerše ukazuje tabulka 7. Většina změřených hodnot je přibližně stejná nebo nevýrazně vyšší než hodnoty získané z literární rešerše. Výjimkou je vápník, chrom a kadmium, jejichž hodnoty naměřené pomocí XRF spektroskopie, jsou výrazně vyšší.

Naměřené hodnoty vápníku se ukazují jako dvakrát vyšší než obsah zjištěný z databází. Důvodem by mohlo být použití rozdílných metod pro analýzu. Hodnoty chromu stanovené XRF spektroskopii byly mnohonásobně vyšší než jeho obsah zjištěný z rešerše. a vzhledem k jeho

potenciálním negativním účinkům na organismus (viz kapitola 3.7.10), by bylo vhodné zjistit, zda tyto hodnoty potvrdí i přesnější analytické metody.

Očekávaný obsah fosforu zjištěný z rešerše byl přibližně 9000 mg/kg. Na druhé straně obsah stanovený ručním analyzátozem DELTA PREMIUM (Olympus Innov-X, USA) byl problematický – viz výše 6-1.

Také kadmia bylo stanoveno podezřele vysoké množství, které přesahuje jak průměrné hodnoty, tak legislativní limity. Je proto třeba dříve ověřit vzorky přesnější metodou, než začneme dělat závěry o kontaminaci semen kadmiem. Vysoké hodnoty by také mohly být systematickou chybou, která vznikla použitím kalibračního módu „lehká matrice“.

Hodnota obsahu arsenu (v kolonce z databáze) je zjištěná z nádobového experimentu (Tlustoš et al. 1997). Překračuje limit stanovený Vyhláškou č. 399/2013 Sb. Vzorky máku, ve kterých byl tento obsah zjištěn byly určeny pro výzkum. Ostatní databáze s obsahy látek v máku určeném pro potravinářský trh obsah arsenu neuvádějí.

Tabulka 9

Prvek	Obsah z databází (mg/kg)	Naměřené průměrné hodnoty (mg/kg)
Vápník	11400–15000	2688–37141
Fosfor	8700–10100	nedetekováno
Draslík	7200–8300	7534–9063
Hořčík	3500–3800	nedetekováno
Sodík	40–260	nedetekováno
Železo	87,5–97	93–134
Zinek	67,9–87	90–102
Měď	10–20	15–19
Selen	0,135	nedetekováno
Chrom	2,1–2,97	18–19
Kadmium	0,5	18–19
Olovo	0,027–0,304	nedetekováno
Arsen	1,61	nedetekováno
Rtuť	nedetekováno	nedetekováno

7.4 Obsahy prvků v máku a jejich benefity nebo rizika

Značné množství nutričně významných prvků, dodává máku na atraktivitě pro spotřebitele. Například množství vápníku, draslíku a železa, které potvrdilo i stanovení pomocí XRF spektroskopie, rozhodně není zanedbatelné. Minerální látky jsou pro fungování lidského organismu nezbytné. Vápník podporuje růst kostí a zubů. Železo je vhodné pro správnou tvorbu hemoglobinu a podporu imunity (Mason 2007). Není sice možné získat veškeré potřebné látky pro lidské tělo pouhou konzumací máku, ale jako funkční potravina má své místo v každém pestrém jídelníčku (FAO 2001).

Co se týká rizikových prvků, je třeba být opatrný, potenciálně se v máku mohou vyskytovat prvky s karcinogenními (např. arsen, olovo, rtuť) nebo bioakumulativními účinky (např. kadmium, rtuť) (Salamon & Fejér 2011; Schulze et al. 2019). Jejich limity jsou stanoveny v legislativě a jsou přísně kontrolovány. Na Evropském ani českém trhu by se neměly vyskytovat kontaminované máky. Je vhodné kupovat mák od ověřených producentů, kde jsou jakostní parametry zaručené. V zemích Evropské unie platí pro obsah kadmia v máku limit 1,2 mg/kg. Mák prodávaný v České republice by neměl obsahovat více než 0,8 mg/kg kadmia. Pokud ostatní země EU nemají přísnější limity pro Cd, existuje možnost, že koupený mák v jiné zemi EU bude obsahovat více Cd než mák prodávaný v České republice. Pokud člověk nesní najednou více než 2 kg máku, nehrozí žádné nebezpečí předávkování kadmiem. Nicméně je vhodné se vyvarovat dlouhodobě zvýšené expozici organismu kadmiem, a nemusí se vždy jednat o nadlimitní hodnoty, ale jen zvýšené koncentrace kadmia v potravinách. V Nařízení Komise (EU) 2021/1323 je seznam potravin, ve kterých se Cd často vyskytuje a pro něž jsou stanovené limity.

8 Závěr

Semena máku obsahují řadu nutričně významných prvků, jsou jimi například vápník, hořčík, sodík, draslík, fosfor, železo, zinek. Na druhou stranu mohou být, pro svou schopnost akumulace kovů, snadno kontaminována rizikovými prvky jako je například kadmium, arsen, olovo. V rešerši byly shrnuty základní informace o máku, jeho obsahu minerálních látek a jejich vlivu na lidský organismus. Na základě zjištěných dat lze konstatovat, že v máku dostupném na českém trhu jsou obsaženy minerální látky v množství, které je pro lidské zdraví prospěšné. Pokud obsahuje mák některé prvky rizikové tak pouze v koncentracích, které zdraví neškodí.

Dále zde byla představena rentgen fluorescenční spektroskopie. Po propojení poznatků získaných z literární rešerše a vlastního stanovení byla posuzována možnost stanovení obsahu rizikových a nutričních prvků v máku XRF spektroskopii. Dále byly zjištěny rozdíly v obsahu prvků mezi mletými a nemletými vzorky makových semen.

XRF spektroskopie je analytická metoda určená především pro kovové materiály. Kalibrační nastavení ručního analyzátoru DELTA PREMIUM (Olympus Innov-X, USA) „lehká matrice“ umožňuje zkoumat i organické materiály. Stanovení obsahových látek v makových semenech není možné stanovit pro všechny prvky, důvody jsou následující:

- Vyšší limity detekce přístroje než obsah prvku v semenech
- Pro stanovení, zda obsah rizikových prvků odpovídá legislativním limitům, musí být detekční limity nižší než maximální limity stanovené legislativou.

Co se týká rozdílů mezi mletým a nemletým mákem, statistické vyhodnocení jednofaktorovou analýzou rozptylu ANOVA a post-hoc Scheffeho testem určilo jasné výsledky. Statisticky významné rozdíly ($p < 0,001$) byly potvrzené u prvků:

- Draslík
- Vápník
- Železo
- Měď

Celkově bylo XRF spektroskopii stanoveno 7 prvků ze 14 vybraných prvků, představených v literární rešerši. Lze konstatovat, že metoda by se mohla použít pro stanovování benefičních prvků (Fe, Cu, Ca, K, Zn). Rizikové prvky (Cd, Hg, Pb, As) je vzhledem k vysokým detekčním limitům možné stanovit u vysoce kontaminovaných vzorků. Přesto by bylo vhodné ověřit stanovení obsahů prvků přesnější metodou, aby bylo možné s jistotou říct, zda jsou hodnoty stanovené XRF spektroskopii správné. Vhodné by také bylo uživatelské zpřesnění kalibračního módu „lehká matrice“ a jako nutné se jeví stanovení detekčních limitů pro konkrétní použitý přístroj.

9 Literatura

Australian Government. 2014. Chromium. Nutrient Reference Values for Australia and New Zealand. Available from <https://www.nrv.gov.au/nutrients/chromium> (accessed March 2022)

Bechyně M., Kadlec T., Vašák J. a kolektiv. 2001. Mák. Ing František Savov v edici SEMAFOR, Praha. s. 15 – 58

Bechyně M., Novák, J. 1987. Biologie máku a systém jeho produkce. VŠZ, Praha, 94 s.

Beckhoff B, Kanngießer B, Langhoff N, Wedell R, Wolff H. 2007. Handbook of practical X-ray fluorescence analysis. Springer Science & Business Media.

Boesewinkel F D, Bouman F 1984. The seed: structure. In Embryology of angiosperms. Springer, Berlin, Heidelberg. s. 567-610. doi: 10.1007/978-3-642-69302-1_12

Cibulka J, et al. 1991. Pohyb olova, kadmia a rtuti v biosféře (Movement of lead, cadmium and mercury in the biosphere). Academia Praha, 83-104.

Cihlár P, Vašák J, Pšenička P, Mikšík V, Vlk R, Kosek Z. 2007. Intenzivní pěstování máku. Pages 75–76 in kolektiv autorů editors. Prosperující olejniný: Sborník konference s mezinárodní účastí. Kralupy nad Vltavou: JH & C ISBN 978-80-213-1715-4

Chuparina E V, Martynov a M. 2011. Application of nondestructive x-ray fluorescence analysis to determine the element composition of medicinal plants, Journal of Analytical Chemistry, vol. **66**, pp. 389–395

Český modrý mák. 2019. Český modrý mák: Nutriční hodnota. Český modrý mák z.s., Available from <https://ceskymodrymak.cz/cs/mak/nutricni-hodnota> (accessed February 2022)

ČSÚ. 2021. ČSÚ: Vývoj ploch, hektarových výnosů a sklizní zemědělských plodin. ČSÚ. Available from <https://vdb.czso.cz/vdbvo2/faces/index.jsf?page=vystup-objekt&z=T&f=TABULKA&skupId=386&katalog=30840&pvo=ZEM02G&pvo=ZEM02G&evo=v1442 ! ZEM02G-celek 1> (accessed February 2022)

EFSA. 2012. Cadmium dietary exposure in the European population. EFSA Journal. **10.1**: 2551. doi: 10.2903/j.efsa.2012.2551

EFSA panel on contaminants in the food chain (COMTAM). 2010. Scientific opinion on lead in food. EFSA Journal. **8.4**: 1570. doi: 10.2903/j.efsa.2010.1570

EFSA panel on contaminants in the food chain (COMTAM). 2014. Scientific Opinion on Dietary Reference Values for chromium. EFSA Journal. **12(10)**: 3845. doi : 10.2903/j.efsa.2014.3845

EFSA panel on contaminants in the food chain (COMTAM). 2018. Scientific opinion on lead in food. EFSA Journal. **16(5)**: 5243. doi: 10.2903/j.efsa.2018.5243

Evropská komise. 2021. Rejstřík zeměpisných označení EU; Český modrý mák. Evropská komise generální ředitelství pro zemědělství a rozvoj venkova, Brusel. Available from <https://ec.europa.eu/info/food-farming-fisheries/food-safety-and-quality/certification/quality-labels/geographical-indications-register/details/EUGI00000015163> (accessed March 2022)

FAO. 2001. Human Vitamin and Mineral Requirements. FAO/WHO. Available from <https://www.fao.org/3/y2809e/y2809e00.htm#Contents> (accessed February 2022)

García R, Báez a P. 2011. Atomic absorption spectrometry (AAS). Pages 1-13 in Farrukh M A. Atomic absorption spectroscopy. InTech

Havel J, et al. 2018. Pěstitelská technologie máku pro snížení rizikovosti pěstování. OSEVA vývoj ja výzkum s.r.o. Zubří. Provozovna Opava. ISBN 978-80-905808-1-7

Hornburg V, Brümer G. 1993. Heavy Metals in Soil. 1. Z. Pflanzenernähr. Bodenkd

Huml L, Drábek O, Pohořelá B, Kotíková Z, Umar M, Miksátková P, Kokoška L. 2020. Analysis of nutrients and compounds potentially reducing risks of overweightness and obesity-related diseases in raw and roasted *Adenanthera pavonina* seeds from Samoa“, Emirates Journal of Food and Agriculture, **32(2)**, str. 100-108. doi: 10.9755/ejfa.2020.v32.i2.2067

Informační centrum bezpečnosti potravin. 2021. Slovník bezpečnosti potravin. Ministerstvo zemědělství, Praha. Available from <https://www.bezpecnostpotravin.cz/az/default.aspx> (accessed February 2022)

Eske J. 2020. Medical News Today; Copper toxicity: Symptoms and treatment. . Medical News Today Available from <https://www.medicalnewstoday.com/articles/copper-toxicity> (accessed March 2022)

Kadachi a N, Al-Eshaikh M A. 2012. Limkits of detection in XRF spectroscopy. X-Ray Spectrom. **41** s. 350-354

Kapoor L. 1995. Opium poppy: botany, chemistry, and pharmacology. The Haworth Press, New York, s. 1-25

Kočár P; Dreslerová D, 2010. Archeobotanické nálezy pěstovaných rostlin v pravěku České republiky. Památky archeologické, 101. s. 203 – 242

Králová D. 2012. Východoslovanské církevní svátky a tradice [Bakalářská diplomová práce]. Masarykova univerzita, Brno

Kubánek V. 2008. Konopí a mák: (pěstování, výroby, legislativa). Tribun EU, Brno. ISBN 978-80-7399-438-9

Kunová V. 2017. Encyklopedie výživy. Společnost pro výživu. Available from: <https://www.vyzivapol.cz/category/encyklopedie-vyzivy/> (accessed February 2022)

Kvasničková A. 1998. Minerální látky a stopové prvky: Esenciální minerální látky ve výživě. ÚZPI, Praha

Laník J, Halada J. 1960. Kniha O Půdě. 1. [díl], Půda a Rostlina. 1. Vyd.. ed. Praha: SZN, Print. Zemědělská Výroba

MacFarquhar J K, Broussard D L, Melstrom P, Hutchinson R, Wolkin A, Martin C, ... & Jones, T. F. 2010. Acute selenium toxicity associated with a dietary supplement. Archives of internal medicine, **170(3)**, 256-261. Available from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3225252/> (accessed March 2022)

Mališová K, Száková J, Mestek O. 2017. Speciační analýza rtuti ve vzorcích suchozemských rostlin. Chemické listy, **111(4)**, 264-268

Marguá E, Grieken R V. 2013. X-Ray Fluorescence Spectrometry and Related Techniques : An Introduction. New York: Momentum Press

Marschner P. 2012. Marschner's mineral nutrition of higher plants. Academic Press, Amsterdam

Mason J B. 2007. Vitamins, trace minerals, and other micronutrients. Cecil textbook of medicine, **23**: 1626-39.

Ministerstvo zemědělství. 2013. Vyhláška č. 399/2013 Sb. ze dne 9. prosince 2013, kterou se mění vyhláška Ministerstva zemědělství č. 329/1997 Sb., kterou se provádí § 18 písm. a), d), h), i), j) a k) zákona č. 110/1997 Sb., o potravinách a tabákových výrobcích a o změně a doplnění některých souvisejících zákonů, pro škrob a výrobky ze škrobu, luštěniny a olejnatá semena, ve znění vyhlášky č. 418/2000 Sb. ISSN 1211-1244. Available from: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2013-399/zneni-20140101> (accessed February 2022)

Moioli P, Seccaroni C. 2000. Analýza uměleckých předmětů pomocí přenosného rentgenového fluorescenčního spektrometru. *X-Ray Spectrometry: An International Journal*, **29 (1)**, 48-52.

Moise J A, Han S, Gudynaitė-Savitch L, Johnson D A, Miki B L. 2005. Seed coats: structure, development, composition, and biotechnology. *In Vitro Cellular & Developmental Biology-Plant*, **41(5)**, 620-644. doi: <https://doi.org/10.1079/IVP2005686>

National Institutes of Health. 2021. Chromium. National Institutes of Health. Available from <https://ods.od.nih.gov/factsheets/Chromium-HealthProfessional/#h2> (accessed March 2022)

Norn S, Kruse P R, Kruse E. 2005. History of opium poppy and morphine. *Dansk medicinhistorisk arbog*, **33**: 171-184

Novák J, Nováková H, Krejčířová Z. 2018. Mák jako potravina a droga: Makový receptář. 1. Praha: AVANTINUM, . ISBN 978-80-7442-101-3

Pacyna E G, Pacyna J M, Steenhuisen, F, Wilson S. 2006. Global anthropogenic mercury emission inventory for 2000. *Atmospheric environment*, **40(22)**, 4048-4063

Pasquale Strazzullo, Catherine Leclercq, Sodium, *Advances in Nutrition*, **5(2)**: 188–190 s, doi: <https://doi.org/10.3945/an.113.005215>

Pavlíková D, Balík J, Tlustoš P. 2007. Effect of Cadmium Content in Soil and Crop Rotation on Cadmium Accumulation in Plant Biomass. *Ecological Chemistry and Engineering*, **14(3-4)**: 363-369

Pessanha S, Carvalho M L, Becker M, A. von Bohlen. 2010. Quantitative determination on heavy metals in different stages of wine production by total reflection x-ray fluorescence and energy dispersive x-ray fluorescence: Comparison on two vineyards, *Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy*, vol. **65**, pp. 504–507

Potravinářská komora České republiky. 2019. Cechovní normy: Modý mák. Potravinářská komora České republiky Available from <https://www.cehovninormy.cz/index.php/cehovni-normy/270-modry-mak> (accessed February 2022)

Procházka P, Smutka L. 2012. Czech Republic as an Important Producer of Poppy Seed. *Agris on-line Papers in Economics and Informatics* **4**: (35-47)

Příbík O. 2019. Zemědělec: Česká republika je velmocí v produkci a exportu potravinářského máku. ProfiPress. Available from <https://zemedelec.cz/ceska-republika-je-velmoci-v-produkci-a-exportu-potravinarskeho-maku/> (accessed February 2022)

Rahimzadeh M R, Rahimzadeh M R, Kazemi S, Moghadamnia a A. 2017. Cadmium toxicity and treatment: An update. *Caspian journal of internal medicine*, **8(3)**, 135.

Robinson J W, Eileen M, George M. 2021. *Instrumental Analytical Chemistry: An Introduction*, International Student Edition. USA. CRC Press

Sabolová M. 2020. Role máku ve výživě člověka. *Výživa a potraviny* **1/2020**: 8-12

Salamon I, Fejér J. 2011. Content of heavy metals in poppy seeds (*Papaver somniferum* L.). *Advances in Environmental Biology* **5**:315-319.

Schreier J; Zájeda J. 1994. *Technologie výroby máku: (Metodika)*. Praha: Ústav zemědělských a potravinářských informací.

Schulze E D, Beck E, Buchmann N, Clemens S, Müller-Hohenstein K, Scherer-Lorenzen M, Mular Huhinshtayn K, Scherer-Lorenzen M. 2019. Plant Ecology. Springer-Verlag, Germany.

Sinskaja, E, N. 1973. Historická geografie kulturních rostlin. Academia Praha, s. 367 – 368.

Slíva J. 2005. Vliv kadmia na zdraví člověka. Available from <https://zdravi.euro.cz/clanek/postgradualni-medicina/vliv-kadmia-na-zdravi-cloveka-167129> (accessed February 2022)

Smrček L, Pavelka J. 1992. Cadmium Contamination of poppy seed (In Czech). Úroda, (10), 473-474.

Susan M. 2017. Master Gardener Program. Breadseed or Opium Poppy, Papaver somniferum. a Horticulture Information article Available from https://mastergardener.extension.wisc.edu/files/2017/06/Papaver_somniferum.pdf (accessed November 2021)

SZPI. 2013. Potraviny na pranýři: Kontrola kvality máku. SZPI. Available from <https://www.potravinynapranryri.cz/InspProduct.aspx?scontrol=29&sbranch=76&lang=cs&design=default&archive=actual&listtype=tiles&page=1> (accessed February 2022)

Šimek M. 2019. Živá Půda. První Vydání. ed. Print. Praha

Taiz I., Zaiger E. 2006. Plant physiology. Sinauer Associates, Sunderland

Tétényi P. 1997. Opium poppy (Papaver somniferum): botany and horticulture. Horticultural reviews, 19: 373-408.

Tlustoš P, Pavlíková D, Balík J. 2006. Mechanismus příjmu rizikových prvků rostlinami a jejich hromadění v biomase. Výzkumný ústav rostlinné výroby, 3(4)

USDA Food Composition Databases. 2018. Food search: Spices, poppy seed. USDA Food Composition Databases, Available from <https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/171330/nutrients> (accessed February 2022)

Úřední věstník Evropské unie. 2021. Nařízení Komise (EU) 2021/1323 ze dne 10. srpna 2021, kterým se mění nařízení (ES) č. 1881/2006, pokud jde o maximální limity kadmia v některých potravinách. Available from: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?uri=CELEX%3A32021R1323&qid=1645691918807> (accessed February 2022)

ÚZEI. 2020. Centrum pro databázi složení potravin: Databáze složení potravin ČR. Praha: Available from <http://www.nutridatabaze.cz/> (accessed February 2022)

Vašák J. 2010. Mák. 1. Praha: Powerprint,. ISBN 978-80-904011-8-1.

Veiga, P. 2017. Opium: was it used as a recreational drug in ancient Egypt?. EUT Edizioni Università di Trieste. https://www.openstarts.units.it/bitstream/10077/14300/1/ATRA_3_online-14_Veiga.pdf

Voglmayr H, Montes-Borrego M, Landa B B. 2014 Disentangling Peronospora on Papaver: Phylogenetics, Taxonomy, Nomenclature and Host Range of Downy Mildew of Opium Poppy (*Papaver somniferum*) and Related Species. PLOS ONE e96838 <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0096838>

Weaver C M. 2013. Potassium and Health. *Advances in Nutrition*. **4(3)**: 368-377 s. doi: <https://doi.org/10.3945/an.112.003533>

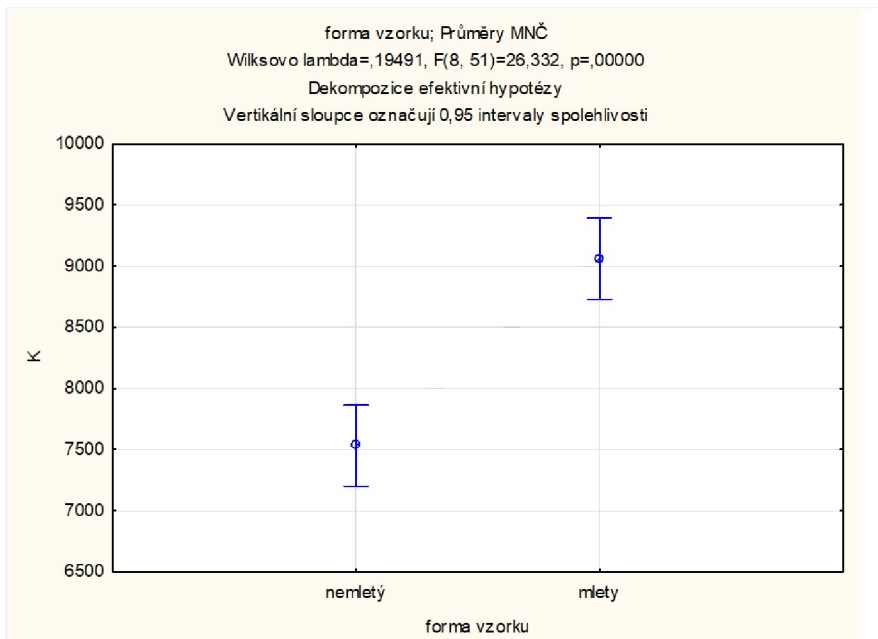
Whitehead D C. 2000. *Nutrient Elements in Grassland Soil-plant-animal Relationships*. CABI Print, Wallingford.

Wise, S. S., & Wise Sr, J. P. (2012). Chromium and genomic stability. *Mutation Research/Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis*, **733(1-2)**, 78-82. Available from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4138963/> (accessed March 2022)

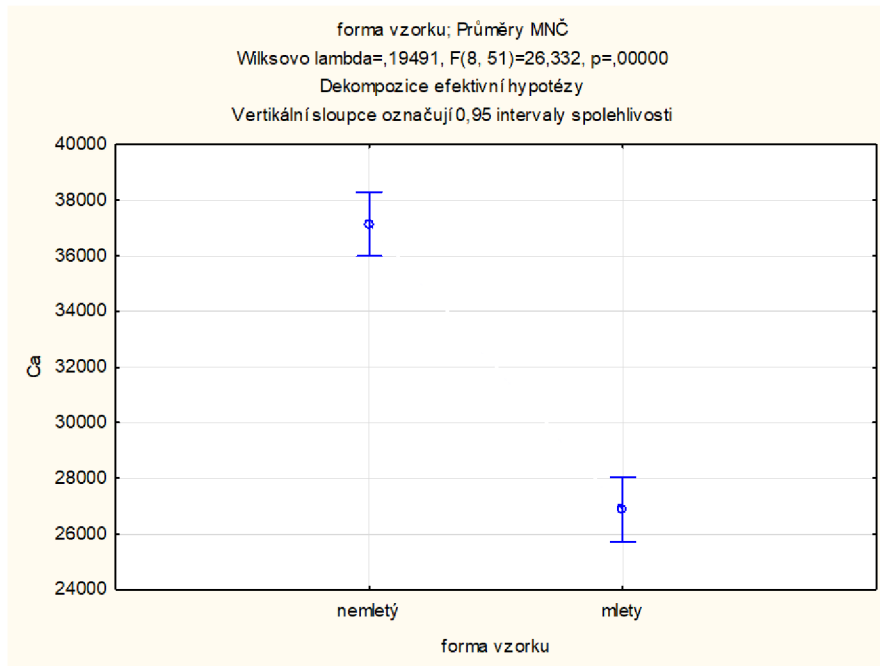
Výskumný ústav potravinárski. 2010. Online potravinová databáza: Makové semená. Výskumný ústav potravinárski, Available from <http://www.pbd-online.sk/#> (accessed February 2022)

Přílohy

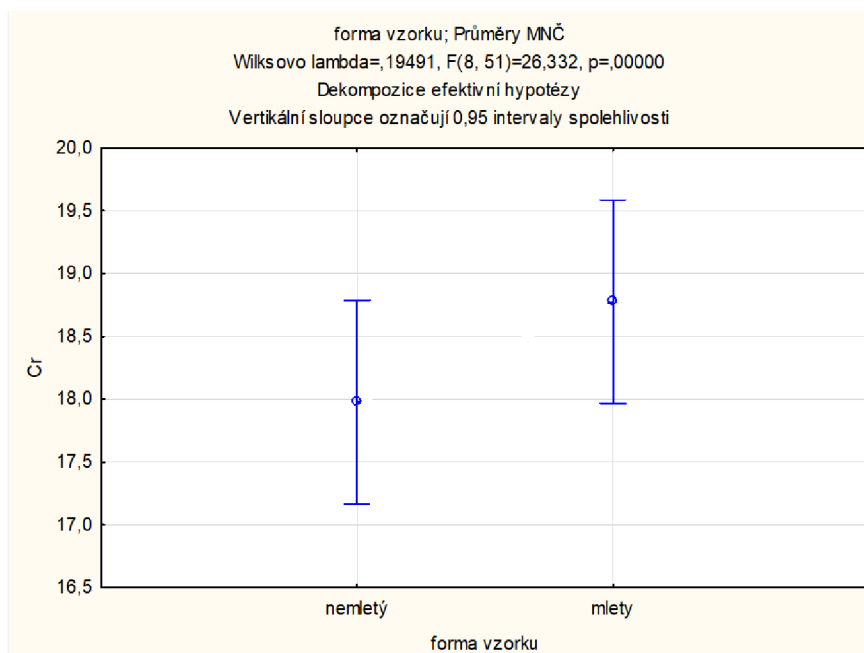
Příloha 1



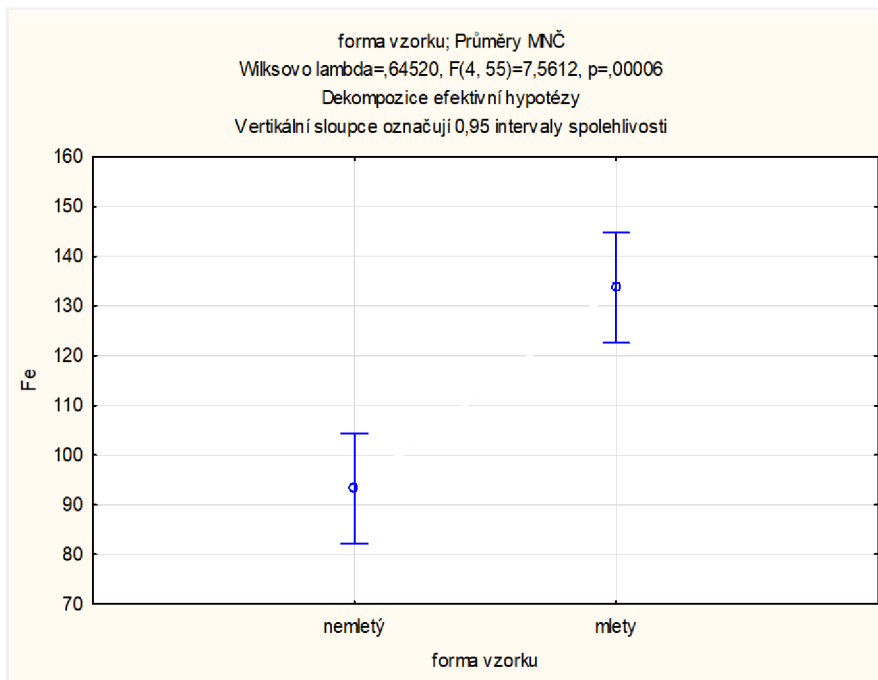
Č. buňky	Scheffeho test; proměnná K (Stat_DELTA_mák1) Pravděpodobnosti pro post-hoc testy Chyba: meziskup. PČ = 8323E2, sv = 58,000		
	forma vzorku	1	2
1	nemletý		0,000000
2	mletý	0,000000	



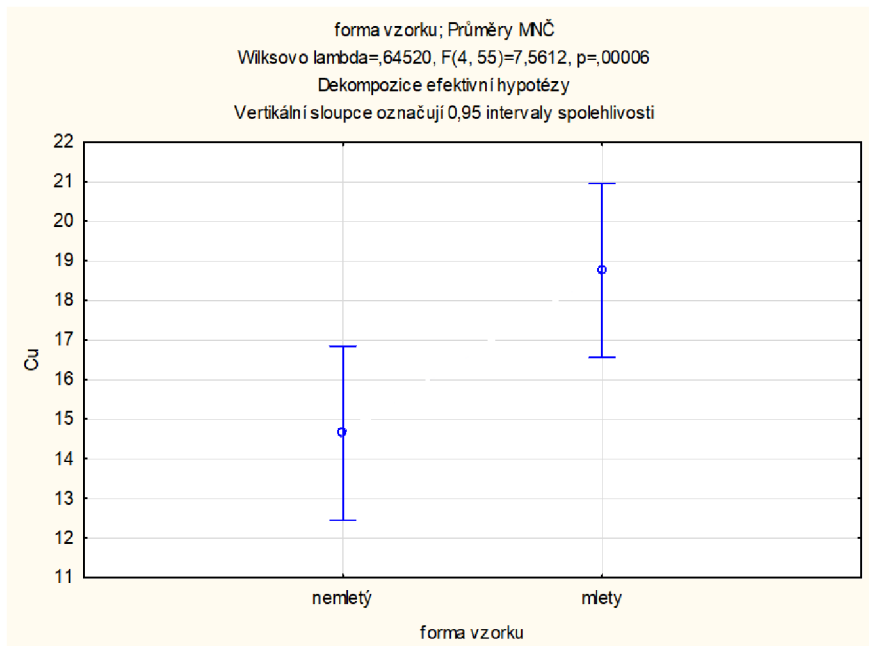
Č. buňky	Scheffeho test; proměnná Ca (Stat_DELTA_mák1) Pravděpodobnosti pro post-hoc testy Chyba: meziskup. PČ = 1001E4, sv = 58,000		
	forma vzorku	1	2
1	nemletý		0,00
2	mletý	0,00	



Č. buňky	Scheffeho test; proměnná Cr (Stat_DELTA_mák1) Pravděpodobnosti pro post-hoc testy Chyba: meziskup. PČ = 4,9167, sv = 58,000		
	forma vzorku	1	2
1	nemletý	17,977	0,167636
2	mletý	0,167636	18,777

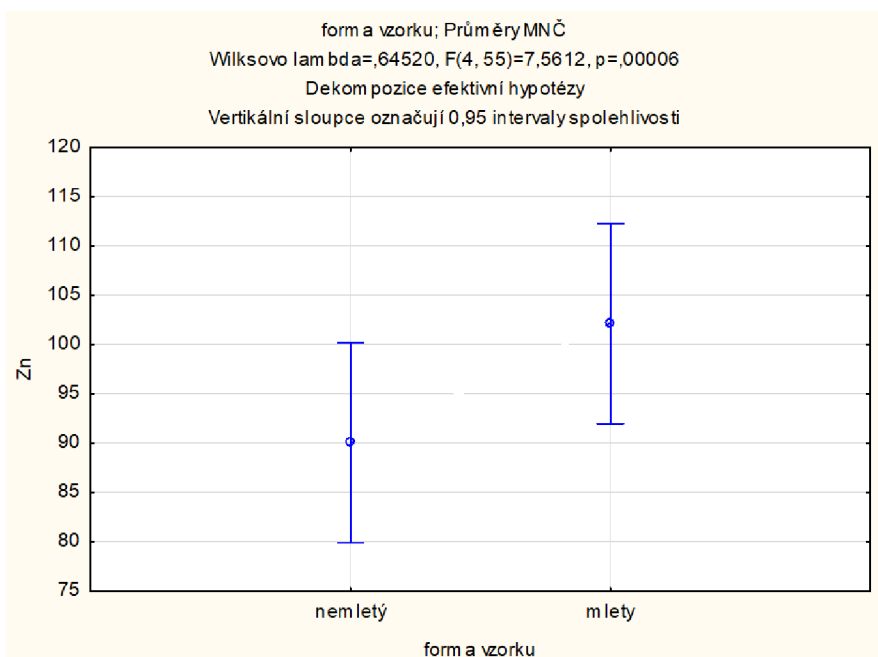


Č. buňky	Scheffeho test; proměnná Fe (Stat_DELTA_mák1) Pravděpodobnosti pro post-hoc testy Chyba: meziskup. PČ = 919,21, sv = 58,000		
	forma vzorku	1	2
1	nemletý		0,000003
2	mletý	0,000003	

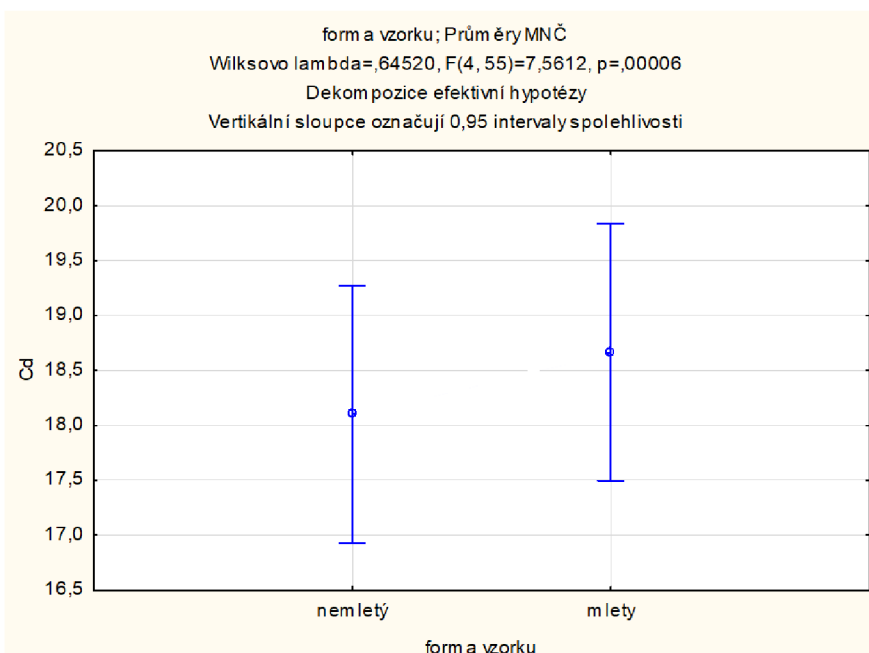


Č. buňky	Scheffeho test; proměnná Cu (Stat_DELTA_mák1)		
	forma vzorku	1	2
		14,650	18,750
1	nemletý		0,010643
2	mletý	0,010643	

Pravděpodobnosti pro post-hoc testy
Chyba: meziskup. PČ = 36,188, sv = 58,000



Č. buňky	Scheffeho test; proměnná Zn (Stat_DELTA_mák1) Pravděpodobnosti pro post-hoc testy Chyba: meziskup. PČ = 775,31, sv = 58,000		
	forma vzorku	1	2
1	nemletý		0,097203
2	mletý	0,097203	



Č. buňky	Scheffeho test; proměnná Cd (Stat_DELTA_mák1) Pravděpodobnosti pro post-hoc testy Chyba: meziskup. PČ = 10,299, sv = 58,000		
	forma vzorku	1	2
1	nemletý	18,100	18,667
2	mletý	0,496787	0,496787