

UNIVERZITA KARLOVA

Fakulta tělesné výchovy a sportu

**Význam přírodních antinutričních a toxických látek**

**v potravinách**

Bakalářská práce

Vedoucí bakalářské práce:

**Mgr. Ivana Kinkorová, Ph.D.**

Vypracoval:

**Adam Hruša**

Praha, červenec 2020

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem závěrečnou bakalářskou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného, nebo stejného akademického titulu.

V Praze, dne

Podpis

## **Evidenční list**

Souhlasím se zapůjčením své bakalářské práce ke studijním účelům. Uživatel svým podpisem stvrzuje, že tuto bakalářskou práci použil ke studiu a prohlašuje, že ji uvede mezi použitými prameny.

Jméno a příjmení:

Fakulta / katedra:

Datum vypůjčení:

Podpis:

## **Poděkování**

Rád bych poděkoval paní Mgr. Ivaně Kinkorová, Ph.D. za vedení bakalářské práce, poskytnutí cenných rad a připomínek a věnovaný čas.

## **Abstrakt**

Bakalářská práce se zabývá významem přírodních antinutričních a toxický látek. Cílem této práce je poskytnout ucelený pohled na dané téma a dále blíže specifikovat mnou vybranou skupinu látek se zaměřením na jejich možné účinky na zdraví běžné populace a na zdraví sportovce. Jedná se o teoretickou práci, která byla zpracována pomocí metody literární rešerše.

Klíčová slova: antinutrienty, antinutriční látky, rostlinná strava, potenciální zdravotní benefity, nepříznivé zdravotní účinky, Inhibitory proteáz, fytoestrogeny

## **Abstract**

The bachelor thesis deals with the importance of natural antinutritive and toxic substances. The aim of this work is to provide a comprehensive view of the topic and further specify the selected group of substances with a focus on their possible effects on the health of the general population and the health of athletes. This is a theoretical type of thesis, which was processed using the method of literary research.

Key words: antinutrients, anti-nutritional factors, plant foods, potential health benefits, adverse health effect, proteas inhibitors, phytoestrogens

## Seznam tabulek

Tabulka 1      Rozdělení antinutričních látek

## Seznam obrázků

Obrázek 1      Potravinová pyramida

Obrázek 2      Diagram rozdělení antinutričních látek

Obrázek 3      Mechanismus působení enzymu

Obrázek 4      Enzymová reakce a inhibice enzymové reakce

Obrázek 5      Struktura inhibitoru proteáz Kunitzova typu

Obrázek 6      (A) Struktura dimeru Bowman-Birkova typu inhibitoru trypsinu a  
struktura trypsinu

(B) Struktura Bowman-Birkova typu proteinázového inhibitoru

Obrázek 7      Chemická klasifikace fytoestrogenů

## Obsah

1	ÚVOD.....	1
2	SOUČASNÝ STAV BĀDÁNĪ.....	2
3	CĪLE A ÚKOLY PRÁCE.....	5
3.1	CĪle .....	5
3.2	Úkoly.....	5
4	METODIKA PRÁCE .....	6
5	POTRAVINY .....	7
5.1	SloženĪ potravin.....	7
5.2	Živiny v potravinách .....	9
5.2.1	Makroživiny .....	10
5.2.2	Mikroživiny.....	11
5.2.3	BioaktivnĪ složky potravin .....	12
6	ANTINUTRIČNĪ LÁTKY .....	14
6.1	RozdĚlení antinutričnĪch lÁtek.....	14
6.2	Účinky antinutričnĪch lÁtek .....	17
6.3	PřĪjem antinutričnĪch lÁtek .....	18
7	POPIS VYBRANÝCH ANTINUTRIČNĪCH LÁTEK.....	20
7.1	Inhibitory enzymů .....	20
7.1.1	Inhibitory proteáz .....	22
7.1.2	Inhibitory Kunitzova a Bowmanova-Birkova typu.....	24
7.1.3	Inhibitory trypsinu.....	25
7.1.4	Inhibitory enzymů štĚpĪcí sacharidy .....	28
7.2	Fytoestrogeny .....	29
7.2.1	PozitivnĪ účinky fytoestrogenů na zdravĪ lidĪ .....	30
7.2.2	NegativnĪ účinky fytoestrogenů na zdravĪ lidĪ .....	33
8	SÓJOVĚ SUPLEMENTY VE SPORTOVNĪ VÝŽIVĚ .....	35



8.1	Možné výhody a nevýhody sójových suplementů .....	35
8.2	Sójová suplementace .....	35
9	ZÁVĚR.....	39
	Literatura.....	40

# 1 ÚVOD

Tématem této bakalářské práce jsou přírodní antinutriční a toxické látky v potravinách, které jsem zvolil proto, že tyto látky mohou významně ovlivnit příjem živin z potravy a tím i ovlivnit regeneraci sportovce, z tohoto pohledu je pro mě toto téma zajímavé.

Potraviny obsahují především základní živiny, které rozdělujeme na makroživiny a mikroživiny, a jsou nezbytné pro život a zdraví. Kromě těchto živin však mohou obsahovat i látky tzv. antinutriční a toxické, které mohou naopak zdraví poškozovat. Antinutriční látky mohou narušovat činnost některých enzymů, minerálních látek a vitamínů, zmenšují biologickou využitelnost základních makronutrientů a tím snižují nutriční hodnotu potravin. Mezi antinutriční látky řadíme fytoestrogeny, inhibitory enzymů, látky interferující s metabolismem minerálních látek a další. Antinutriční látky se nachází především v potravinách rostlinného původu, nejvíce jich však obsahují luštěniny, bobovité rostliny hlavně sója a obilniny, které tvoří značnou část lidského jídelníčku, především však vegetariánů a veganů, kteří jsou kvůli konzumaci velkého množství rostlinné stravy vystaveni i zvýšenému příjmu antinutrientů a tím i potencionálně zvýšenému riziku projevu negativních účinků vlivem těchto látek. Zejména pak potřeba nahrazování živočišné bílkoviny sójovou může vést k projevu negativních účinků v důsledku antinutrientů v sóje obsažených. Obzvláště pak sportovci, kteří dodržují některé z výše zmíněných alternativních způsobů stravování a užívají sójovou suplementaci pro navýšení příjmu bílkovin k budování svalové hmoty a podpoře regenerace, mohou být vystaveni ještě vyššímu potencionálnímu riziku antinutričních látek, zejména pak inhibitorům enzymů a fytoestrogenům, které sója obsahuje ve větší míře. Antinutriční látky se dají z potravin do jisté míry eliminovat různými druhy úprav, mezi které patří například rafinace, fermentace, máčení, klíčení a tepelná úprava. Antinutriční látky však mohou vykazovat kromě negativních účinků i účinky pozitivní. Některé antinutriční látky jsou předmětem zkoumání díky svým předpokládaným protirakovinným, kardioprotektivním nebo antioxidačním a dalším pozitivním účinkům.

Problematice antinutričních látek v současné době není věnována přílišná pozornost, existuje pouze málo studií, které by se zabývaly rozdělením antinutričních látek dle jejich účinků nebo vlivem antinutričních látek na výkon sportovce a existuje jen malé množství studií, které shrnují tu problematiku. Dostupné studie se zabývají většinou jednou konkrétní skupinou antinutričních látek a jejich konkrétním účinkem na organismus a zdraví člověka.

## 2 SOUČASNÝ STAV BĀDÁNĀ

Po staletí je známo, že různé chemické látky přijímané s potravou ovlivňují lidské tělo. Od nejranějších dob chtěli lidé vědět, které látky podporují tělesné funkce, ať už je uklidňují nebo paralyzují, vedou k uzdravení nebo smrti, a jakým způsobem tyto látky fungují. Bylo zjištěno, že účinky chemických látek závisí na mnoha faktorech, jako je například skupenský stav, množství, cílová tkáň, kde působí (Kent, 1998).

Antinutriční látky jsou chemické látky, které si rostliny vyvinuly pro svou vlastní obranu a další biologické funkce. Ukázalo se, že některé z těchto rostlinných chemikálií jsou škodlivé pro zdraví nebo naopak výhodné pro zdraví lidí a zvířat, pokud jsou konzumovány ve vhodných množstvích. Antinutriční látky mají zásadní vliv pro určování využití rostlin pro člověka (Gemedo, 2014; Popova & Mihaylova, 2019).

Užívání toxických a dalších účinných látek z rostlin je datováno do nejranějších dob lidské evoluce. Primitivní člověk se, stejně jako zvířata, instinktivně vyhýbal konzumaci rostlin obsahujících toxické látky. Upravoval potraviny, které obsahovaly antinutriční látky. Přirozeně se vyskytující rostlinné a živočišné toxické látky byly využívány ke zvýšení lovecké účinnosti. Spisy starověkých Egypťanů, indiánů a Řeků uvádějí toxické účinky chemických látek přirozeně se vyskytujících v rostlinách, zvířatech a potravinách. Toxické látky z různých rostlin byly využívány k lovu nebo k vraždám. Primitivní národy používaly antinutriční látky a toxické látky, jako projímadla nebo emetika, k různým léčivým účelům a rituálům (McQueen, 2017; Kent, 1998).

První sbírky informací o účincích sloučenin z různých rostlin pocházejí z Persie a Číny. Ebers Papyrus uvádí více než 800 látek používaných v Egyptě 2000 let před našim letopočtem (Milles, 1999). Řekové používali různé toxické látky jako jed do šipek. S vývojem společnosti se vyvíjely poznatky o antinutričních a toxických látkách a rozvíjelo se také jejich použití (Hayes & Gilbert, 2009). Spisy od Hippokrata, Aristotela a Theophrasta publikovaných v období 400 až 250 př. n. l. zahrnují zmínky o jedech. Dioscorides se pokusil klasifikovat rostliny podle jejich toxických a terapeutických účinků. Velký podíl na vývoji toxikologie má Galen a Paracelsus (1493-1541). Byl to právě Paracelsus, kdo položil základy pro další vývoj moderní toxikologie tím, že uznal důležitost vztahu dávka-odpověď (reakce). Jeho slavné prohlášení: „*Všechny látky jsou jedy, není nic, co není jed. Správná dávka rozlišuje jed a lék*“ stručně shrnuje tento koncept (Hodgson, 2004; Gupta, 2016). Orfila, Španěl, který na počátku devatenáctého století pracoval na pařížské univerzitě, je obecně považován za otce moderní

toxikologie. Jasně identifikoval toxikologii jako samostatnou vědu a v roce 1815 vydal první knihu věnovanou výhradně toxikologii. Orfila jako první popsal systematickou korelaci mezi chemickými a biologickými vlastnostmi toxických látek. Orfila prokázal účinky jedů na specifické orgány a poškození tkání s nimi spojené (Gupta, 2016; Deshpande, 2002).

Od 60. let 20. století toxikologie vstoupila do fáze rychlého vývoje a změnila se z vědy, která byla do značné míry popisná na vědu, v níž se obecně uznává význam mechanismů toxického působení látek. Od 70. let 20. století se zvýšeným důrazem na použití technik molekulární biologie, se tempo změn ještě více zvětšilo a toxikologie se stala multidisciplinárním vědním oborem (Hodgson, 2004).

Antinutriční látky v potravinách mohou být odpovědné za škodlivé účinky spojené s absorpcí živin a mikroživin, za určitých podmínek však mohou mít i některé pozitivní účinky. Většina z těchto antinutričních faktorů je přítomna v potravinách rostlinného původu. Přítomnost kyanogenních glykosidů, inhibitorů proteáz, lektinů, taninů, alkaloidů, a saponinů může u lidí vyvolat nežádoucí účinky, pokud jejich spotřeba přesáhne horní hranici. Určité škodlivé účinky mohou být také způsobeny produkty rozkladu těchto sloučenin. Některé antinutriční faktory a jejich produkty rozkladu však mohou mít naopak příznivé účinky na zdraví, jsou-li přítomny v malém množství. Mechanismus, kterým se uplatňují antinutriční a prospěšné účinky potravinových antinutričních faktorů, je stejný. Pochopení mechanismu působení antinutričních látek a pochopení jejich účinků je jedním z klíčových faktorů, jak předcházet jejich negativním účinkům na zdraví člověka. V posledních letech bylo publikováno několik studií o antinutričních látkách nalezených v potravinách. Většina z nich se však zabývá specifickými vlastnostmi nebo příznivými účinky specifických antinutričních látek, které se vyskytují v potravinách a/nebo krmivech. V současné době je nedostatečná znalost úrovně tolerance vůči těmto látkám v lidském organismu, málo dostupných informací o stupni variace jednotlivých rizik a málo znalostí o vlivu environmentálních faktorů na detoxikační kapacitu lidského organismu (Shahidi, 1997; Gemedede & Ratta, 2014).

Luštěniny patří k nejvíce bohatým zdrojům na antinutriční látky. V současné době existuje mnoho studií zabývajících se problematikou antinutričních látek v luštěninách, a to zejména v sóji. Konzumace sóji je typická pro východní populaci (Reddy & Dassenko, 1992). Antinutriční látky mohou také ovlivňovat technologický proces výroby potravin, rozsáhlý výzkum je zaměřený na metody ošetření potravin a metody odstranění antinutričních látek z potravin, jako je například tepelné ošetření, máčení nebo ošetření tlakem (El-Hady & Habiba, 2003). V popředí současného výzkumu jsou antinutriční látky, které významně

ovlivňují zdraví člověka, ať pozitivním nebo negativním směrem, mezi takové látky patří například fytoestrogeny, inhibitory proteáz, kyselina fytová, glukosinoláty, aj. (Gemedé, 2014).

## **3 CÍLE A ÚKOLY PRÁCE**

### **3.1 Cíle**

Cílem této práce bylo poskytnout ucelený pohled na dané téma a dále blíže specifikovat mnou vybranou skupinu látek se zaměřením na jejich možné účinky na zdraví běžné populace a na zdraví sportovce.

### **3.2 Úkoly**

1. Provést literární rešerši domácích i zahraničních zdrojů, které definují a popisují antinutriční látky.
2. Vybrat některé skupiny antinutričních látek na základě jejich častého výskytu ve stravě člověka, resp. v běžně dostupných potravinách.
3. Detailněji definovat vybrané antinutriční látky a popsat jak jejich negativní, tak i možné pozitivní účinky.
4. Zaměřit se na problematiku antinutričních látek v doplňcích stravy pro sportovce (konkrétně problematiku suplementů obsahujících sóju).

## 4 METODIKA PRÁCE

K získání zdrojů odborných informací k danému tématu byla použita česká i zahraniční literatura, dále pak internetové vyhledávací portály, například: Web of Science, Scopus, Science Direct a Google Scholar. Pro vyhledávání zahraničních zdrojů byla použita tato klíčová slova: Antinutrients, Anti-Nutritional Factors, Human Foods, Plant Foods, Potential Health Benefits, Adverse Health Effect, Proteas Inhibitors, Phytoestrogens. Seznam těchto použitých klíčových slov není vyčerpávajícím výčtem. Pro nalezení klíčových zdrojů byla tato slova obměňována a kombinována ve formě synonym.

První část práce je zaměřena na složení potravin, charakteristice antinutričních látek všeobecně, ve druhé části je práce zaměřená na vybrané skupiny antinutričních látek, konkrétně inhibitory enzymů a fytoestrogeny.

Pro diagram rozdělení antinutričních látek byl použit program Coggle, informace použité pro rozdělení antinutričních látek vychází ze tří dostupných zdrojů.

Detailnější popis inhibitorů enzymů a fytoestrogenů jsem si vybral, protože jsou obsaženy ve velkém množství rostlinných potravin a mohou mít významný negativní, nebo pozitivní efekt na zdraví člověka. Navíc dostupná literatura o těchto dvou skupinách antinutričních látek není ucelená a chybí přehled jejich účinků. U každé skupiny látek jsou charakterizovány jejich vlastnosti, výskyt, účinky na zdraví člověka a možné metody jejich eliminace z potravin.

Inhibitory enzymů jsou rozděleny na dvě skupiny, a to inhibitory proteáz a inhibitory enzymů štěpící sacharidy. Inhibitory proteáz jsou rozděleny na dvě skupiny dle jejich výskytu a vlastností, a to na inhibitory proteáz Kunitzova a Bowman-Birkova typu, nejvíce pozornosti je věnováno inhibitorům trypsinu. U skupiny fytoestrogenů je velká pozornost věnována hlavně popisu jejich pozitivním a negativním účinkům na zdraví člověka.

Jelikož jsou obě výše zmiňované skupiny antinutričních látek obsaženy ve velkém množství v sójovém proteinu a v současné době roste obliba rostlinných produktů vlivem trendu vegetariánství a veganství, zaměřil jsem se na jejich efekt na zdraví a výkon sportovce. Sójové suplementy se ve sportovní výživě stávají stále více oblíbené a roste jejich spotřeba. Publikovaná literatura na toto téma je velmi omezená. Existuje pouze málo studií, které se zabývají negativními účinky antinutričních látek obsažených v sójových proteinech na sportovní výkon. Většina literatury je spíše zaměřena na kvalitu proteinu samotného a antinutriční látky obsažené v sójovém proteinu jsou opomíjeny.

## 5 POTRAVINY

Potraviny jsou požitelné fragmenty rostlinných nebo živočišných organismů v přirozeném nebo zpracovaném stavu, které po konzumaci a trávení v lidském organismu mohou být zdrojem různých živin (Palka, 2006).

Slovem potrava jsou myšleny všechny materiály, které mohou sloužit výživě organismů. Potravou, která slouží k vyživování buněk lidského organismu je klasifikována jako poživatiny (Velíšek, 1999).

Podle původu můžeme rozlišovat poživatiny:

1. Živočišného původu, mezi které patří maso, vejce, mléko, živočišné tuky
2. Rostlinného původu, mezi které patří ovoce, zelenina, obilniny, luštěniny, houby, semena, ořechy, řasy,

Poživatiny můžeme dále rozdělit na potraviny a pochutiny.

1. Potraviny: Mají určitou výživovou (nutriční) hodnotu, pro organismus, která je dána obsahem živin.
2. Pochutiny: Jsou poživatiny, které většinou nemají příliš velkou, nebo nemají vůbec žádnou výživovou hodnotu. Jsou tedy konzumovány především pro jejich senzorickou, neboli smyslovou hodnotu, například různé druhy koření, nebo káva a čaj pro jejich povzbuzující účinky.
3. Lahůdky: Jsou skupinou, která se řadí mezi potraviny a pochutiny, které jsou konzumovány především pro jejich značnou smyslovou hodnotu, avšak ve srovnání s pochutinami se vyznačují vyšší energetickou hodnotou. Požitelné tekutiny jsou označovány jako nápoje a na základě své výživové hodnoty se řadí buď mezi potraviny, nebo pochutiny (Velíšek & Hajšlová, 2009).

### 5.1 Složení potravin

Potraviny jsou tvořeny hlavními složkami, a to bílkovinami, sacharidy, tuky, využívanými v organismu k udržení růstu, životních procesů a zásobení energií. Kromě hlavních živin jsou pro udržení normální funkce organismu v potravinách obsaženy také vitaminy a minerální látky. Dále jsou v potravinách obsaženy ostatní chemické látky určující organoleptické vlastnosti potravin a chemické látky, které byly do potravin přidány za účelem



dosažení požadovaných vlastností potravin (Hutton, 2002; DeMan et al., 1999; Pomeranz, 2012).

Absorpce a využití živin z potravy v těle je základem výživy a je zprostředkována trávením. Existuje koloběh potravin v přírodě: rostliny, které přeměňují sluneční energii na energii pomocí fotosyntézy, jsou primárním zdrojem potravy. Zvířata, která se živí rostlinami, často slouží jako zdroje potravy pro jiná zvířata, a ty mohou být zdrojem potravy pro lidi. Lov, zahradnictví, pastevectví a rozvoj zemědělství jsou primární prostředky, kterými se lidé přizpůsobili svému prostředí, aby si dokázali vyprodukovat potravu. Potrava již dlouhou dobu slouží jako nositel kultury v lidských společnostech a je hnací silou globalizace (DeMan et al., 1999)

Zájem o složení potravin započal v 18. a 19. století. Vědci si začali uvědomovat, že vědomosti získané v této oblasti mohou přispět ke zlepšení zdravé výživy a zdraví obyvatelstva. Jako první byly definovány hlavní složky potravin, jako jsou sacharidy, lipidy, bílkoviny a tuky. V polovině 19. století se začali vědci zabývat falšováním potravin a odhalením nesprávných postupů výrobců potravin. V této době vznikly mnohé chemické postupy, které vedou k odhalení nebezpečných barviv v cukrářských výrobcích, přidané vody v mléce, víně, pivu a lihovin a dalších látek, které se v potravinách v přirozené formě nevyskytují. Vývojem těchto metod, které vedly k odhalení falšování potravin, se zabránilo finančním ztrátám a klamání spotřebitele (Manning & Soon, 2014).

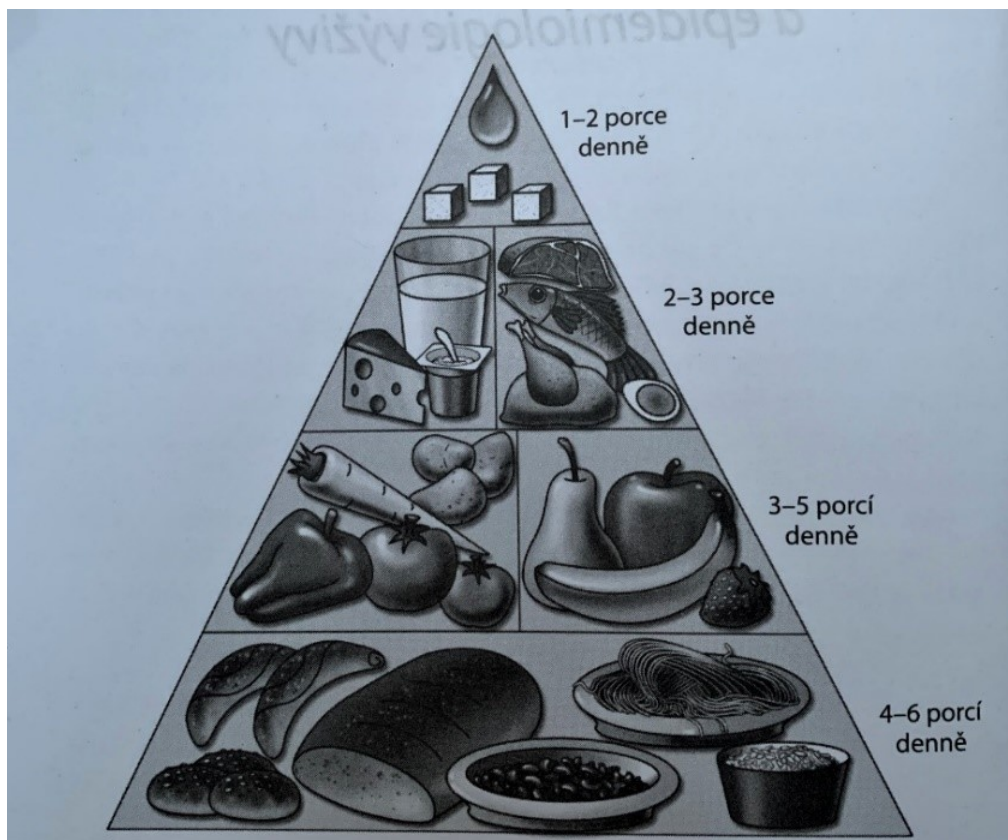
S rostoucím zájmem dalších vědních oborů o složení potravin rostl také vývoj analytických metod určujících složení potravin. Analýza složení potravin se za posledních 100 let významně vyvíjí od jednoduchých laboratorních metod převážně tzv. „mokrých chemie“ používaných na počátku do poloviny 20. století až po jejich postupné nahrazování moderními instrumentálními technikami. V 20. století se začala věnovat větší pozornost vývoji metod analýzy vitamínů a dalších složek potravin, které se vyskytují v potravinách v malém množství. V 20. století se také rozvíjí metody analýzy a aplikace přírodních a umělých aditiv. V posledních letech je výzkum složení potravin zaměřen převážně na analýzu a charakteristiku nežádoucích látek objevujících se v potravinách. Dále se vědci zabývají chováním složek potravin za určitých podmínek, jako je např. zpracování, skladování, tepelná úprava, ale také co se děje se složkami potravy v těle. Nynější výzkum složení potravin je poháněn potravinářskou výrobou. Složením potravin v této době zabývá široké spektrum vědních oborů, od výživy, medicíny, biochemie, analytické chemie, až po psychologii a sociologii (Coultate, 2009b; Mcgorrin, 2009; Coultate, 2009a).

Odhad příjmu živin z potravy vyžaduje spolehlivé údaje o složení potravin. Tyto údaje, jsou také základem pokynů a doporučení pro zdravou výživu. Tabulky složení potravin poskytují informace o množství základních složek a o energetické hodnotě potravin, dále tyto údaje poskytují informace o chemických formách živin, přítomnosti a množství interagujících složek, a také poskytují informace o jejich biologické dostupnosti. Pro některé živiny, jako je vitamin A, vitamin E a niacin, byl zaveden koncept ekvivalence, který zohledňuje rozdíly v dostupnosti a biologické aktivitě různých chemických forem. Vzhledem k příznivým účinkům biologicky aktivních sloučenin sekundárních rostlinných buněk, jako jsou např. polyfenoly a karotenoidy, přibývá v tabulkách potravin také údajů o množství těchto biologicky aktivních látek. Dalším aspektem jsou kontaminanty, které by mohly mít škodlivé účinky na zdraví spotřebitelů. Mezi ně patří agrochemikálie, průmyslové znečišťující látky a látky vytvořené během přípravy potravin. Platné posouzení rizika vyžaduje údaje o expozici, a tedy o obsahu kontaminujících látek v potravinách. Tato data jsou však velmi variabilní a mohou se výrazně lišit (Elmadfa & Meyer, 2010; Deharveng et al., 1999).

## 5.2 Živiny v potravinách

Hlavní živiny v potravinách lze rozdělit do dvou kategorií: makroživiny a mikroživiny. Makroživiny jsou ty živiny, které tělo potřebuje ve velkém množství, tyto živiny dodávají tělu energii. Makroživiny zahrnují sacharidy, tuky a bílkoviny, často se mezi makroživiny zařazuje také voda, a to z důvodu potřeby příjmu vody ve velkém množství. Energie se měří v kaloriích a je nezbytná pro to, aby tělo rostlo, regenerovalo a vyvíjelo nové tkáně. Energie napomáhá procesům vedení nervových impulsů a regulaci životních procesů. Mikroživiny jsou ty živiny, které tělo potřebuje v menším množství. Mezi tyto živiny patří minerály a vitaminy. Mikroživiny samy o sobě neposkytují energii, ale jsou velmi důležité pro normální fungování těla a napomáhají mnoha chemickým reakcím v těle (Carvajal et al., 2015; Sangita, 2018).

Pro správné využití těchto živin organismem je důležitý i jejich vzájemný poměr. Obecně doporučený poměr těchto živin v celkovém přísunu energie u běžné zdravé, dospělé, nesportující populace, se udává 55-66 % sacharidů 25-30 % tuků a 10-15 % bílkovin u specifických skupin populace jako např. děti, senioři, pohybově aktivní jedinci se může procentuální zastoupení sacharidů, tuků a bílkovin lišit. Pro ilustraci uvádíme na obrázku č.1. příklad nejčastěji znázorňovaného modelu potravinové pyramidy pro českou populaci (Svačina, et al., 2013).



**Obrázek č. 1** Potravinová pyramida (převzato podle Svačina, et al., 2013).

Aby tělo mohlo využít živiny z potravy, musí být nejprve komplexní živiny rozloženy na menší vstřebatelné chemické látky. Potrava je nejprve trávena a vstřebávána pomocí různých mechanismů v těle. Makroživiny jsou nejprve rozloženy na menší chemické látky různými rozkladnými procesy (katalýza), které jsou typické pro každou makroživinu, poté následuje skladný proces (analýza), kterým jsou vytvořeny požadované chemické látky, které je tělo schopné vstřebat. Metabolismus živin je ovlivněn množstvím přijatých živin (Berdanier et al., 2008).

### 5.2.1 Makroživiny

Sacharidy jsou ve stravě člověka důležitým zdrojem energie. Můžeme je rozdělit na stravitelné (monosacharidy, disacharidy, polysacharidy) a na nestravitelné, známé jako potravinová vláknina (Sangita, 2018). Mezi stravitelnými a nestravitelnými sacharidy existuje zásadně nutriční rozdíl, rezistentní škrob, některé další polysacharidy a oligosacharidy jsou hlavními formami nestravitelných sacharidů. Dietní vláknina je často synonymem pro nestravitelné sacharidy. Nutriční účinky vlákniny souvisí s její nevstřebatelností v tenkém střevě a fyzikálními a chemickými vlastnostmi polysacharidů, z nichž se skládá (Asp, 1996).

Většina potravin obsahuje některé druhy sacharidů, ale mezi potraviny obsahující nejvíce sacharidů patří ovoce, zelenina, výrobky z obilovin, rýže, luštěniny a mléko. Glukóza je běžný příklad nejjednoduššího typu cukru, je to monosacharid obsažený společně s fruktózou v ovoci. Nejběžnější disacharid je sacharóza neboli řepný či třtinový cukr. Dalším příkladem disacharidu je laktóza, která se nachází v mléce (Chinachoti, 1995).

Tuky tvoří širokou skupinu látek, která je rozpustná v nepolárních organických rozpouštědlech. Většina lipidů patří mezi triglyceridy. Součástí triglyceridů jsou i jiné látky rozpustné v lipidech, například fosfolipidy a steroly. Triglyceridy jsou jedním z nejdůležitějších zdrojů energie v lidském těle. Specifické mastné kyseliny, nacházející se v triglyceridech, jsou důležité pro správné fungování buněčné membrány. Protože lidské tělo není schopné si samo vytvářet esenciální mastné kyseliny obsažené v tucích, je nutné přijímat je ve stravě (Sangita, 2018). Mastné kyseliny obsažené v tucích ovlivňují funkční a nutriční vlastnosti tuku. Oleje obsahující více nenasycených mastných kyselin, které zaručují tekutost oleje. Tuky jako je třeba máslo, sádlo obsahují větší zastoupení nasycených mastných kyselin, které zajišťují tuhost potravin. (Stumpf, 1980). Mléčný tuk, který je důležitou složkou mléka a mléčných výrobků, má za následek vliv na organoleptické a reologické vlastnosti potravin, ve kterých je obsažený. Mezi další potraviny bohaté na tuky a oleje patří červené maso, některé druhy ryb, avokádo, rostlinné oleje, ořechy a vejce (Timms, 2012).

Bílkoviny jsou tvořeny řetězci aminokyselin a jsou další nezbytnou živinou. Jsou tvořeny 20 až 22 různými aminokyselinami, ze kterých je osm esenciálních. Aminokyseliny vzniklé z rozštěpení bílkovin jsou v lidském těle využity především k obnově tělních bílkovin, například svalů. Bílkoviny mohou být využity organismem i pro výrobu energie. To však pro tělo není ekonomicky výhodné, protože výroba energie z bílkovin je pro tělo náročnější než výroba energie ze sacharidů nebo tuků (Stratil, 1993). Bílkoviny v potravinách jsou většinou ve stravitelné formě, ale mohou se vyskytovat i v hůře stravitelné formě. Bílkoviny jsou ve velkém množství obsažené v mase, mléčných výrobcích, luštěninách a vejcích (Zayas, 2012)

### **5.2.2 Mikroživiny**

Vitamíny jsou látky organického původu, z nichž velkou část musíme přijímat ze stravy, protože si je lidské tělo neumí vyrobit samo. Pro normální fungování jsou potřebné v malém množství. Jsou používány organismem pro činnost mnoha enzymů a důležité pro správný průběh mnoha biochemických reakcí. Nedostatek nebo nadbytek určitého vitamínu způsobuje typické zdravotní potíže. Absence, nebo nedostatek určitého vitamínu je nejčastěji způsoben

nedostatečným příjmem z potravy nebo neschopností organismu vitamín z potravy vstřebat. Vitaminy dělíme na rozpustné v tucích (A, D, E, K) a na rozpustné ve vodě (B, C). Prostřednictvím tohoto rozdělení určujeme fyziologické chování vitamínů v organismu. Lidské tělo je schopné si do jater uložit vitaminy rozpustné v tucích do zásoby, která může vydržet až několik měsíců. Vitaminy rozpustné ve vodě si tělo ukládá jen minimálně a jejich zásoba vydrží pouze na několik dnů nebo týdnů.

Minerální látky jsou látky anorganického původu, které přijímáme převážně v potravě a vodě. Tělo je potřebováje v relativně malém množství, nejčastěji pro syntézu některých molekul, například vápník v kostech. Jsou také nezbytné pro činnost enzymů, udržování acidobazické rovnováhy a nervosvalovou činnost. V mnoha případech je však jeden prvek nezbytný pro více funkcí. Minerální látky můžeme rozdělit na makroprvky, kterých musíme denně přijímat několik set miligramů (sodík, draslík, vápník, hořčík, fosfor, chlor, síra), dále pak mikroprvky, které přijímáme v miligramovém množství (železo, křemík, lithium, zinek, měď, mangan,) a stopové prvky, které přijímáme v množství menším než jeden miligram (kobalt, jod, fluor, selen, nikl, chrom, aj.). Je důležité, aby v těle byla udržována mezi jednotlivými prvky fyziologická koncentrace. Přijímání látek v nevyvážených poměrech, nedostatečný nebo nadbytečný příjem jedné minerální látky, může negativně ovlivnit vstřebávání nebo funkci jiné minerální látky (Stratil, 1998).

Voda je přirozenou součástí většiny potravy a v potravinách je volná nebo vázaná na ostatní složky potravy. Voda není zdrojem energie, ale je reakčním prostředím v těle a je nezbytná pro mnohé procesy. Voda v potravině ovlivňuje strukturu a texturu. Množství vody v potravinách se dá určit pomocí tzv. vodní aktivity, která stanovuje množství volné vody, která je dostupná pro degradační reakce pro mikroorganismy. Podle vodní aktivity jsou potraviny rozděleny na tři skupiny, a to velmi vlhké (např. sýry masné výrobky, ovocné šťávy), středně vlhké (např. džemy, těstoviny, med) a suché (např. cereálie, cukr, koření). Parametry aktivity vody by měly mít důležité místo v identifikaci potravinářského výrobku, zejména pokud jde o jeho trvanlivost. Obzvláště důležité jsou hydrofilní a hydrofobní interakce mezi vodou a složkami potravy a vliv rozpustných molekul potravy na vodíkové vazby ve vodě (Mathlouthi, 2001).

### **5.2.3 Bioaktivní složky potravin**

Bioaktivní sloučeniny jsou ty složky potravin, které mají vliv na organismus jako celek nebo na specifické tkáně nebo buňky. Odlišují se od živin, protože bioaktivní sloučeniny

nejsou nezbytné a v současnosti neexistují doporučené hodnoty denního příjmu. Je však dobře prokázáno, že řada sloučenin z rostlinných a živočišných zdrojů má pozitivní vliv na lidské zdraví. Mezi tyto sloučeniny patří neprovitaminové karotenoidy a polyfenoly, fytosteroly, mastné kyseliny a peptidy. Mechanismy působení různých sloučenin, zejména ve vztahu ke snížení rizika onemocnění u jednotlivců, nejsou plně známy. Některé působí jako antioxidanty, zatímco jiné stimulují obranné mechanismy, které zvyšují reakci na oxidační stres, brání rozsáhlému poškození nebo zvyšují regeneraci. Neexistují dostatečné důkazy, které by doporučovaly příjem, účinnost a bezpečnost těchto látek, ale obecně je prokázáno, že jsou tyto látky součástí vyvážené stravy, která přispívá ke zlepšení zdravotního stavu jedince. Tyto sloučeniny se velmi liší chemickou strukturou a funkcí a jsou podle toho seskupeny. Fenolické sloučeniny, včetně jejich podkategorie, flavonoidy, jsou přítomny ve všech rostlinách a byly rozsáhle testovány v obilovinách, luštěninách, ořechách, olivovém oleji, zelenině, ovoci, čaji, a červeném víně. Mnoho fenolických sloučenin má antioxidační vlastnosti a některé studie prokázaly jejich příznivý účinek na trombózu a tumorigenezi (Kris-Etherton et al., 2002; Bernhoft, 2010).

## 6 ANTINUTRIČNÍ LÁTKY

Antinutriční látky jsou přírodní nebo syntetické složky potravy, které mohou narušovat vstřebávání živin, zejména bílkovin, vitamínů a minerálů, čímž brání optimálnímu využití živin ze stravy a snižují nutriční hodnotu (Velíšek & Hajšlová, 2009).

### 6.1 Rozdělení antinutričních látek

Existuje mnoho druhů antinutričních látek, které se dělí do různých skupin dle jejich vlastností, nejběžnější rozdělení jsou však tato: (Velíšek, 1999; Gemede, 2014; Thakur et al., 2017).

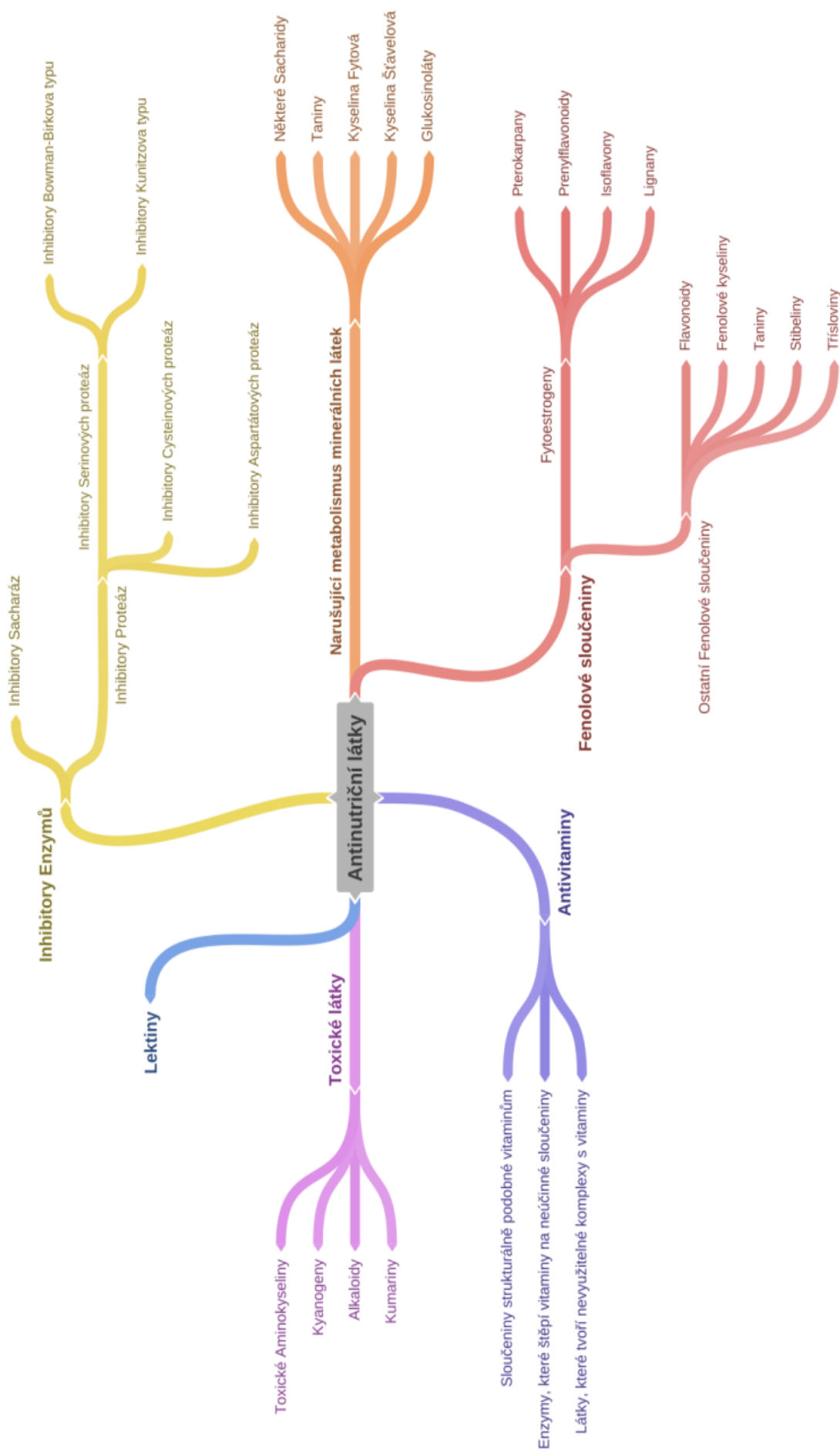
1. Tepelně stabilní
2. Tepelně labilní
3. Toxické
4. Potencionálně toxické
5. Přirozeně zastoupené v potravine
6. Uměle přidané do potraviny
7. Podle Chemických vlastností
8. Podle účinků

Jedním a nejběžnějším je rozdělení podle jejich schopnosti odolávat vysokým teplotám, antinutriční látky se tak dělí na tepelně stabilní (kyselina fytoová, taniny, alkaloidy, saponiny, neproteinové aminokyseliny atd.) a tepelně labilní (lektiny, kyanogenní glykosidy, inhibitory proteázy, toxické aminokyseliny atd.) (Thakur et al., 2017). Dále se mohou rozdělovat na toxické a potencionálně toxické antinutriční látky (Bora, 2014). Velíšek (1999) uvádí rozdělení antinutričních látek dle jejich původu na antinutriční látky, které jsou přirozeně zastoupené v potravine (kyselina fytoová, glykoalkaloidy, glukosinoláty, aj.), a uměle přidané antinutriční látky, tyto látky mohou být do potraviny přidány za účelem zlepšení organoleptických vlastností, nebo se v potravine vytvoří vlivem nesprávné manipulace s potravinou. Na obrázku č. 1 je znázorněn diagram rozdělení antinutričních látek podle jejich chemických vlastností a účinků.

<b>Fenolové sloučeniny</b>		
<b>Fytoestrogeny</b>	<b>Nejčastější výskyt</b>	<b>Možné způsoby částečné degradace nebo eliminace</b>
Pterokarpany	bobovité rostliny	rafinace, fermentace
Prenylflavonoidy	chmel	Fermentace
Isoflavony	luštěniny	fermentace, máčení, rafinace
Lignany	obiloviny, rýže, luštěniny, ořechy	fermentace, máčení, rafinace
<b>Antinutrienty narušující metabolismus minerálních látek</b>		
	<b>Nejčastější výskyt</b>	<b>Možné způsoby částečné degradace nebo eliminace</b>
Taniny	bobuloviny, vlašské ořechy, kakaové boby	máčení, fermentace
Kyselina fytová	luštěniny, olejniny, cereálie, ořechy	máčení, fermentace
Kyselina šťavelová	jahody, rebarbora, špenát	tepelná úprava
Glukosinoláty	brukvovitá zelenina	tepelná úprava
Některé sacharidy	ovoce, zelenina	fermentace, tepelná úprava
<b>Toxické látky</b>		
	<b>Nejčastější výskyt</b>	<b>Možné způsoby částečné degradace nebo eliminace</b>
Kyanogeny	maniok, len, bezinky, hořké mandle	tepelná úprava, máčení, fermentace
Alkaloidy	tabák, čaje, káva, brambory	Máčení
Kumariny	mrkev, celer, skořice, meruňky, jahody	tepelná úprava, fermentace
Toxické aminokyseliny	vikve, hrachory, zeli	tepelná úprava, fermentace, máčení
<b>Inhibitory enzymů</b>		
	<b>Nejčastější výskyt</b>	<b>Možné způsoby částečné degradace nebo eliminace</b>
Inhibitory proteáz	luštěniny	tepelná úprava, fermentace
Inhibitory sacharáz	obiloviny	tepelná úprava, fermentace
<b>Antivitamíny</b>		
	<b>Nejčastější výskyt</b>	<b>Možné způsoby částečné degradace nebo eliminace</b>
Sloučeniny strukturálně podobné vitamínům	ovoce, zelenina	tepelná úprava
Enzymi štěpící vitamíny	ovoce, zelenina	tepelná úprava
Látky tvořící nevyužitelné komplexy s vitamíny	ovoce, zelenina, luštěniny, obilniny	tepelná úprava, fermentace
<b>Lektiny</b>		
	<b>Nejčastější výskyt</b>	<b>Možné způsoby částečné degradace nebo eliminace</b>
	Luštěniny, lilkovité rostliny, obilniny	tepelná úprava, fermentace, máčení

**Tabulka č.1** Rozdělení antinutričních látek (Převzato a upraveno podle Velišek a Hajšlová 2009; Srp a Mareš 2016; Bezpečnost potravin 2018).





**Obrázek č. 2:** Diagram rozdělení antinutričních látek (Převzato a upraveno podle Velíšek & Hajšlová 2009; Srp a Mareš 2016; Bezpečnost potravin 2018).

## 6.2 Účinky antinutričních látek

Mezi možné negativní projevy velkého množství antinutrientů v těle patří: (Soetan & Oyewole, 2009)

1. Nevolnost
2. Bolesti hlavy
3. Vyrážka
4. Nadýmání

Antinutriční látky jsou vysoce biologicky aktivní, mohou mít škodlivé účinky, ale za určitých okolností i některé pozitivní účinky na zdraví člověka a vyskytují se převážně v potravinách rostlinného původu. Tyto sloučeniny jsou přírodního nebo syntetického charakteru, narušují vstřebávání živin a mohou být zodpovědné za některé škodlivé účinky spojené s absorpcí živin (Gemedede, 2014). Většina sekundárních metabolitů, působících jako antinutrienty, vyvolává velmi škodlivé biologické reakce, zatímco některé z nich jsou široce používány ve výživě i jako farmakologicky aktivní látky (Soetan, 2008; Bora, 2014). Bylo zjištěno, že některé antinutriční látky mají pozitivní vliv na zdraví člověka, podporou růstu prospěšných bakterií (Soetan, 2008). Martinez et al. (2003) prokázali, že antinutriční látky obsažené v semenu rostliny *Lupinus campestris* a dalších druhů luštěnin vykazují antimutagenní aktivitu, zabraňují mutagennímu procesu, podílejícímu se na rozvoji nádorů. Bylo prokázáno, že fytáty, lektiny, taniny, inhibitory amyláz a saponiny snižují hladinu krevní glukózy a inzulínové reakce na škrobové potraviny a/nebo plazmatický cholesterol a triglyceridy. Kromě toho jsou fytáty taniny, saponiny, inhibitory proteázy a oxaláty spojeny se snížením rizika rakoviny (Gemedede & Ratta, 2014).

Některé z běžných projevů velkého množství antinutrientů v těle mohou být nevolnost, nadýmání, bolesti hlavy, vyrážka, aj. Ačkoli se citlivost lidí na antinutrienty široce liší, adekvátní zpracování potravin je doporučeno pro snížení aktivity a možných antinutričních látek (Soetan & Oyewole, 2009). Některé z těchto chemických látek mohou být ve větším množství pro lidský organismus nebezpečné, zvláště pokud se jedná o extrémní jednostranné diety, kde může dojít například k nedostatku důležitých živin a závažnému deficitu minerálních látek. Bylo však zjištěno, že pokud jsou některé antinutriční látky konzumovány v přiměřeném množství, mohou mít i příznivé účinky (Popova & Mihaylova, 2019).

Mechanické, tepelné a biochemické postupy snižují hladinu antinutričních látek v potravině. Mnoho tradičních metod přípravy (např. fermentace) redukuje antinutrienty, jako je kyselina fytová, a tím zvyšuje kvalitu některých rostlinných potravin. Například kasava je fermentována, aby se snížily hladiny toxinů a antinutrientů. Glukosinoláty, které jsou obsaženy např. v brokolici, kapustě a kvěťáku, jsou všeobecně uznávány pro své zdravotní přínosy, ale také interferují s vychytáváním jódu a flavonoidů a chelatují kovy (např. železo a zinek), čímž snižují jejich absorpci (Sherman, 1926).

### 6.3 Příjem antinutričních látek

Faktory, které mohou ovlivňovat příjem antinutričních látek (Velíšek & Hajšlová, 2009; Popova & Mihaylova, 2019; Stevenson et al., 2012).

1. Množství přijaté látky
2. Různá onemocnění
3. Pohlaví
4. Věk jedince
5. Stres
6. Alternativní stravovací směry (zejména veganství)
7. Metabolismus jedince

Není zatím zcela známo, k jak velké ztrátě živin dochází v naší stravě vlivem antinutričních látek. Je však známo, že účinky se mezi jednotlivci liší v závislosti na jejich metabolismu a na tom, jak se potravina připravuje (Velíšek & Hajšlová, 2009).

Dalším faktorem, který ovlivňuje vstřebávání antinutričních látek, je množství přijaté látky. Tyto látky ovlivňují vstřebávání živin ve stejné potravině, ve které jsou obsaženy, proto se doporučuje konzumovat vyváženou stravu sestávající z různých druhů potravin a vyvarovat se konzumaci velkého množství jedné potraviny (Popova & Mihaylova, 2019).

Dalším faktorem ovlivňující vstřebávání antinutričních látek jsou různé druhy onemocnění. Lidé, kteří jsou vysoce ohroženi chorobami spojenými s nedostatkem minerálních látek, jako je např. osteoporóza s nedostatkem vápníku nebo anémie s nedostatkem železa, by měli omezit konzumaci potravin obsahující antinutrienty, které sníží vstřebávání deficitní látky. Studie vegetariánů, kteří jedí stravu s vysokým obsahem rostlinných potravin obsahujících vyšší množství antinutrientů, při vyvážené stravě obvykle nevykazují nedostatky v železe a zinku, z čehož vyplývá, že se pravděpodobně tělo může

přízpůsobovat přítomnosti antinutričních látek zvýšením absorpce těchto minerálů ve střevech (Stevenson et al., 2012) .

Dále má na vstřebávání antinutričních látek efekt pohlaví, věk a stres. Gilani a Sepehr (2003) ve své studii zkoumali vstřebávání živin ovlivněné působením antinutričních látek u mladých potkanů. Tyto dvě skupiny potkanů byly krmeny hořčičnou moukou obsahující glukosinoláty. Dospěli k závěru, že mladí potkani jsou na antinutriční látky mnohem citlivější než dospělí potkani. Podobně je tomu i u lidí, děti jsou na antinutriční látky mnohem citlivější než dospělí (Velíšek, 1999).

## 7 POPIS VYBRANÝCH ANTINUTRIČNÍCH LÁTEK

K detailnější popisu byly vybrány inhibitory enzymů a fytoestrogeny, které jsou v našem jídelníčku zastoupeny relativně často a mohou mít významný negativní nebo pozitivní efekt na zdraví člověka.

### 7.1 Inhibitory enzymů

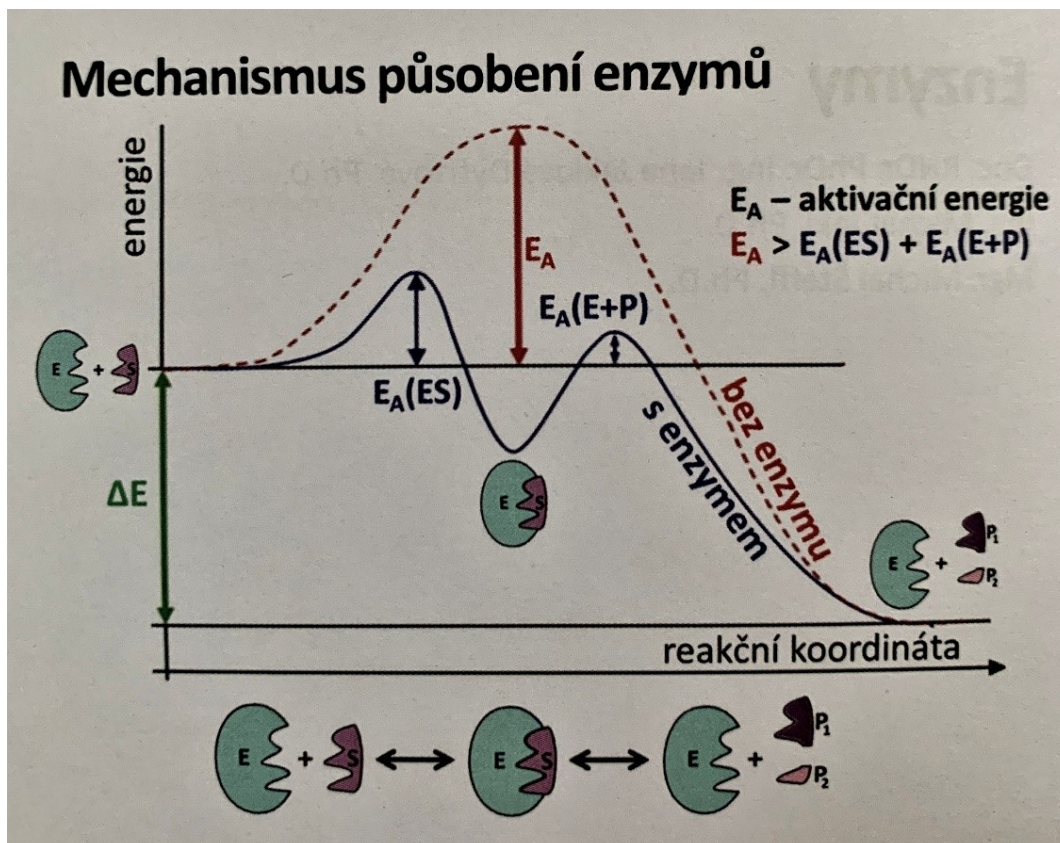
Inhibitory enzymů jsou látky, které se vážou na enzym a způsobují ztrátu aktivity enzymu, aniž by poškodily proteinovou strukturu enzymu (Roberts et Gibb, 2013).

Podle (Roskoski, 2007; Gomes & Rocha-Santos, 2019; Pelley, 2012) je dělíme na:

1. Ireversibilní (nevratné inaktivace enzymu)
2. Reversibilní (vratné inaktivace enzymu)
3. Kompetitivní
4. Nekompetitivní
5. Akompetitivní
6. Smíšené

V souvislosti s antinutričními látkami pak podle (Velíšek & Hajšlová, 2009; Hellinger & Gruber, 2019)) rozlišujeme:

1. Inhibitory proteáz, které dále dělíme na inhibitory Kunitzova typu a inhibitory Bowman – Birkova typu.
2. Inhibitory amiláz a inhibitory invertáz.



**Obrázek č.3** Mechanismus působení enzymu (Převzato podle Jaklová Dyrtrtová, Jakl, Šteffl, 2019).

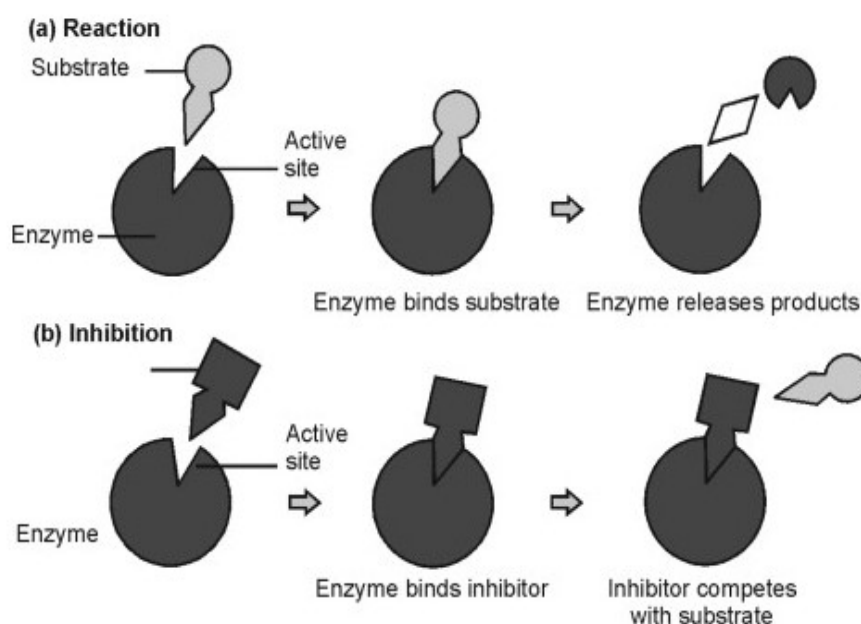
Inhibitory uplatňují svůj účinek snížením afinity enzymu k substrátu, snížením množství aktivního enzymu dostupného pro katalýzu nebo kombinací těchto účinků. Inhibitory enzymů se používají jako nástroje pro studium enzymů a jako léčiva pro léčení určitých poruch a onemocnění (Roberts & Gibb, 2013a).

Inhibitory enzymů jsou klasifikovány jako **reverzibilní** (vratné) a **ireverzibilní** (nevratné). Ireverzibilní inhibitor vytváří s enzymem stabilní komplex. Výsledkem je, že enzym je trvale inaktivován nebo je pomalu jeho funkce snížena. Ireverzibilní inhibitor se obvykle váže s aminokyselinovým zbytkem v aktivním místě enzymu, inhibitor brání vazbě a enzymové katalýze (Roskoski, 2007). Reverzibilní inhibitory enzymů se vážou na cílový enzym kombinací nekovalentních interakcí, jako je vodíková nebo iontová vazba, hydrofobní vazba a Van der Waalsovy interakce. Jedná se o slabé vazby, které mohou být přerušeny a aktivita enzymů může být znovu obnovena. Enzymy tak nepodléhají žádné chemické transformaci. Tento typ inhibitorů enzymů se používá v mnoha typech léčiv (Dougall & Unitt, 2015).

Podle toho, jak a kam se inhibitor naváže, se reverzibilní inhibitory dělí ještě na kompetitivní, nekompetitivní a akompetitivní inhibitory. **Kompetitivní** inhibice nastává, když je přítomný inhibitor podobný substrátu a soutěží se substrátem o aktivní místa enzymu,

inhibitor brání přístupu substrátu k aktivnímu místu, čímž zpomaluje reakci (Gomes & Rocha-Santos, 2019). Na obrázku č. 3 je znázorněný mechanismus kompetitivní inhibice. **Nekompetitivní** inhibitory jsou inhibitory, které se vážou na enzym v místech obvykle odlišných od vazebného místa substrátu, mění konfiguraci enzymu a v důsledku toho brání přístupu substrátu k aktivnímu místu nebo inhibují jeho katalytický účinek (Pelley, 2012). **Akompetitivní** inhibitory se nemohou vázat na volný enzym, vážou se na komplex enzym-substrát při vysokých koncentracích substrátu. Takto vytvořený komplex je enzymaticky neaktivní. Tento typ inhibice není tolik běžný a obvykle nastává v reakcích s více než jedním substrátem nebo produktem (Vigneswaran et al., 2014; Gome & Rocha-Santos, 2019).

Inhibitory enzymů jsou obecně nízkomolekulární sloučeniny, které se vyskytují ve velké míře v různých potravinách. V potravinách vyskytující se inhibitory enzymů lze rozdělit do dvou skupin dle jejich výskytu, a to na přirozeně se vyskytující neboli endogenní formy vyskytující se v živých organismech a umělé formy produkované chemickou syntézou a do potravin přidané za účelem zlepšení požadovaných vlastností potraviny (Ackaah-Gyasi et al., 2015).



**Obrázek č.4:** Enzymová reakce a inhibice enzymové reakce – (a) enzymová reakce, (b) kompetitivní inhibice (Vigneswaran et al., 2014).

### 7.1.1 Inhibitory proteáz

Proteáza je typ enzymu, který katalyzuje rozklad proteinů na základě jeho schopnosti rozpoznávat specifické krátké aminokyselinové sekvence (Casem, 2016). Proteiny a peptidy

jsou pomocí proteáz štěpeny na aminokyseliny. Téměř všechny organismy vyžadují proteolytické enzymy, které fungují a podílejí se na různých fyziologických procesech, počínaje trávením proteinů přijatých z potravy až po komplexní fyziologické reakce. Proteázy patří do skupiny 3 (hydrolázy), do podskupiny 4 (které hydrolizují peptidové vazby) (Philips-Wiemann, 2018). Poloha aktivního místa enzymu je obvykle zachována mezi homologními strukturami. Existují různé typy proteolytických enzymů, které jsou klasifikovány podle míst, na nichž katalyzují štěpení proteinů. Dvě hlavní skupiny jsou exopeptidázy, které cílí na terminální konce proteinů, a endopeptidázy, které cílí na místa v proteinech. Proteázy mohou působit velmi specificky (omezená hydrolýza) a nespecificky (agresivní hydrolýza). Proteázy regulují lokalizaci a aktivitu mnoha proteinů, modulují interakce protein-protein, vytvářejí nové bioaktivní proteiny a generují, transdukují a zesilují molekulární signály (Neurath & Walsh, 1976; Turk 2006).

Mezi nejznámější proteolytické enzymy patří ty, které jsou v zažívacím traktu. V žaludku jsou proteinové materiály zpočátku rozloženy žaludeční endopeptidázou známou jako pepsin. Dále částečně rozštěpený proteinový materiál putuje do tenkého střeva, kde je tento materiál dále rozložen proteolytickými enzymy sekretovanými slinivkou břišní. Tyto enzymy jsou v tenkém střevě uvolňovány z inaktivních prekurzorů produkovaných buňkami ve slinivce břišní, tyto prekurzory se nazývají trypsinogen, chymotrypsinogen, proelastáza a prokarboxypeptidáza. Tripsinogen je transformován na endopeptidázu nazývanou trypsin enzymem (enterokinázou), který je vylučován ze stěn tenkého střeva. Trypsin poté aktivuje prekurzory chymotripsinu, elastázy a karboxypeptidázy. Když se pankreatické enzymy aktivují ve střevě, přeměňují proteiny na volné aminokyseliny, které jsou snadno absorbovány buňkami střevní stěny. Slinivka také produkuje protein, který inhibuje trypsin. Předpokládá se, že tímto způsobem se slinivka chrání před autodigestí (Laskar & Chatterjee, 2009; Rawlings et al., 2012).

Proteolýza je biochemický děj, při kterém dochází k nespecifické degradaci proteinů, při procesech jako je trávení, k vysoce specifickým úpravám struktury proteinů a regulaci jejich funkce (Rawlings et al., 2012).

Inhibitory proteáz zastoupené v potravinách mohou být rostlinného, živočišného původu, a/nebo jsou produktem některých mikroorganismů. Jedná se o striktně kompetitivní inhibitory, které tvoří s enzymem komplex, po navázání ztrácí enzym své účinky. Reaktivní místa inhibitorů proteáz reagují s aktivními místy enzymu podobným způsobem, jako je interakce mezi substrátem a enzymem. Na rozdíl od substrátu však inhibitory tvoří s enzymem



extrémně stabilní komplex, který se disociuje pomalu (Friedman, 2013). Všechny inhibitory proteáz mají jednu nebo více peptidových vazeb (reaktivní místo), které působí na odpovídající aktivní enzymové místo. Reaktivní místa jsou obvykle úzce spojena s polo cysteinovými zbytky spojenými disulfidickými můstky (Laskowski & Kato, 1980). Dva nebo více enzymů může být často inhibováno stejným inhibitorem proteáz. V těchto případech mohou různě enzymy soutěžit o stejné místo na inhibitoru nebo mohou být inhibovány samostatnými místy na molekule inhibitoru (Burns, 1987).

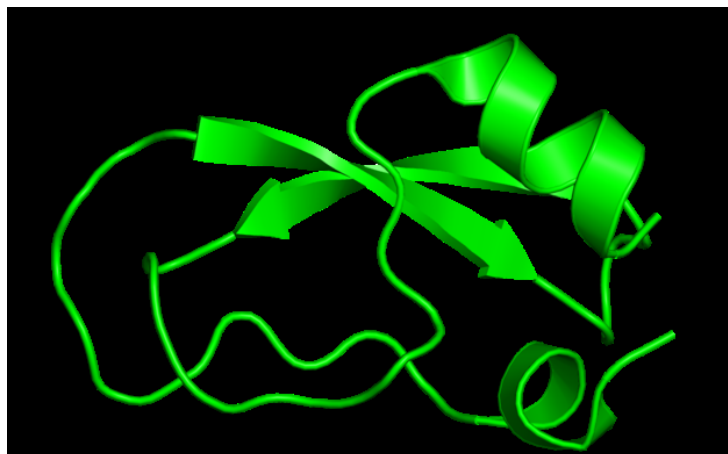
Existuje několik druhů inhibitorů proteáz, které se na základě jejich molekulární hmotnosti, struktury a obsažených aminokyselin dělí na dvě skupiny, na inhibitory proteáz Kunitzova typu a Bowmanova – Birkova typu (Velíšek & Hajšlová, 2009).

### 7.1.2 Inhibitory Kunitzova a Bowmanova-Birkova typu

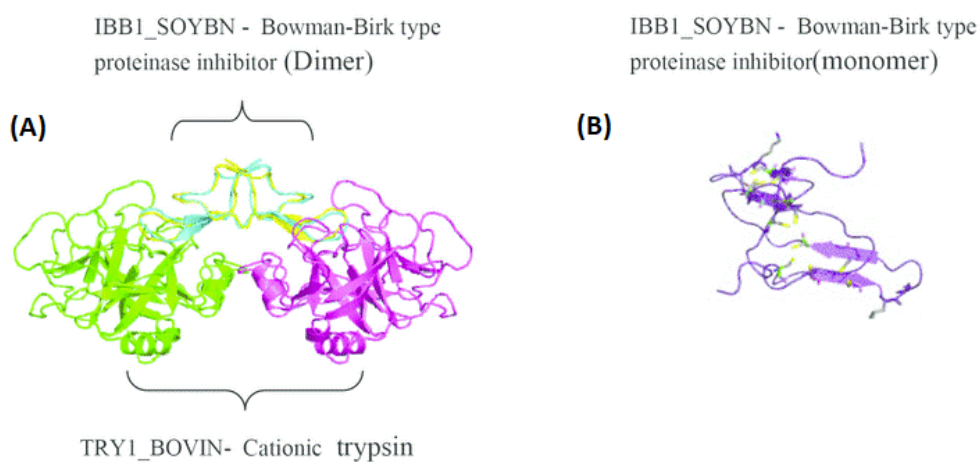
Inhibitory proteáz Kunitzova typu objevil v roce 1945 Kunitz v sójových bobech. Jedná se o nejvíce prozkoumanou skupinu inhibitorů proteáz. Inhibitory proteáz Kunitzova typu (KT) jsou proteiny s nízkou molekulovou hmotností a jednořetězovou molekulou obvykle obsahující od 170 do 200 aminokyselinových zbytků (Smith et al., 2016). Struktura Kunitzova typu inhibitorů proteáz je znázorněna na obrázku č. 2. Společným strukturálním rysem domény KT je exponovaná postranní smyčka ve třech disulfidově stabilizovaných jádrových strukturách. Reaktivní postranní smyčka se obvykle váže na aktivní strany serinových proteínáz jako substrát, takže determinant účinnosti a specifity jsou obvykle uvnitř smyčky omezeny. Tento typ inhibitorů proteáz se váže pomocí dvou disulfidových vazeb, které jsou mezi Argininem 63 a Isoleucinem 64. Vzniklý komplex je analogií k systému enzym-substrát (Deshpande, 2002; Velíšek & Hajšlová, 2009).

**Bowman-Birk inhibitory (BBI)** je typ proteázových inhibitorů, který se nachází v sóji a mnoha dalších typech luštěnin. Tento typ inhibitorů proteáz identifikoval Bowman ve 40. letech 20. století v sójových bobech, později tento typ byl purifikován Birkem v 60. letech a od té doby je tato skupina inhibitorů proteáz označována jako Bowman-Birk inhibitory. BBI mají proteinovou molekulu sestávající z řetězce 71 aminokyselin. Mají dvě nezávislá místa inhibice, jedno na Lysin 16 – Serin 17, na které se váže trypsinu, a druhé na Leucin 43 – Ser 44 na které se váže chymotrypsinu. Struktura BBI je znázorněna na obrázku č.2 (B). BBI Tvoří komplex 1:1 s trypsinem nebo chymotrypsinem a terciální komplex s oběma enzymy. Inhibice proteázy je založena na kompetici podle standardního mechanismu pro vazbu typu

substrátu na katalytické centrum proteázy (Velíšek & Hajšlová, 2009; Hellinger & Gruber, 2019). Vazba BBI na trypsin je zobrazena na obrázku č. 2 (A).



Obrázek č.5: Struktura inhibitoru proteáz Kunitzova typu



Obrázek č.6: (A) Struktura dimeru Bowman-Birkova typu inhibitoru trypsinu a struktura trypsinu. (B) Struktura Bowman-Birkova typu proteinázového inhibitoru (Převzato podle Srikanth & Chen, 2016).

### 7.1.3 Inhibitory trypsinu

Trypsin patří do skupiny serinových proteáz, které byly jako první charakterizovány kvůli jejich roli v procesu trávení. Trypsin je dobře známý pro své důležité role v trávení potravy (Szmola et al., 2003). Trypsin je primárně produkován štěpením pankreatického proenzymu (prekurzoru), trypsinogenu, enterokinázami v gastrointestinálním traktu (Luo et

al., 2007). Poté se vylučuje do tenkého střeva, kde ho enterokinázové proteolytické štěpení aktivuje na trypsin. Výsledný aktivní trypsin je schopen aktivovat více trypsinogenu autokatalýzou. Tento aktivační mechanismus, podobný mechanismu popsanému pro pepsin, je běžný pro většinu serinových proteáz a slouží k prevenci autodigesce slinivky břišní. Trypsin hydrolyzuje peptidové řetězce na karboxylové straně aminokyselin lysinu a argininu, s výjimkou případů, kdy je za nimi následován prolin (Polzonetti et al., 2010).

Inhibitory trypsinu (IT) jsou proteiny, které se velmi silně vážou na trypsin a blokují jeho aktivní místo (Blow et al., 1974). Inhibitory trypsinu jsou přítomny v celé řadě potravin, včetně sójových bobů, brambor, hrášku, fazolí, arašídů, kukuřice a jiné zeleniny a obilovin. Byly intenzivně studovány u rostlin patřících do čeledí *Leguminosae*, *Solanaceae* a *Gramineae*, protože většina druhů z těchto čeledí je považována za důležité zdroje potravy (Gomes et al., 2011). V luštěninách se vyskytují oba typy trypsinových inhibitorů, tedy Kunitzova a Bowman – Birkova typu. Některé luštěniny obsahují pouze jeden typ, zatímco jiné luštěniny obsahují oba typy. Například sója obsahuje oba typy inhibitorů, zatímco fazole a čočka obsahuje pouze inhibitor trypsinu Bowman-Birkova typu. Množství inhibitoru trypsinu v semenech luštěnin se liší podle druhu a kultivaru. Fazole Lima obsahují vyšší množství inhibitoru trypsinu než jiné luštěniny. Množství inhibitoru trypsinu je nejnižší u *Lupines mutabilis* (Guillamón et al., 2008).

Inhibitory trypsinu se ovšem nevyskytují pouze v potravinách rostlinného původu, jsou zastoupeny ve velkém množství také ve vaječném bílku. Tento druh inhibitorů trypsinu se liší od inhibitorů trypsinu zastoupeného v luštěninách. Zatímco IT zastoupené v luštěninách jsou složeny z 19 % z dusíku a neobsahují žádné sacharidy, IT vaječného bílku obsahují okolo 13 % dusíku a 25 % sacharidů (Lineweaver & Murray, 1947). IT zastoupené ve vaječném bílku se nazývá ovomukoid, jeho inhibiční aktivity nejsou dosud zcela objasněny. Molekula se skládá ze tří strukturně nezávislých tandemových domén, které jsou propojeny peptidovými vazbami a každá obsahuje tři disulfidové vazby. Tři ovomukoidní domény jsou homologní s pankreatickým sekrečním inhibitorem trypsinu (Lineweaver & Murray, 1947). IT se mohou vyskytovat také v mase a masných produktech, kde se objevují přirozeně se vyskytující inhibitory trypsinu zastoupené v séru a některé ze sójových bílkovin, které bývají obvykle přidány do mletého masa a uzenin (Nordal & Fossum, 1974).

Vzhledem k tomu, že trypsin aktivuje proteolytické enzymy, lze očekávat předběžné snížení proteolytické aktivity působením inhibitorů trypsinu. IT způsobují až 50-60 % snížení celkové proteolytické aktivity (Savage & Morrison, nedatováno). Studie ukázaly, že

inhibitory trypsinu mohou interferovat s trávením proteinů a vést k pankreatické hypertrofii u potkanů. Vyvolávají zvýšenou sekreci pankreatického trypsinu vytvářením neaktivních komplexů trypsin-trypsin, které tak snižují potlačení zpětné vazby vyvolané volným trypsinem, což vede k narušení metabolismu proteinů a může vést ke zhoršenému růstu a vývoji (Thrane et al., 2017).

Byl prokázán vliv **tepelného zpracování** na zvýšení výživové hodnoty sójových bobů, což je zčásti připisováno destrukci inhibitorů proteáz. V luštěninách se vyskytují trypsinové inhibitory Kunitzova typu, mají molekulovou hmotnost v rozmezí 20 000 až 25 000 a jsou relativně tepelně labilní. Trypsinové inhibitory Bowman – Birkova typu sestávají z proteinů s molekulovou hmotností 8000 a vzhledem k jejich vysokému obsahu cysteinu se obecně považují za relativně tepelně stabilní (Liener & Tomlinson, 1981). Deshpande et al. (1982) ve své studii navrhli, že účinek inhibitorů trypsinu může být z 90 % snížen, pokud je potravina před požitím upravena, a to například varem po dobu 30 až 60 minut nebo tlakovou úpravou v autoklávu po dobu 15 až 20 minut při 15 psi. Další metodou ošetření před konzumací je máčání, luštěniny by se měly před vařením na pár hodin namočit do vody. Kombinace máčání s vařením je poté nejúčinnější metodou, jak odstranit nežádoucí antinutriční látky z potraviny (Deshpande, 2002). IT z vaječného bílku jsou v porovnání s IT z luštěnin více odolné vysokým teplotám. Mutsuda et al. (1982) ve své studii uvedli, že doby zahřívání potřebné pro 50 % inaktivaci trypsinové inhibiční aktivity byly 15 a 45 minut při 100 a 90 °C. Konishi et al. (1985) ve své studii prokázali, že citlivost ovomukoidu pro tepelnou inaktivaci závisí na pH. Hodnota inhibiční aktivity trypsinu se snížila s rostoucí dobou zahřívání a toto snížení bylo vyšší v alkalických než v kyselých podmínkách. Dospěli k závěru, že tepelné stability ovomukoidu pravděpodobně napomáhá sacharidová část molekuly.

Některé inhibitory trypsinu nalezené v luštěninách mají důležitou antikarcinogenní a radioprotektivní aktivitu, což snižuje výskyt rakoviny tlustého střeva, prostaty, prsu, a kůže v populaci, která je konzumuje (Kennedy, 1998). Tento účinek je pravděpodobně výsledkem inhibice proteolýzy způsobené transformovanými buňkami (Clemente et al., 2010). Inhibitory trypsinu také regulují enzym neutrofilní elastáza. Tento enzym je přítomný v zánětlivých buňkách nebo neutrofilech a nekontrolovatelné uvolňování těchto molekul způsobuje vážné poškození tkáně (Hiemstra et al., 1998). Vzhledem k těmto vlastnostem mohou IT působit při léčbě onemocnění jako žaludeční vředy nebo plicní onemocnění, jako je emfyzém (Oliviera De Lima et al., 2017). Některé kardiovaskulární stavy, jako je infarkt myokardu, žilní embolie, cévní mozková příhoda a sepse, jsou spojeny s nepřiměřenou aktivitou serinové proteázy

zapojené do kaskády srážení krve (Shamsi et al., 2016). Některé inhibitory trypsinu Kunitzova typu a kukuřičné inhibitory trypsinu blokují aktivitu proteáz zapojených do egregace destiček, koagulace krve a fibrinolýzy (Machado et al., 2013). IT se jeví jako slibné molekuly při léčbě obezity a metabolického syndromu v důsledku působení na mechanismy navozující pocit sytosti, zejména při modulaci hormonů sytosti, jako je cholecystokinin (Oliveiry de Lima et al., 2019).

#### 7.1.4 Inhibitory enzymů štěpící sacharidy

**Amylázy** jsou třídou enzymů, které katalyzují hydrolýzu škrobu na cukry, jako je glukóza a maltóza (Liu & Kokare, 2017).  $\alpha$ -amyláza jsou enzymy, které katalyzují hydrolýzu interních  $\alpha$ -1,4-glykosidických vazeb škrobu, přeměňují škrob na produkty s nízkou molekulovou hmotností, jako je glukóza, maltóza a maltotrióza. Tyto enzymy patří mezi nejdůležitější průmyslové enzymy. Mohou být získány z několika druhů hub, kvasinek a bakterií (Mikawlawng, 2016).  $\alpha$ -amyláza je hlavní trávicí enzym ve slinách. Navzdory krátké expozici potravině slinám v ústech je trávení škrobu slinami důležité, trávení pokračuje i poté, co potravina pokračuje trávicí soustavou do žaludku. Žaludeční kyselina v žaludku inaktivuje  $\alpha$ -amylázu, ale protože potrava potřebuje čas, aby se rozpadla v žaludku, trávení slin v ní může pokračovat až půl hodiny. Když kyselina kompletně pronikne potravou, enzym je inaktivován.  $\alpha$ -Amyláza funguje nejlépe při mírně zásaditém pH (Smith & Morton, 2010).

**Inhibitory amyláz** se nachází v semenech rostlin, jako jsou obilná zrna (pšenice, kukuřice, rýže, ječmen) a luštěninách (fazole). Inhibitory amyláz inhibují amylázy hmyzu a inhibují i růst hmyzu, a proto slouží jako obranné proteiny jak v obilných zrnech, tak v semenech fazolí (Yamane et al., 2010). O struktuře a funkci inhibitorů  $\alpha$ -amylázy je ve srovnání s proteázovými inhibitory známo jen málo. Granun (1979) ve své studii porovnával aktivitu inhibitorů amyláz v různých druzích potravin. Vysoká aktivita byla zjištěna v pšeničné mouce a žitné mouce, ale ovesná mouka a ječná mouka neměla žádnou aktivitu. Pečení chleba snížilo aktivitu inhibitoru  $\alpha$ -amylázy v bílém chlebu a žitném chlebu asi o 80-90 % a v celozrnném chlebu nezůstala žádná aktivita. Inhibitory  $\alpha$ -amylázy v červených fazolích měly před vařením určitou aktivitu, ale po varu jejich aktivita byla téměř pozastavena. Hrášek, hnědá rýže, brambory, mrkev neobsahovaly žádné nebo minimální množství inhibitorů  $\alpha$ -amylázy. Inhibice  $\alpha$ -amylázy, enzymu, který hraje roli při trávení škrobu a glykogenu, je považována za strategii pro léčbu poruch v příjmu sacharidů, jako je cukrovka a obezita, stejně jako zubní kaz (de Sales et al., 2012).

**Invertáza** ( $\beta$ -D-fruktofuranosidáza), neboli sacharáza, je enzym, který katalyzuje hydrolyzu sacharózy a příbuzných glykosidů. Je komerčně důležitý díky jeho použití pro hydrolyzu sacharózy a je široce používán v potravinářském a nápojovém průmyslu. Invertáza se používá k výrobě umělého medu, změkčovadel, používaných v kosmetickém, farmaceutickém a papírenském průmyslu a také v biosenzorech pro detekci sacharózy (Avigad & Dey, 1997; Singh et al., 2018). **Inhibitory invertáz** byly objeveny v červené řepě (Jaidka et al., 2004), hlízách bambor (Pressey, 1967), v rajčatech a dalších druzích zeleniny (Pressey, 1994). Inhibitory invertáz mohou být deaktivovány tepelným ošetřením zeleniny jako je například var (Pressey, 1966).

## 7.2 Fytoestrogeny

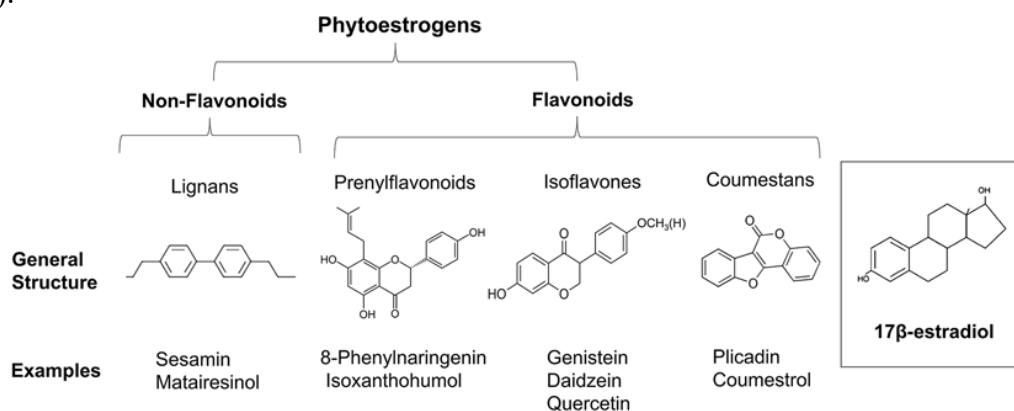
Fytoestrogeny jsou heterogenní skupinou polyfenolických rostlinných sloučenin, které lze na základě své chemické struktury rozdělit do čtyř podtypů: isoflavony, lignany, kumestany a stilbeny (Lechner et al., 2005). Fytoestrogeny mohou být rozděleny také na flavonoidové a non-flavonoidové fytoestrogeny. Flavonoidové fytoestrogeny bývají v rostlinných potravinách zastoupeny více (Brzezinski & Debi, 1999). schéma rozdělení fytoestrogenů je uvedeno na obrázku č. 5.

Fytoestrogeny jsou nesteroidní, přírodní rostlinné sloučeniny, které jsou strukturně a funkčně podobné savčím estrogenům, zejména 17 $\beta$ -estradiolu (Mostrom & Evans, 2011). Výše zmíněné třídy fytoestrogenů mají podobnou strukturu jako estradiol a jsou schopné vázat estrogenový receptor, ačkoli jejich vazebná afinita je nižší než afinita endogenního estradiolu. Všechny struktury fytoestrogenů mají fenolickou (spodní, levou) a hydroxylovou (horní, pravou) část estradiolové struktury a vzdálenosti mezi dvěma skupinami v každé sloučenině jsou podobné (Ososki & Kennelly, 2003). Vzhledem ke své strukturální podobnosti s estradiolem prostřednictvím jejich fenolových kruhů se tyto molekuly mohou vázat a aktivovat estrogenový receptor a podporovat estrogení účinky (Gur & Sikka, 2018).

Fytoestrogeny jsou sloučeniny nacházející se ve více než 300 různých druzích rostlin a lidé je mohou přijímat ve stravě prostřednictvím konzumace rostlinných materiálů, přirozeně se vyskytují v luštěninách, sóji, fazolích, ořechách, cereáliích, lněných semenech, sezamových semenech, chmelu a také v ovoci a zelenině (Mostrom & Evans, 2011; Gur & Sikka, 2018). Zdrojem isoflavonů jsou sójové boby, zatímco flavonoidy jsou zastoupeny spíše v ovoci, zelenině a čaji. Významným zdrojem kumestanů jsou klíčky vojtěšky a různých

fazolí. Savčí lignany nejsou přítomny v naší stravě jako takové, ale jako prekurzory rostlinných lignanů, které jsou pak střevní mikroflórou modifikovány na savčí lignany. Prekurzory lignanů savců jsou přítomny v potravinách bohatých na vlákninu, jako je lněné semínko, nerafinované obilné výrobky, zejména žito (Strauss et al., 1998). Střevní mikroflóra, použití antibiotik, střevní onemocnění, rozdíly mezi pohlavími a současný příjem potravy výrazně ovlivňuje vstřebávání fytoestrogenů. Potraviny obsahující fytoestrogeny mohou také ovlivnit jejich biologickou dostupnost. Bylo prokázáno, že příjem vlákniny koreluje s hladinami fytoestrogenů v séru a v moči dosaženými u žen. Typická koncentrace genisteinu v sójových potravinách je 1 až 2 mg na g proteinu (Adlercreutz et al., 1987). V lidském těle jsou dva nejběžnější bioaktivní aglykonové isoflavony, genisten a daidzein, produkovaný hydrolýzou jejich glukosidových konjugátů nebo metabolismem biochaninu A a formononetinu (Patisual & Whitten, 2004).

Během posledních 10 let bylo prokázáno, že fytoestrogeny mají různé mechanismy působení, z nichž všechny nesouvisí s jejich hormonální aktivitou. Mechanismy lze rozdělit na tři skupiny, a to estrogenové receptory, které vedou k estrogením nebo anti-estrogením účinkům: interakce s některými z enzymů při produkci sexuálních steroidů a účinky na produkci proteinů vázajících sexuální steroidy, což vede k účinkům podobným hormonům bez přímé interakce s receptory pohlavních steroidů: a další, nehormonální účinky (Strauss et al., 1998).



**Obrázek č.7:** Chemická klasifikace fytoestrogenů (Molina et al. 2018).

### 7.2.1 Pozitivní účinky fytoestrogenů na zdraví lidí

Fytoestrogeny nebo jejich aktivní metabolity obvykle vykazují svůj estrogení účinek na centrální nervový systém a na reprodukční systém mužů a žen a stimulují růst pohlavních cest a mléčných žláz u žen. Je prokázáno, že asijská populace má snížené riziko rakoviny prsu

a prostaty a nižší postmenopauzální příznaky, osteoporózu a kardiovaskulární onemocnění. Tento efekt je přičítán mimo jiné také fytoestrogenům, jelikož asijská populace konzumuje poměrně velké množství sóji a stravu, kde jsou fytoestrogeny zastoupeny ve velkém množství. Fytoestrogeny projevují své estrogení účinky primárně prostřednictvím vazby na estrogení receptory (Mostrom & Evans, 2011).

Estrogen hraje důležitou roli při udržování kostní hmoty a regulování tvorby a resorpci kosti. Protože se v menopauze vyskytují nižší cirkulační hladiny estradiolu, vápník se ztrácí z kosti do krevní plazmy, což vede k osteoporóze. Jedním z cílů substituční hormonální terapie je prevence nebo snížení výskytu osteoporózy u postmenopauzálních žen. Většina studií naznačuje, že fytoestrogeny, a to hlavně isoflavony ze sóji, jsou účinné při udržování kostní minerální hustoty u postmenopauzálních žen (Mei et al., 2001). Většina observačních studií týkajících se zdraví kostí byla provedena v populaci s vysokým obvyklým příjmem fytoestrogenů u premenopauzálních žen. Ho et al., (2001) prokázali, že ženy ve věku 30 až 40 let, které mají příjem fytoestrogenů 15 mg/den, mely hustotu minerálů kostní hmoty vyšší než ženy s příjmem 1,4 mg/den. Další studie dokazující efekt fytoestrogenů na kostní hmotu provedl Miribato et al., (2002), ve své studii zkoumali soubor postmenopauzálních žen, u kterých bylo prokázáno významné zvýšení kostní hmoty na krčku femuru po 12 měsících denního podávání 54 mg genisteinu, izolovaného ze sóji. Naopak jiné studie neukazují na významný efekt fytoestrogenů na zdraví kostí, proto se většina vědců zabývajících se touto problematikou shodují, že k lepšímu pochopení vztahu potravin ze sóji ke zdraví kostí je nutný další výzkum a že řada faktorů brání jasné interpretaci výsledků (Sirotkin, 2014).

Experimentální studie prokázaly prospěšné účinky fytoestrogenů na endoteliální buňky, hladké svalstvo cév a sníženou arteriální tuhost a antiaterosklerotické účinky. Fytoestrogeny mohou také ovlivnit další patofyziologické vaskulární procesy, jako je lipidový profil (snížení hladiny LDL cholesterolu), angiogeneze, zánět tedy procesy ovlivňující progresi aterosklerózy. Epidemiologické studie naznačují, že příjem sóji, může přispět ke snížení výskytu kardiovaskulárních choroby (Gil-Izquierdo et al., 2012; Cornwell et al., 2004). Shorey et al., (2018) ve studii zkoumali skupinu 24 zdravých normo-cholesterolemických mužů přiřazených k nízkotučné sójové stravě nebo ke krmení živočišnými bílkovinami s nízkým obsahem tuků, u této skupiny mužů nebyl prokázán žádný rozdíl v hladinách celkového cholesterolu, druhá skupina pacientů s hyperlipoproteinémií typu II přijímala potravu s vysokým obsahem sóji po dobu čtyř týdnů, celkový cholesterol a LDL cholesterol se snížil o 16%. Nicméně, existuje určitý rozpor mezi experimentálními studiemi, které



prokazují vaskulární přínosy fytoestrogenů a data z klinických studií, u nichž se nepodařilo prokázat významný účinek fytoestrogenů na arteriosklerózu a jiná kardiovaskulární onemocnění (Gil-Izquierdo et al., 2012).

Maligní transformace zdravých buněk a tumorogeneze může být spojena se zvýšenou mutagenezí DNA, sníženou apoptózou, imunitní odpovědí a dalšími procesy, které mohou být ovlivňovány a regulovány estrogeny (Rietjens et al., 2013). Tyto procesy by mohly být ovlivněny fytoestrogeny prostřednictvím mechanismů závislých na estrogenových receptorech. Byly hlášeny antioxidační, antimutagenní, antiproliferativní, antiangiogenní, proapoptické a obecné protirakovinné účinky řady fytoestrogenů produkovaných ovocem, zeleninou, sójou, zeleným čajem a čajem rooibos (Sirotkin, 2014; Rietjens et al., 2013). Existuje velké množství epidemiologických studií zabývajících se vlivem fytoestrogenů na vznik rakoviny. Bylo prokázáno, že lidé, kteří konzumují velké množství izoflavonoidů ve své stravě, mají nižší výskyt několika druhů rakovin, včetně rakoviny prsu, prostaty, a tlustého střeva. V Asii, kde je vysoká spotřeba fytoestrogenů, je výskyt těchto druhů rakoviny nízký. Imigranti z Asie žijící v USA mají zvýšené riziko rakoviny ve srovnání s lidmi žijícími v Asii. Zvýšení počtu případů rakoviny je dáváno do souvislosti s délkou pobytu v USA a vystavením severoamerické stravě (Cornwell et al., 2004).

Několik studií zkoumalo vliv fytoestrogenů na kognitivní funkce. Deseti týdenní studie prokázala, že strava s vysokým obsahem sóji zvyšuje dlouhodobou a krátkodobou paměť studenta. Pro tuto studii byly mužským a ženským studentům přidělena potrava s vysokým a nízkým obsahem izoflavonoidů. Na začátku a na konci studijního období byli subjekty vyzkoušeni na různě kognitivní dovednosti. Studenti ve skupině s vysokým obsahem izoflavonoidů prokázali výrazné zlepšení krátkodobé a dlouhodobé paměti a mentální pružnosti (File et al., 2001). Byla popsána schopnost některých fytoestrogenů zlepšit nejen kognitivní funkce, ale také spánek (Bedell et al., 2014). Mechanismy působení fytoestrogenů na nervový systém vyžadují další studie, i když se uvádí, že sójové isoflavony a fytoestrogeny některých druhů zeleniny mohou ovlivňovat neurony prostřednictvím steroidního 5-hydroxytryptaminového receptoru nebo prostřednictvím podpory zpětného vychytávání serotoninu, přes estrogenní i serotonergní aktivity (Hajirahimkhan et al., 2013).

Je zaznamenáno mnoho pozitivních účinků fytoestrogenů na zdraví člověka, neexistují však žádné přímé důkazy o pozitivních účincích fytoestrogenů. Veškeré informace jsou založeny na pozorování vzorku populace konzumující potravu bohatou na fytoestrogeny a

příčinný vztah a mechanismy působení fytoestrogenů stále nejsou objasněny (Ososki & Kennelly, 2003).

### 7.2.2 Negativní účinky fytoestrogenů na zdraví lidí

Fytoestrogeny jsou běžně známy jako agonisté estrogenu, mohou se však chovat také jako antagonisté estrogenu, záleží na dávce, délce expozice a tkáni, ve které působí. Fytoestrogeny mohou mít pozitivní, ale i negativní efekt na zdraví člověka (Bedell et al., 2014).

Klinické a experimentální studie zkoumají dopad spotřeby sójových fytoestrogenů na lidské zdraví často vedou ke smíšeným a protichůdným výsledkům, objevující se důkazy naznačují, že expozice těmto sloučeninám může ve skutečnosti představovat riziko pro některé skupiny, zejména kojence a malé děti. Jejich efekt je ovlivněn v konečném důsledku věkem, zdravotním stavem, úrovní spotřeby a dokonce i složením střevní mikroflóry jednotlivce (Patisual & Jefferson, 2010).

Fytoestrogeny jsou známe jako endokrinní disruptory. Endokrinní disruptor je exogenní látka nebo směs, která mění funkci (funkce) endokrinního systému a následně způsobuje nepříznivé účinky na zdraví neporušeného organismu nebo jeho potomstva nebo (sub)populací (European Commission, 2019).

Existují důkazy, že fytoestrogeny ovlivňují reprodukční systém. Fytoestrogeny mohou poškodit reprodukční zdraví samce nejen působením jako estrogenu, ale také působením jako antiestrogeny (Santti et al., 1998). Nejvíce důkazů, že fytoestrogeny by mohly mít významný vliv na reprodukci pochází ze studií na hospodářských zvířatech. Fytoestrogeny mohou u ovcí, skotu a hlodavců způsobovat cystické vaječníky a nepravidelné estry (ovulační cykly) (Patisual & Whitten, 2004).

Fytoestrogeny bývají spojovány s neplodností. Existuje mnoho studií poukazujících, že dietetické fytoestrogeny mohou mít nepříznivé účinky na plodnost u dospělých. Studie z roku 1946 dokazuje tento efekt fytoestrogenů na reprodukční systém, v této studii se dospělo k závěru, že ovce pasoucí se na jeteli byly neplodné právě kvůli vysokému obsahu fytoestrogenů v jeteli (Bennetts et al., 1946). Asi o 20 let později bylo podobné pozorování provedeno u krav, které měly poruchy plodnosti v důsledku období krmení jetelem (Kallela et al., 1984). Další studie byla provedena na skupině gepardů, kteří přijímali krmivo na bázi sóji, tato skupina vykazovala neplodnost (Setchell et al., 1987). Ve všech třech případech byla

plodnost obnovena, když byl snížen příjem fytoestrogenů. Podobně byly u několika žen hlášeny abnormality v reprodukčním zdravý způsobené vysokým příjmem sójových výrobků (Amsterdam et al., 2005).

Orgánové systémy u vyvíjejících se zvířat jsou obvykle citlivější na chemické expozice než u dospělých jedinců, vývoj reprodukčního systému není výjimkou. Z toho důvodu chemické látky narušující endokrinní systém, včetně fytoestrogenů, mohou mít významný dopad na vývoj a mohou ovlivnit pozdější reprodukční zdraví. Kromě toho mohou tyto účinky mít dlouhodobé důsledky pro potomky postižených jednotlivců (Jefferson et al., 2012).

Je známo že sója má goitrogenní účinky. Za goitrogenní účinky sóji jsou mimo jiné zodpovědné právě fytohormony. Jak genistein, tak daidzein silně blokují syntézu tyroxinu tím, že slouží jako alternativní substráty a blokují tyrosinovou jodaci katalyzovanou thyroidní peroxidázou. Sója také snižuje absorpci syntetického hormonu štítné žlázy, což potenciálně vyžaduje vyšší dávky u pacientů s hypotyreózou je proto doporučen zvýšený příjem jódu, pokud je sója součástí pravidelné stravy (Patisaul, 2017).

Existují studie dokazující vliv fytoestrogenů na potlačení sexuálního chování samic u potkanů. Podávání komerčně připraveného fytoestrogenního doplňku dospělým samicím potkanů vedlo k výrazně méně proaktivnímu sexuálnímu chování, což prokazuje potenciál sójových isoflavonů potlačit sexuální motivaci (Whitten et al., 1995).

## 8 SÓJOVÉ SUPLEMENTY VE SPORTOVNÍ VÝŽIVĚ

Protože jsou výše zmiňované skupiny antinutričních látek obsaženy ve značném množství v sójovém proteinu a v současné době roste obliba rostlinných produktů vlivem trendu vegetariánství a veganství, zaměřil jsem se na jejich efekt na zdraví a výkon sportovce. Sójové suplementy se ve sportovní výživě stávají stále více oblíbené a roste jejich spotřeba. Existuje pouze málo studií, které se zabývají negativními účinky antinutričních látek obsažených v sójových proteinech na sportovní výkon. Většina literatury je spíše zaměřena na kvalitu proteinu samotného a antinutriční látky obsažené v sójovém proteinu jsou opomíjeny.

### 8.1 Možné výhody a nevýhody sójových suplementů

Možné nevýhody užívání sójových suplementů (Hoffman & Falvo, 2004; Shenoy et al., 2016; Cederroth et al., 2008; Kraemer et al., 2013).

1. Nižší koncentrace testosteronu
2. Nižší obsah esenciálních aminokyselin oproti syrovátkovému proteinu
3. Zvýšená hladina estrogenu (nevýhoda spíše u mužů)
4. Inhibice růstových faktorů

Možné výhody užívání sójových suplementů (Shenoy et al., 2016).

1. Antioxidační účinky
2. Protizánětlivé účinky
3. Antikarcinogenní účinky
4. Kardioprotektivní účinky

### 8.2 Sójová suplementace

Sportovní činnosti, zejména ty, při kterých dochází k vysoké excentrické kontrakční síle, jako je např. silové cvičení, indikují poškození svalů. Kromě toho při těchto činnostech dochází ve svalech k chemickým změnám, které jsou spojeny se zánětlivými procesy a procesy oxidačního stresu. Tyto příznaky a symptomy omezují funkci svalů a snižují výkon v dalších dnech sportovní činnosti. Ve snaze snížit výše zmíněné škodlivé účinky existuje mnoho druhů zásahů a metod, jak negativní účinky, které nastávají po podání sportovního

výkonu, omezit nebo zastavit. Mezi tyto prostředky patří různé ergogenní pomůcky a doplňky stravy (Shenoy et al., 2016).

Sója je luštěnina pocházející z východní Asie a je součástí lidské výživy více než 5000 let. Sója obsahuje vysoké množství proteinů, sójový protein se hojně používá v Číně a Japonsku, v západním světě se začal používat začátkem 20. století, v současné době je spotřeba sóji značná, zejména mezi vegetariány. Mezi vegetariány a vegany sója představuje hlavní zdroj bílkovin (Farriol et al., 2006). Sójový protein slouží jako důležitý zdroj esenciálních aminokyselin včetně významných BCAA (aminokyseliny s rozvětveným řetězcem). Izolovaný sójový protein také obsahuje přirozeně se vyskytující sloučeniny, včetně isoflavonů a saponinů, které mají antioxidační, protizánětlivý, imunoregulační, antikarcinogenní a kardioprotektivní účinky (Shenoy et al., 2016). V posledních letech se sójový protein stále více používá v komerčních výrobcích pro sportovní výživu, jako jsou různé tyčinky, práškové nápoje apod. (Lusas & Riaz, 1995).

Ze všech rostlinných bílkovin používaných jako suplementy ve sportovní výživě je sójový protein nejvíce užívaný a existují studie, které se zabývají jeho pozitivními a negativními účinky. Některé studie ukazují, že sójový protein má nižší kvalitu než živočišné proteiny, pokud jde o zvyšování svalové hmoty. Sójový protein je sice považován za komplexní bílkovinu, výzkum však ukazuje, že produkty obsahující živočišné a mléčné proteiny obsahují vyšší procento esenciálních aminokyselin a vedou k vyšším ziskům po tréninku rezistence ve srovnání se sójovým proteinem. Sója obsahuje nižší množství „aminokyselin s rozvětveným řetězcem“ (BCAA) než kravské mléko. BCAA jsou aminokyseliny leucin, izoleucin a valin, tyto aminokyseliny jsou považovány za klíčové, pokud jde o udržování svalů (Hoffman & Falvo, 2004; Elia et al., 2006; Philips et al., 2009).

Testosteron je jedním z nejúčinnějších přirozeně vylučovaných androgenních anabolických hormonů a jeho biologické účinky zahrnují podporu růstu svalů. Testosteron ve svalech stimuluje syntézu proteinů (anabolický účinek) a inhibuje degradaci proteinů (antikatabolický účinek), společně tyto účinky přispívají k podpoře svalové hypertrofie testosteronem. Tyto fyziologické signály z testosteronu jsou modulovány interakcí testosteronu s intracelulárním androgenním receptorem (AR). Ve skutečnosti je testosteron považován za hlavní promotor růstu svalů a následné zvýšení svalové síly v reakci na trénink rezistence u mužů (Vingren et al., 2010). Věk významně ovlivňuje cirkulující koncentrace testosteronu. Až do puberty u dětí nedochází k aktuálnímu nárůstu testosteronu v důsledku cvičení, po pubertě lze u chlapců, ale ne u dívek, objevit významné zvýšení hladiny

testosteronu při posilování se závažím. Stárnutí nad 35-40 let je spojeno s 1-3 % poklesem koncentrace cirkulujícího testosteronu u mužů ročně, stárnutí vede u mužů také ke snížení aktuální odpovědi testosteronu na posilování (Feldman et al., 2002; Vingren et al., 2010).

Důkazy naznačují nepřímý vztah mezi příjmem sójových bílkovin a koncentracemi mužských pohlavních hormonů v séru, tyto změny pohlavních hormonů v séru mohou zmírnit změny svalové hmoty při silovém tréninku. Existují studie prokazující zvýšení produkce estrogenu s vyšší spotřebou sójového proteinu při tréninku zaměřeného na sílu a velikost svalů. Kraemer et al. (2013) ve své studii dospěli k závěru, že 14-denní suplementace sójovým proteinem částečně oslabuje funkci sérového testosteronu. Sójový proteinový prášek snižuje hladiny testosteronu v séru u zdravých mužů a působí jako agonista estrogenu. Goodin et al. (2007) ve své studii nezaznamenali žádné významné změny v celkovém testosteronu v séru po 12ti týdnech suplementace sójového proteinu. Podobné výsledky uvádí ve své studii také DiSilvestro et al. (2006), kde zkoumali skupinu vysoce aktivních vysokoškolských mužů (ve věku 18-30 let). Zaznamenali, že celková koncentrace testosteronu v plasmě se nezměnila po 4 týdnech konzumace sójového proteinu. Data z této studie se přidávají k celé řadě studií, které ukazují, že fytohormony obsažené v sójovém proteinu nesnižují hladiny testosteronu u mužů.

Výzkum také zjistil, že sójové fytoestrogeny inhibují expresi mTOR proteinu (mammalian target of rapamycin), který reguluje četné faktory podílející se na syntéze proteinu v kosterním svalu. Tudíž fytoestrogeny obsažené v sójových suplementech mohou být odpovědné za inhibici růstových faktorů a syntézu proteinů (Cederroth et al., 2008; Sun et al. 2018).

Inhibitory proteáz jsou zodpovědné za sníženou stravitelnost rostlinných potravinových proteinů. Inhibitory trypsinu mohou vyvolat zvýšení sekrece trávicích enzymů, včetně trypsinu, chymotrypsinu a elastázy, indukci hypertrofie a hyperplazie slinivky břišní. Použití sójového proteinu při silovém tréninku inhibitory proteáz mohou způsobit sníženou absorpci některých proteinů, proto bývají často z izolátu sójového proteinu různými technologickými procesy odstraněny (Driskell, 2007).

Kromě inhibitorů proteáz a fytoestrogenů je v sójovém proteinu obsažena také kyselina fytová. Kyselina fytová snižuje absorpci vápníku, železa, zinku a vitamínu D (Reddy & Dassenko, 1992). Kyselina fytová může interagovat s proteiny vytvořením komplexu, proto

může snížit vstřebávání proteinu do těla (Carnovale et al., 1998). Kyselina fytová také ovlivňuje aktivaci trypsinogenu a stabilitu trypsinu (Storebakken et al., 1998).

## 9 ZÁVĚR

Antinutriční látky jsou obsaženy ve značném množství potravin. V těchto potravinách jsou obsaženy buď přirozeně, nebo mohou být do potravin záměrně přidávány. Velké množství antinutričních látek v organismu působí tak, že ho oslabují v důsledku různých reakcí s některými mikronutrienty, makronutrienty a enzymy. Některé však v určité míře vykazují i pozitivní vlastnosti pro lidský organizmus. Je však nutno konstatovat, že z dosavadních studií vyplývá převaha spíše negativních účinků na lidské zdraví.

Část těchto látek může také vykazovat nezanedbatelnou biologickou aktivitu. Tato aktivita však záleží na mnoha faktorech, zejména však na množství, ve kterém byla daná antinutriční látka organismem přijata. Možné negativní účinky antinutričních látek jsou velice rozmanité, některé mohou vykazovat i toxické účinky na organismus. Dále zapříčiňovat některá onemocnění a ve výjimečných případech i smrt.

Antinutriční látky se vyskytují v nejvyšší míře hlavně v rostlinách, kde mají úlohu především jako protektivní látky, které rostlinu chrání proti vnějším vlivům (hmyzu, ptákům, býložravcům atp.). Množství antinutrientů v potravinách můžeme snížit různými druhy úprav, mezi nejběžnější patří rafinace, fermentace, máčení, klíčení a tepelná úprava.

Při pestrém způsobu stravování by pro zdravého člověka neměla přítomnost přiměřeného množství antinutričních látek představovat výraznou zátěž. Potíže mohou nastat při jednostranných způsobech stravování, zejména při veganství, kde může dojít vlivem konzumace velkého množství rostlinné potravy ke zvýšenému příjmu antinutričních látek, a tím k nežádoucím účinkům vlivem těchto látek, například k deficitu důležitých minerálních látek, vitamínů, podráždění sliznice střev atp.

Existuje pouze málo studií, které by se zabývaly rozdělením antinutričních látek dle jejich účinků, nebo vlivem antinutričních látek na zdraví běžné populace nebo sportovce a existuje jen malé množství studií, které shrnují tuto problematiku.

Z této oblasti se jeví jako vhodné pokračování výzkumu například anketní šetření o zastoupení potravin s antinutričními látkami v jídelníčku u běžné populace, ale např. i u sportovců, které by přineslo nová zajímavá data k tomuto ne zcela prozkoumanému tématu.



## Literatura

- ACKAAH-GYASI, N. A., Y. ZHANG a B. K SIMPSON, 2015. Enzymes inhibitors: food and non-food impacts. In: Rai V RAVISHANKAR, ed. *Advances in Food Biotechnology* [online]. s. 191–206. ISBN 9781118864555. Dostupné z: doi:10.1002/9781118864463.ch11
- ADLERCREUTZ, H., K. HÖCKERSTEDT, C. BANNWART, S. BLOIGU, E. HÄMÄLÄINEN, T. FOTSIS a A. OLLUS, 1987. Effect of dietary components, including lignans and phytoestrogens, on enterohepatic circulation and liver metabolism of estrogens and on sex hormone binding globulin (SHBG). *Journal of Steroid Biochemistry* [online]. **27**(4–6), 1135–1144. ISSN 00224731. Dostupné z: doi:10.1016/0022-4731(87)90200-7
- AMSTERDAM, A., N. ABURUSTUM a J. CARTER, 2005. Persistent Sexual Arousal Syndrome Associated with Increased Soy Intake. 338–340.
- ASP, N. G., 1996. Dietary carbohydrates: Classification by chemistry and physiology. *Food Chemistry* [online]. **57**(1), 9–14. ISSN 03088146. Dostupné z: doi:10.1016/0308-8146(96)00055-6
- AVIGAD, G. a P.M. DEY, 1997. *Carbohydrate Metabolism: Storage Carbohydrates* [online]. ISBN 0122146743. Dostupné z: doi:10.1016/b978-012214674-9/50005-9
- BEDELL, S., M. NACHTIGALL a F. NAFTOLIN, 2014. The pros and cons of plant estrogens for menopause. *Journal of Steroid Biochemistry and Molecular Biology* [online]. B.m.: Elsevier Ltd, **139**, 225–236. ISSN 09600760. Dostupné z: doi:10.1016/j.jsbmb.2012.12.004
- BENNETTS, H. W., E. J. UUDERWOOD a F. L. SHIER, 1946. a Specific Breeding Problem of Sheep on Subterranean Clover Pastures in Western Australia. *Australian Veterinary Journal* [online]. **22**(1), 2–12. ISSN 17510813. Dostupné z: doi:10.1111/j.1751-0813.1946.tb15473.x
- BERDANIER, C. D., L. A. BERDANIER a J. ZEMPLINI, 2008. Nutritional Biochemistry. In: *Advanced nutrition: macronutrients, micronutrients, and metabolism*. B.m.: CRC press, s. 61–110.
- BERNHOF, A., 2010. A brief review on bioactive compounds in plants. In: Aksel BERNHOFT, ed. *Bioactive compounds in plants – benefits and risks for man and animals*. Oslo: The Norwegian Academy of Science and Letters. ISBN 978-82-7099-583-7.
- BEZPEČNOST POTRAVIN, 2018. *Antivitaminy* [online]. Dostupné z: <https://www.bezpecnostpotravin.cz/az/termin/76563.aspx>
- BLOW, D. M., J. JANIN a R. M. SWEET, 1974. Mode of action of soybean trypsin inhibitor (Kunitz) as a model for specific protein–protein interactions. *Nature* [online]. **249**(5452). Dostupné z: doi:10.1038/249054a0
- BORA, P., 2014. Anti-Nutritional Factors in Foods and their Effects. *Journal of Academia*

*and Industrial Research*. **3**(6), 285–290. ISSN 2278-5213.

- BRZEZINSKI, A. a A. DEBI, 1999. Phytoestrogens: The „natural" selective estrogen receptor modulators? *European Journal of Obstetrics and Gynecology and Reproductive Biology* [online]. **85**(1), 47–51. ISSN 03012115. Dostupné z: doi:10.1016/S0301-2115(98)00281-4
- BURNS, R. A., 1987. Protease Inhibitors in Processed Plant Foods. *Journal of Food Protection* [online]. **50**(2), 161–166. ISSN 0362-028X. Dostupné z: doi:10.4315/0362-028x-50.2.161
- CARNOVALE, E., E. LUGARO a G. LOMBARDI-BOCCIA, 1998. Phytic acid in faba bean and pea: effect on protein availability. *Cereal Chem.* **65**(2), 114–117.
- CARVAJAL, L. M., A. SÁNCHEZ, A.-B. CARRILLO, J. Y. TORREGROSA, M. L. M. MARIA DOLORES MAÑAS ALMENDROS, M. BELÉN, M. BURGOS, A. M. MUÑOZ a M. de VICTORIA, 2015. What we get from food. *Programa Conjunto FAO/OMS sobre Normas Alimentarias* [online]. **31**(1), 71–106. ISSN 0212-1611. Dostupné z: doi:10.3305/nh.2015.31.1.8439
- CASEM, M. L., 2016. Chapter 3.2. - Proteins. *Case Studies in Cell Biology* [online]. Dostupné z: doi:10.1016/B978-0-12-801394-6/00003-8
- CEDERROTH, C. R., M. VINCIGUERRA, A. GJINOVCI, F. KÜHNE, M. KLEIN, M. CEDERROTH, D. CAILLE, M. SUTER, D. NEUMANN, R. W. JAMES, D. R. DOERGE, T. WALLIMANN, P. MEDA, M. FOTI, F. ROHNER-JEANRENAUD, J. D. VASSALLI a S. NEF, 2008. Dietary phytoestrogens activate AMP-Activated protein kinase with improvement in lipid and glucose metabolism. *Diabetes* [online]. **57**(5), 1176–1185. ISSN 00121797. Dostupné z: doi:10.2337/db07-0630
- CHINACHOTI, P., 1995. Carbohydrates : functionality in foods. *The American Journal of Clinical Nutrition* [online]. **61**(4), 922–929. Dostupné z: doi:https://doi.org/10.1093/ajcn/61.4.922S
- CLEMENTE, A., F. J. MORENO, M. del C. MARÍN-MANZANO, E. JIMÉNEZ a C. DOMONEY, 2010. The cytotoxic effect of Bowman-Birk isoinhibitors, IBB1 and IBB2, from soybean (*Glycine max*) on HT29 human colorectal cancer cells is related to their intrinsic ability to inhibit serine proteases. *Molecular Nutrition and Food Research* [online]. **54**(3), 396–405. ISSN 16134125. Dostupné z: doi:10.1002/mnfr.200900122
- CORNWELL, T., W. COHICK a I. RASKIN, 2004. Dietary phytoestrogens and health. *Phytochemistry* [online]. **65**(8), 995–1016. ISSN 00319422. Dostupné z: doi:10.1016/j.phytochem.2004.03.005
- COULTATE, T. P., 2009a. *Food: the chemistry of its components*. B.m.: Royal Society of Chemistry.
- COULTATE, T. P., 2009b. *Food: The Chemistry of Its Components*. B.m.: Royal Society of Chemistry.

- DE SALES, P. M., P. M. DE SOUZA, L. U. SIMEONI, P. de O. MAGALHÃES a D. SILVEIRA, 2012.  $\alpha$ -amylase inhibitors: A review of raw material and isolated compounds from plant source. *Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences* [online]. **15**(1), 141–183. ISSN 14821826. Dostupné z: doi:10.18433/J35S3K
- DEHARVENG, G., U. R. CHARRONDIÈRE, N. SLIMANI, D. A.T. SOUTHGATE a Elio RIBOLI, 1999. Comparison of nutrients in the food composition tables available in the nine European countries participating in EPIC. *European Journal of Clinical Nutrition* [online]. **53**(1), 60–79. ISSN 09543007. Dostupné z: doi:10.1038/sj.ejcn.1600677
- DEMAN, J. M., J. W. FINLEY, W. J. HURST a C. Y. LEE, 1999. *Principles of Food Chemistry* [online]. B.m.: Springer, Cham. ISBN 978-3-319-63605-4. Dostupné z: doi:https://doi.org/10.1007/978-3-319-63607-8
- DESHPANDE, S. S., 2002. Toxicants and Antinutrients in Food. In: *Handbook of food toxicology*. B.m.: CRC Press, s. 321–386.
- DESHPANDE, S. S., S. K. SATHE, D. K. SALUNKHE a D. P. CORNFORTH, 1982. Effects of dehulling on phytic acid, polyphenols, and enzyme inhibitors of dry beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Journal of Food Science* [online]. **47**(6), 1846–1850. Dostupné z: doi:https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1982.tb12896.x
- DISILVESTRO, R. A., C. MATTERN, N. WOOD a S. T. DEVOR, 2006. Soy protein intake by active young adult men raises plasma antioxidant capacity without altering plasma testosterone. *Nutrition Research* [online]. **26**(2), 92–95. ISSN 02715317. Dostupné z: doi:10.1016/j.nutres.2005.12.002
- DOUGALL, I. G. a J. UNITT, 2015. *Evaluation of the Biological Activity of Compounds: Techniques and Mechanism of Action Studies* [online]. B.m.: Elsevier Ltd. ISBN 9780124172050. Dostupné z: doi:10.1016/B978-0-12-417205-0.00002-X
- DRISKELL, J. A., 2007. *Sports nutrition: fats and proteins*. B.m.: CRC Press.
- EL-HADY, E. A. A. a R. A. HABIBA, 2003. Effect of soaking and extrusion conditions on antinutrients and protein digestibility of legume seeds. *LWT - Food Science and Technology* [online]. **36**(3), 285–293. ISSN 00236438. Dostupné z: doi:10.1016/S0023-6438(02)00217-7
- ELIA, D., K. STADLER, V. HORVÁTH a J. JAKUS, 2006. Effect of soy-and whey protein-isolate supplemented diet on the redox parameters of trained mice. *European journal of nutrition* [online]. **45**(5), 259–266. Dostupné z: doi:https://doi.org/10.1007/s00394-006-0593-z
- ELMADFA, I. a A. L. MEYER, 2010. Importance of food composition data to nutrition and public health. *European Journal of Clinical Nutrition* [online]. B.m.: Nature Publishing Group, **64**, S4–S7. ISSN 14765640. Dostupné z: doi:10.1038/ejcn.2010.202
- EUROPEAN COMMISSION, 2019. *What are endocrine disruptors?* [online]. Dostupné z: https://ec.europa.eu/environment/chemicals/endocrine/definitions/endodis\_en.htm

- FARRIOL, M., M. JORDÀ a G. DELGADO, 2006. Past and current trends in soy supplementation: A bibliographic study. *Nutricion Hospitalaria*. **21**(4), 448–451. ISSN 02121611.
- FELDMAN, H. A., C. LONGCOPE, C. A. DERBY, C. B. JOHANNES, A. B. ARAUJO, A. D. COVIELLO, W. J. BREMNER a J. B. MCKINLAY, 2002. Age trends in the level of serum testosterone and other hormones in middle-aged men: Longitudinal results from the Massachusetts Male Aging Study. *Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism* [online]. **87**(2), 589–598. ISSN 0021972X. Dostupné z: doi:10.1210/jcem.87.2.8201
- FILE, S. E., N. JARRETT, E. F. R DUFFY, K. CASEY a H. WISEMANVELDMAN, 2001. Eating soya improves human memory. *Psychopharmacology* [online]. **157**(4), 430–436. ISSN 00333158. Dostupné z: doi:10.1007/s002130100845
- FRIEDMAN, M., 2013. *Nutritional and toxicological significance of enzyme inhibitors in foods*.
- GEMEDE, H. F. a N. RATTA, 2014. Antinutritional factors in plant foods: Potential health benefits and adverse effects. *International Journal of Nutrition and Food Sciences* [online]. **3**(4), 284–289. Dostupné z: doi:10.11648/j.ijnfs.20140304.18
- GEMEDE, H.F., 2014. Antinutritional Factors in Plant Foods: Potential Health Benefits and Adverse Effects. *International Journal of Nutrition and Food Sciences* [online]. **3**(4), 284–289. Dostupné z: doi:10.11648/j.ijnfs.20140304.18
- GIL-IZQUIERDO, A., J. L. PENALVO, J. I. GIL, S. MEDINA, M. N. HORCAJADA, S. LAFAY, M. SILBERBERG, R. LLORACH, P. ZAFRILLA, P. GARCIA-MORA a F. FERRERES, 2012. Soy Isoflavones and Cardiovascular Disease Epidemiological, Clinical and -Omics Perspectives. *Current Pharmaceutical Biotechnology* [online]. **13**(5), 624–631. ISSN 13892010. Dostupné z: doi:10.2174/138920112799857585
- GILANI, G. S. a E. SEPEHR, 2003. Protein Digestibility and Quality in Products Containing Antinutritional Factors Are Adversely Affected by Old Age in Rats. *The Journal of Nutrition* [online]. **133**(1), 220–225. ISSN 0022-3166. Dostupné z: doi:10.1093/jn/133.1.220
- GOMES, M. T. R., M. L. OLIVA, M. T. P. LOPES a C. E. SALAS, 2011. Plant Proteinases and Inhibitors: An Overview of Biological Function and Pharmacological Activity. *Current Protein & Peptide Science* [online]. **12**(5), 417–436. ISSN 13892037. Dostupné z: doi:10.2174/138920311796391089
- GOMES, A. R. a T. A.P. ROCHA-SANTOS, 2019. *Bioassays: Enzyme Assays* [online]. 3. vyd. B.m.: Elsevier Inc. ISBN 9780081019832. Dostupné z: doi:10.1016/B978-0-12-409547-2.14331-8
- GOODIN, S., W. J. SHIH, M. GALLO, J. AISNER a R. S. DIPOLA, 2007. Effect of soy protein on testosterone levels. *Cancer Epidemiology and Prevention Biomarkers*. **16**(12), 2796–2796.
- GRANUM, P. E., 1979. Studies on  $\alpha$ -amylase inhibitors in foods. *Food Chemistry* [online].

- 4(3), 173–178. ISSN 03088146. Dostupné z: doi:10.1016/0308-8146(79)90001-3
- GUILLAMÓN, E., M. M. PEDROSA, C. BURBANO, C. CUADRADO, M. de C. SÁNCHEZ a M. MUZQUIZ, 2008. The trypsin inhibitors present in seed of different grain legume species and cultivar. *Food Chemistry* [online]. **107**(1), 68–74. ISSN 03088146. Dostupné z: doi:10.1016/j.foodchem.2007.07.029
- GUPTA, P. K, 2016. *Fundamentals of Toxicology: Essential Concepts and Applications*. B.m.: Academic Press.
- GUR, S. a S. C. SIKKA, 2018. *Environmental Risk Factors Related to Male Reproductive Health in Turkish Society* [online]. B.m.: Elsevier Inc. ISBN 9780128013137. Dostupné z: doi:10.1016/B978-0-12-801299-4.00003-7
- HAJIRAHIMKHAN, A., B. M. DIETZ a J. L. BOLTON, 2013. Botanical modulation of menopausal symptoms: Mechanisms of action? *Planta Medica* [online]. **79**(7), 538–553. ISSN 00320943. Dostupné z: doi:10.1055/s-0032-1328187
- HAYES, A. N. a S. G. GILBERT, 2009. Historical milestones and discoveries that shaped the toxicology sciences. *Exs* [online]. **99**, 1–35. ISSN 1023294X. Dostupné z: doi:10.1007/978-3-7643-8336-7\_1
- HELLINGER, R. a C. W. GRUBER, 2019. Peptide-based protease inhibitors from plants. *Drug Discovery Today* [online]. B.m.: Elsevier Ltd, **24**(9), 1877–1889. ISSN 18785832. Dostupné z: doi:10.1016/j.drudis.2019.05.026
- HIEMSTRA, P. S., S. VAN WATERING a J. STOLK, 1998. Neutrophil serine proteinases and defensins in chronic obstructive pulmonary disease: Effects on pulmonary epithelium. *European Respiratory Journal* [online]. **12**(5), 1200–1208. ISSN 09031936. Dostupné z: doi:10.1183/09031936.98.12051200
- HO, S. C., S. G. CHAN, Q. YI, E. WONG a P. C. LEUNG, 2001. Soy intake and the maintenance of peak bone mass in Hong Kong Chinese women. *Journal of Bone and Mineral Research* [online]. **16**(7), 1363–1369. ISSN 08840431. Dostupné z: doi:10.1359/jbmr.2001.16.7.1363
- HODGSON, E., 2004. Introduction to Toxicology. In: Ernest HODGSON, ed. *A textbook of Modern Toxicology*. 3rd vyd. B.m.: JOHN WILEY & SONS, INC., s. 3–13. ISBN 9786468600.
- HOFFMAN, J. R. a M. J. FALVO, 2004. Protein—which is best? *Journal of sports science & medicine*. **3**(3), 118.
- HUTTON, T., 2002. *Food chemical composition: dietary significance in food manufacturing*. B.m.: Royal Society of Chemistry.
- JAIDKA, A., A E S MANN a S. SAWHNEY, 2004. Invertase Inhibitor from Sugarbeet Roots and its Role in the Sucrose Inversion. *Enzyme*. **6**, 63–68.
- JAKLOVÁ DYTRTOVÁ, J., M. JAKL a M. ŠTEFFL. *Základy biochemie - pracovní sešit*. Praha: Univerzita Karlova, Fakulta tělesné výchovy a sportu, 2018. ISBN 978-80-87647-43-1.

- JEFFERSON, W. N., H. B. PATISAUL a C. J. WILLIAMS, 2012. Reproductive consequences of developmental phytoestrogen exposure. *Reproduction* [online]. **143**(3), 247–260. ISSN 14701626. Dostupné z: doi:10.1530/REP-11-0369
- JIMÉNEZ MARTÍNEZ, C., G. LOARCA-PIÑA a G. DÁVILA ORTÍZ, 2003. Antimutagenic activity of phenolic compounds, oligosaccharides and quinolizidinic alkaloids from *Lupinus campestris* seeds. *Food Additives and Contaminants* [online]. **20**(10), 940–948. ISSN 0265203X. Dostupné z: doi:10.1080/02652030310001605998
- KALLELA, K., K. HEINONEN a H. SALONIEMI, 1984. Plant oestrogens; the cause of decreased fertility in cows. *Nordisk veterinærmedicin*. **36**(3–4), 124–129.
- KENNEDY, A. R., 1998. Chemopreventive agents: Protease inhibitors. *Pharmacology and Therapeutics* [online]. **78**(3), 167–209. ISSN 01637258. Dostupné z: doi:10.1016/S0163-7258(98)00010-2
- KENT, C., 1998. *Basics of toxicology*. 3rd vyd.
- KONISHI, Y., J.-I. KURISAKI, S. KAMINOGAWA a K. YAMAUCHI, 1985. Determination of Antigenicity by Radioimmunoassay and of Trypsin Inhibitory Activities in Heat or Enzyme Denatured Ovomucoid. *Journal of Food Science* [online]. **50**(5), 1422–1426. ISSN 17503841. Dostupné z: doi:10.1111/j.1365-2621.1985.tb10491.x
- KRAEMER, W. J., G. SOLOMON-HILL, B. M. VOLK, B. R. KUPCHAK, D. P. LOONEY, C. DUNN-LEWIS, B. A. COMSTOCK, T. K. SZIVAK, D. R. HOOPER, S. D. FLANAGAN, C. M. MARESH a J. S. VOLEK, 2013. The Effects of Soy and Whey Protein Supplementation on Acute Hormonal Responses to Resistance Exercise in Men. *Journal of the American College of Nutrition* [online]. **32**(1), 66–74. ISSN 15411087. Dostupné z: doi:10.1080/07315724.2013.770648
- KRIS-ETHERTON, P. M., K. D. HECKER, A. BONANOME, S. M. COVAL, A. E. BINKOSKI, K. F. HILPERT, A. E. GRIEL a T. D. ETHERTON, 2002. Bioactive compounds in foods: Their role in the prevention of cardiovascular disease and cancer. *American Journal of Medicine* [online]. **113**(9 SUPPL. 2), 71–88. ISSN 00029343. Dostupné z: doi:10.1016/s0002-9343(01)00995-0
- LASKAR, A. a A. CHATTERJEE, 2009. Protease – Revisiting the Types and potential. *Journal of Biotechnology*. **1**(1), 55–61.
- LASKOWSKI, M. a I. KATO, 1980. Protein Inhibitors of Proteinases. *Annual Review of Biochemistry* [online]. **49**(1), 593–626. ISSN 0028-0836. Dostupné z: doi:10.1146/annurev.bi.49.070180.003113
- LECHNER, D., E. KÁLLAY a H. S. CROSS, 2005. Phytoestrogens and Colorectal Cancer Prevention. *Vitamins and Hormones* [online]. **70**, 169–198. ISSN 00836729. Dostupné z: doi:10.1016/S0083-6729(05)70006-6
- LIENER, I. E. a S. TOMLINSON, 1981. Heat Inactivation of Protease Inhibitors in a Soybean Line Lacking the Kunitz Trypsin Inhibitor. *Journal of Food Science* [online]. **46**(5), 1354–1356. ISSN 17503841. Dostupné z: doi:10.1111/j.1365-2621.1981.tb04173.x

- LINEWEAVER, H. a C. W. MURRAY, 1947. Identification Of the Trypsin inhibitor of Egg white with Ovomuroid. *J. biol. Chem* [online]. **171**(2), 565–581. Dostupné z: <https://www.jbc.org/content/171/2/565.full.pdf>
- LIU, X. a C. KOKARE, 2017. Microbial enzymes of use in industry. In Biotechnology of microbial enzymes. In: *Biotechnology of Microbial Enzymes* [online]. B.m.: Academic Press, s. 267–29. Dostupné z: [doi:https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803725-6.00011-X](https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803725-6.00011-X)
- LUO, W., Y. WANG a G. REISER, 2007. Protease-activated receptors in the brain: Receptor expression, activation, and functions in neurodegeneration and neuroprotection. *Brain Research Reviews* [online]. **56**(2), 331–345. ISSN 01650173. Dostupné z: [doi:10.1016/j.brainresrev.2007.08.002](https://doi.org/10.1016/j.brainresrev.2007.08.002)
- LUSAS, E. W. a M. N. RIAZ, 1995. Overview of Soybean Processing and Products Soy Protein Products : Processing and use1. *Journal of Nutrition*. **125**, 573S–580S.
- MACHADO, R. J. A., N. K. V. MONTEIRO, L. MIGLIOLO, O. N. SILVA, M. F. S. PINTO, A. S. OLIVEIRA, O. L. FRANCO, S. KIYOTA, M. P. BEMQUERER, A. F. UCHOA, A. H.A. MORAIS a E. A. SANTOS, 2013. Characterization and Pharmacological Properties of a Novel Multifunctional Kunitz Inhibitor from Erythrina velutina Seeds. *PLoS ONE* [online]. **8**(5). ISSN 19326203. Dostupné z: [doi:10.1371/journal.pone.0063571](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0063571)
- MANNING, L. aj. M. SOON, 2014. Developing systems to control food adulteration. *Food Policy* [online]. **49**(P1), 23–32. ISSN 03069192. Dostupné z: [doi:10.1016/j.foodpol.2014.06.005](https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2014.06.005)
- MATHLOUTHI, M., 2001. Water content, water activity, water structure and the stability of foodstuffs. *Food Control* [online]. **12**(7), 409–417. ISSN 09567135. Dostupné z: [doi:10.1016/S0956-7135\(01\)00032-9](https://doi.org/10.1016/S0956-7135(01)00032-9)
- MATSUDA, T., K. WATANABE a R. NAKAMURA, 1982. Immunochemical studies on thermal denaturation of ovomucoid. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)/Protein Structure and Molecular* [online]. **707**(1), 121–128. ISSN 01674838. Dostupné z: [doi:10.1016/0167-4838\(82\)90404-6](https://doi.org/10.1016/0167-4838(82)90404-6)
- MCGORRIN, R. J., 2009. One Hundred Years of Progress in Food Analysis. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* [online]. **57**(18), 8076–8088. ISSN 00218561. Dostupné z: [doi:10.1021/jf900189s](https://doi.org/10.1021/jf900189s)
- MCQUEEN, C., 2017. *Comprehensive toxicology*. B.m.: Elsevier.
- MEI, J., S. S. C. YEUNG a A. W. C. KUNG, 2001. High dietary phytoestrogen intake is associated with higher bone mineral density in postmenopausal but not premenopausal women. *Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism* [online]. **86**(11), 5217–5221. ISSN 0021972X. Dostupné z: [doi:10.1210/jcem.86.11.8040](https://doi.org/10.1210/jcem.86.11.8040)
- MIKAWLRAWNG, K., 2016. *Aspergillus in Biomedical Research* [online]. B.m.: Elsevier B.V. ISBN 9780444635136. Dostupné z: [doi:10.1016/B978-0-444-63505-1.00019-1](https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63505-1.00019-1)

- MILLES, D., 1999. History of Toxicology. (2).
- MOLINA, L., F. A. BUSTAMANTE, K. D. BHOOLA, C. D. FIGUEROA a P. EHRENFELD, 2018. Possible role of phytoestrogens in breast cancer via GPER-1/GPR30 signaling. *Clinical Science* [online]. **132**(24), 2583–2598. ISSN 14708736. Dostupné z: doi:10.1042/CS20180885
- MORABITO, N., A. CRISAFULLI, C. VERGARA, A. GAUDIO, A. LASCO, N. FRISINA, R. D'ANNA, F. CORRADO, M. A. PIZZOLEO, M. CINCOTTA, D. ALTAVILLA, R. IENTILE a F. SQUADRITO, 2002. Effects of genistein and hormone-replacement therapy on bone loss in early postmenopausal women: A randomized double-blind placebo-controlled study. *Journal of Bone and Mineral Research* [online]. **17**(10), 1904–1912. ISSN 08840431. Dostupné z: doi:10.1359/jbmr.2002.17.10.1904
- MOSTROM, M. a T. J. EVANS, 2011. *Phytoestrogens* [online]. B.m.: Elsevier Inc. ISBN 9780123820327. Dostupné z: doi:10.1016/B978-0-12-382032-7.10052-9
- NEURATH, H. a K. A. WALSH, 1976. Role of proteolytic enzymes in biological regulation (A review). *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* [online]. **73**(11), 3825–3832. ISSN 00278424. Dostupné z: doi:10.1073/pnas.73.11.3825
- NORDAL, J. a K. FOSSUM, 1974. The heat stability of some trypsin inhibitors in meat products with special reference to added soybean protein. *Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und -Forschung* [online]. **154**(3), 144–150. ISSN 00443026. Dostupné z: doi:10.1007/BF01141162
- OLIVEIRA DE LIMA, V.C., R. J. DE ARAÚJO MACHADO, N. K. VIEIRA MONTEIRO, I. L. DE LYRA, C. DA SILVA CAMILLO, A. COELHO SERQUIZ, A. SILVA DE OLIVEIRA, F. P. DA SILVA RUFINO, B. LEAL LIMA MACIEL, A. FERREIRA UCHÔA, E. ANTUNES DOS SANTOS a A. H. DE ARAÚJO MORAIS, 2017. Gastroprotective and antielastase effects of protein inhibitors from *Erythrina velutina* seeds in an experimental ulcer model. *Biochemistry and Cell Biology* [online]. **95**(2), 243–250. ISSN 12086002. Dostupné z: doi:10.1139/bcb-2016-0034
- OLIVEIRA DE LIMA, V. C., G. PIUVEZAM, B. LEAL LIMA MACIEL a A. HELONEIDA DE ARAÚJO MORAIS, 2019. Trypsin inhibitors: promising candidate satietogenic proteins as complementary treatment for obesity and metabolic disorders? *Journal of Enzyme Inhibition and Medicinal Chemistry* [online]. B.m.: Taylor & Francis, **34**(1), 405–419. ISSN 14756374. Dostupné z: doi:10.1080/14756366.2018.1542387
- OSOSKI, A. L. a E. J. KENNELLY, 2003. Phytoestrogens: A review of the present state of research. *Phytotherapy Research* [online]. **17**(8), 845–869. ISSN 0951418X. Dostupné z: doi:10.1002/ptr.1364
- PALKA, K., 2006. Chemical Composition and Structure of Foods. In: Zdzislaw E. SIKORSKI, ed. *Chemical and Functional Properties of Food Components*. B.m.: CRC press, s. 15–28.
- PATISAUL, H. B., 2017. Endocrine disruption by dietary phyto-oestrogens: Impact on



- dimorphic sexual systems and behaviours. *Proceedings of the Nutrition Society* [online]. **76**(2), 130–144. ISSN 14752719. Dostupné z: doi:10.1017/S0029665116000677
- PATISAUL, H. B. a W. JEFFERSON, 2010. The pros and cons of phytoestrogens. *Frontiers in Neuroendocrinology* [online]. B.m.: Elsevier Inc., **31**(4), 400–419. ISSN 00913022. Dostupné z: doi:10.1016/j.yfrne.2010.03.003
- PATISAUL, H. B. a P. L. WHITTEN, 2004. Dietary Phytoestrogens. In: *Endocrine Disruptors: Effects on Male and Female Reproductive Systems*. B.m.: CRC Press.
- PELLEY, J. W., 2012. Enzymes and Energetics. *Elsevier's Integrated Review Biochemistry* [online]. 29–37. Dostupné z: doi:10.1016/b978-0-323-07446-9.00004-0
- PHILIPPS-WIEMANN, P., 2018. *Proteases-general aspects* [online]. B.m.: Elsevier Inc. ISBN 9780128054192. Dostupné z: doi:10.1016/B978-0-12-805419-2.00012-5
- PHILLIPS, S. M., J. E. TANG a D. R. MOORE, 2009. The role of milk- and soy-based protein in support of muscle protein synthesis and muscle protein accretion in young and elderly persons. *Journal of the American College of Nutrition* [online]. **28**(4), 343–354. ISSN 15411087. Dostupné z: doi:10.1080/07315724.2009.10718096
- POLZONETTI, V., P. NATALINI, S. VINCENZETTI, A. VITA a S. PUCCIARELLI, 2010. *Modulatory Effect of Oleuropein on Digestive Enzymes* [online]. B.m.: Elsevier Inc. ISBN 9780123744203. Dostupné z: doi:10.1016/B978-0-12-374420-3.00148-0
- POMERANZ, Y., 2012. *Functional properties of food components*. B.m.: Academic Press.
- POPOVA, A. a D. MIHAYLOVA, 2019. Antinutrients in Plant-based Foods: A Review. *The Open Biotechnology Journal* [online]. **13**(1), 68–76. ISSN 1874-0707. Dostupné z: doi:10.2174/1874070701913010068
- PRESSEY, R., 1966. Separation and properties of potato invertase and invertase inhibitor. *Archives of Biochemistry and Biophysics* [online]. **113**(3), 667–674. ISSN 10960384. Dostupné z: doi:10.1016/0003-9861(66)90246-3
- PRESSEY, R., 1967. Invertase Inhibitor from Potatoes: Purification, Characterization, and Reactivity with Plant Invertases. *Plant Physiology* [online]. **42**(12), 1780–1786. ISSN 0032-0889. Dostupné z: doi:10.1104/pp.42.12.1780
- PRESSEY, R., 1994. Invertase inhibitor in tomato fruit. *Phytochemistry* [online]. **36**(3), 543–546. ISSN 00319422. Dostupné z: doi:10.1016/S0031-9422(00)89771-X
- RAWLINGS, N. D., A. J. BARRETT a J. F. WOESSNER, 2012. *Handbook of proteolytic enzymes*. 1st vyd. B.m.: Elsevier.
- REDDY, B a A DASSENKO, 1992. Soy protein , and iron absorption.
- RIETJENS, I. M. C.M ., A. M. SOTOCA, J. VERVOORT a J. LOUISSE, 2013. Mechanisms underlying the dualistic mode of action of major soy isoflavones in relation to cell proliferation and cancer risks. *Molecular Nutrition and Food Research* [online]. **57**(1), 100–113. ISSN 16134125. Dostupné z: doi:10.1002/mnfr.201200439

- ROBERTS, S. M. a A. J. GIBB, 2013a. Chapter 1 - Introduction to enzymes, receptors and the action of small molecule drugs. In: C. R. GANELLIN, R. JEFFERIS a S. M. ROBERTS, ed. *Introduction to biological and small molecule drug research and development: theory and case studies*. B.m.: ACADEMIC PRESS, s. 1–55.
- ROBERTS, S. M. a A. J. GIBB, 2013b. *Introduction to enzymes, receptors and the action of small molecule drugs* [online]. ISBN 9780123971760. Dostupné z: doi:10.1016/B978-0-12-397176-0.00001-7
- ROSKOSKI, R., 2007. Modulation of Enzyme Activity. *Pharm: The Comprehensive Pharmacology Reference* [online]. **1**(11), 199–217. Dostupné z: doi:10.1016/b978-008055232-3.60042-x
- SANGITA, S., 2018. *Klinická výživa a dietologie: v kostce*. B.m.: GRADA Publishing as.
- SANTTI, R., S. MÄKELÄ, L. STRAUSS, J. KORKMAN a M. L. KOSTIAN, 1998. Phytoestrogens: potential endocrine disruptors in males. *Toxicology and industrial health*. **14**(1–2), 223–237.
- SAVAGE, G. P. a S. C. MORRISON, nedatováno. Trypsin Inhibitors. In: *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition* [online]. 2nd vyd. B.m.: Academic Press, s. 5878–5884. ISBN 978-0-12-227055-0. Dostupné z: doi:10.1016/b0-12-227055-x/00934-2
- SETCHELL, K. D. R., S. J. GOSSELIN, M. B. WELSH, J. O. JOHNSTON, W. F. BALISTRERI, L. W. KRAMER, B. L. DRESSER a M. J. TARR, 1987. Dietary estrogens-A probable cause of infertility and liver disease in captive cheetahs. *Gastroenterology* [online]. B.m.: Elsevier Inc., **93**(2), 225–233. ISSN 00165085. Dostupné z: doi:10.1016/0016-5085(87)91006-7
- SHAHIDI, F., 1997. *Antinutrients and phytochemicals in food*. B.m.: American Chemical Society.
- SHAMSI, T. N., R. PARVEEN a S. FATIMA, 2016. Characterization, biomedical and agricultural applications of protease inhibitors: A review. *International Journal of Biological Macromolecules* [online]. B.m.: Elsevier B.V., **91**, 1120–1133. ISSN 18790003. Dostupné z: doi:10.1016/j.ijbiomac.2016.02.069
- SHENOY, S., M. DHAWAN a J. S. SANDHU, 2016. Four weeks of supplementation with isolated soy protein attenuates exercise-induced muscle damage and enhances muscle recovery in well trained athletes: a randomized trial. *Asian journal of sports medicine* [online]. **7**(3). Dostupné z: doi:10.5812/asjsm.33528
- SHERMAN, H. C., 1926. Nutrition and Health. *Industrial and Engineering Chemistry* [online]. **18**(12), 1261–1263. ISSN 00197866. Dostupné z: doi:10.1021/ie50204a022
- SHOREY, L., S. G. LO, B. BAZAN a F.H. STEINKE, 2018. Determinants of hypocholesterolemic response to soy and an imal protei n-based d iets1. (May).
- SINGH, R., A. SINGH a S. SACHAN, 2018. *Enzymes used in the food industry: Friends or foes?* [online]. B.m.: Elsevier Inc. ISBN 9780128132807. Dostupné z: doi:10.1016/B978-0-12-813280-7.00048-7

- SIROTKIN, A. V., 2014. Phytoestrogens and their effects. *European Journal of Pharmacology* [online]. B.m.: Elsevier, **741**, 230–236. ISSN 18790712. Dostupné z: doi:10.1016/j.ejphar.2014.07.057
- SMITH, D., I. G. TIKHONOVA, H. L. JEWURST, O. C. DRYSDALE, J. DVOŘÁK, M. W. ROBINSON, K. CWIKLINSKI a J. P. DALTON, 2016. Unexpected activity of a novel kunitz-type inhibitor Inhibition of cysteine proteases but not serine proteases. *Journal of Biological Chemistry* [online]. **291**(37), 19220–19234. ISSN 1083351X. Dostupné z: doi:10.1074/jbc.M116.724344
- SMITH, M. E. a D. G. MORTON, 2010. The Mouth, Salivary Glands and Oesophagus. *The Digestive System* [online]. 19–38. Dostupné z: doi:10.1016/b978-0-7020-3367-4.00002-5
- SOETAN, K. O., 2008. Pharmacological and other beneficial effects of anti- Nutritional factors in plants - A review. *African Journal of Biotechnology* [online]. **7**(25), 4713–4721. ISSN 16845315. Dostupné z: doi:10.5897/AJB08.024
- SOETAN, K O a O E OYEWOLE, 2009. The need for adequate processing to reduce the anti-nutritional factors in plants used as human foods and animal feeds: A review. *African Journal of Food Science* [online]. **3**(9), 223–232. ISSN 1996-0794. Dostupné z: http://www.academicjournals.org/AJFS
- SRIKANTH, S. a Z. CHEN, 2016. Plant protease inhibitors in therapeutics-focus on cancer therapy. *Frontiers in Pharmacology* [online]. **7**(DEC). ISSN 16639812. Dostupné z: doi:10.3389/fphar.2016.00470
- SRP, J. a M. MAREŠ, 2016. Kunitzovy Proteasové Inhibitory Z Rostlin : Strukturní a Funkční Diverzita. *Chemické listy*. **110**, 761–768.
- STEVENSON, L., F. PHILLIPS, K. O'SULLIVAN a J. WALTON, 2012. Wheat bran: Its composition and benefits to health, a European perspective. *International Journal of Food Sciences and Nutrition* [online]. **63**(8), 1001–1013. ISSN 09637486. Dostupné z: doi:10.3109/09637486.2012.687366
- STOREBAKKEN, T., K. D. SHEARER a A. J. ROEM, 1998. Availability of protein, phosphorus and other elements in fish meal, soy-protein concentrate and phytase-treated soy-protein-concentrate-based diets to Atlantic salmon, *Salmo salar*. *Aquaculture* [online]. **161**(1–4), 365–379. ISSN 00448486. Dostupné z: doi:10.1016/S0044-8486(97)00284-6
- STRATIL, P., 1993. *ABC zdravé výživy 1. díl*. 1st vyd. ISBN 80-900029-8-6.
- STRATIL, P., 1998. *ABC Zdravé Výživy 2.díl*. ISBN 80-900029-8-6.
- STRAUSS, L., R. SANTTI, N. SAARINEN, T. STRENG, S. JOSHI a S. MÄKELÄ, 1998. Dietary phytoestrogens and their role in hormonally dependent disease. *Toxicology Letters* [online]. **102–103**, 349–354. ISSN 03784274. Dostupné z: doi:10.1016/S0378-4274(98)00332-4
- STUMPF, P.K., 1980. *Biosynthesis of Saturated and Unsaturated Fatty Acids* [online]. B.m.:

- ACADEMIC PRESS, INC. ISBN 0126754047. Dostupné z: doi:10.1016/b978-0-12-675404-9.50013-8
- SUN, H., M. YIN, W. QIAN a H. YIN, 2018. Calycosin, a phytoestrogen isoflavone, induces apoptosis of estrogen receptor-positive MG-63 osteosarcoma cells via the phosphatidylinositol 3-kinase (Pi3k)/AKT/mammalian target of rapamycin (mTOR) pathway. *Medical Science Monitor* [online]. **24**, 6178–6186. ISSN 16433750. Dostupné z: doi:10.12659/MSM.910201
- SZMOLA, R., Z. KUKOR a M. SAHIN-TÓTH, 2003. Human mesotrypsin is a unique digestive protease specialized for the degradation of trypsin inhibitors. *Journal of Biological Chemistry* [online]. **278**(49), 48580–48589. ISSN 00219258. Dostupné z: doi:10.1074/jbc.M310301200
- THAKUR, N. S., P. KUMAR a H. HAMID, 2017. Anti-nutritional factors, their adverse effects and need for adequate processing to reduce them in food. *AgricINTERNATIONAL* [online]. **4**(1), 56–60. Dostupné z: doi:10.5958/2454-8634.2017.00013.4
- THRANE, M., P. V. PAULSEN, M. W. ORCUTT a T. M. KRIEGER, 2017. *Soy Protein: Impacts, Production, and Applications* [online]. B.m.: Elsevier Inc. ISBN 9780128027769. Dostupné z: doi:10.1016/B978-0-12-802778-3.00002-0
- TIMMS, E.R., 2012. Physical Chemistry of Fats. In: David P. MORAN, ed. *Fats in food products*. B.m.: Springer Science & Business Media, s. 2–28.
- TURK, B., 2006. Targeting proteases: Successes, failures and future prospects. *Nature Reviews Drug Discovery* [online]. **5**(9), 785–799. ISSN 14741776. Dostupné z: doi:10.1038/nrd2092
- VELÍŠEK, J., 1999. *Chemie potravin I*. Tábor: OSSIS. ISBN 80-902391-3-7.
- VELÍŠEK, J., J. HAJŠLOVÁ, 2009. *Chemie potravin 2*. Rozš. a př. Tábor: OSSIS. ISBN 9788086659176.
- VIGNESWARAN, C., M. ANANTHASUBRAMANIAN a P. KANDHAVADIVU, 2014. Enzyme technology. *Bioprocessing of Textiles* [online]. (Warshel), 1–22. Dostupné z: doi:10.1016/b978-93-80308-42-5.50001-9
- VINGREN, J. L., W. J. KRAEMER, N. A. RATAMESS, J. M. ANDERSON, J. S. VOLEK a C. M. MARESH, 2010. Testosterone Physiology in Resistance Exercise and Training. *Sports Medicine* [online]. **40**(12), 1037–1053. ISSN 0112-1642. Dostupné z: doi:10.2165/11536910-000000000-00000
- WHITTEN, P. L., C. LEWIS, E. RUSSELL a F. NAFTOLIN, 1995. Phytoestrogen Influences on the Development of Behavior and Gonadotropin Function. *Proceedings of the Society for Experimental Biology and Medicine*. **208**(1), 82–86.
- YAMANE, H., K. KONNO, M. SABELIS, J. TAKABAYASHI, T. SASSA a H. OIKAWA, 2010. Chemical defence and toxins of plants. *Comprehensive Natural Products II: Chemistry and Biology* [online]. **4**, 339–385. Dostupné z: doi:10.1016/b978-

008045382-8.00099-x

ZAYAS, J. F., 2012. *Functionality of proteins in food*. B.m.: Springer Science & Business Media.