

# Kyselina fytová ve výživě člověka

Alena Brabcová

---

Bakalářská práce  
2009



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně Fa-  
kulta technologická  
Ústav potravinářského inženýrství aka-  
demický rok: 2008/2009

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Alena BRABCOVÁ**  
Studijní program: **B 2901 Chemie a technologie potravin**  
Studijní obor: **Chemie a technologie potravin**  
  
Téma práce: **Význam kyseliny fytové ve výživě**

Zásady pro vypracování:

- Zpracování literární rešerše pro oblast využití kyseliny fytové ve výživě.
- Popis a chemická charakteristika kyseliny fytové.
- Výskyt kyseliny fytové.
- Význam kyseliny fytové ve výživě člověka.

Rozsah práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

[1]VELÍŠEK, Jan. Chemie potravin 2. Vydání 1. Tábor: OSSIS, 1999. 328 s. ISBN 80-902391-4-5.

[2]VELÍŠEK, Jan. Chemie potravin 3. Vydání 1. Tábor: OSSIS, 1999. 368 s. ISBN 80-902391-5-3.

[3]PATOČKA, J., STRUNECKÁ, A. Kyselina fytoová a naše zdraví. [online], dostupné z [www: >http://toxicology.emtrading.cz/modules.php?name=News&file=article&sid=56 <](http://toxicology.emtrading.cz/modules.php?name=News&file=article&sid=56).

[4] NIELSEN, Merete Moeller. The fate of phytic acid and vitamin E during processing of rye and wheat. PhD Thesis. Faculty of Life Sciences, University of Copenhagen, Denmark, 2007. 79 s. ISBN 978-87-7611-218-7.

Vedoucí bakalářské práce:

**prof. Ing. Stanislav Kráčmar, DrSc.**

Ústav potravinářského inženýrství


Datum zadání bakalářské práce:

**18. února 2009**


Termín odevzdání bakalářské práce:

**31. května 2009**

Ve Zlíně dne 31. května 2009

  
doc. Ing. Petr Hlaváček, CSc.  
*děkan*



  
prof. Ing. Ignác Hoza, CSc.  
*vedoucí katedry*

## ABSTRAKT

Kyselina fytová je nejrozšířenějším inositol fosfátem na Zemi a je hlavní formou zásobního fosforu v semenech rostlin. Může vytvářet soli buď s prvky jednomocnými, které jsou rozpustné, nebo s prvky dvoumocnými (Ca, Mg), které jsou nerozpustné. Nejvýznamnější látkou této skupiny je hořečnato-vápenatá sůl kyseliny fytové, zvaná fytin. Na jedné straně je kyselina fytová považována za antinutriční látku, která snižuje využití fosforu, zinku, vápníku a mědi u zvířat a lidí, zatímco na straně druhé potlačuje tvorbu reaktivních hydroxylových radikálů katalyzovanou železem, a má rovněž hypocholesterolemický účinek. Rozklad kyseliny fytové je zabezpečen enzymem *fytasou*.

Klíčová slova: kyselina fytová, fytin, *fytasa*

## ABSTRACT

Phytic acid is the most widespread inositol phosphate on Earth and it is the main storage form of phosphorus in plant seeds. Phytic acid can form either soluble salts with monovalent elements or insoluble salts with bivalent elements (Ca, Mg). The most significant substance of this group is phytic acid magnesium-calcium salt, called phytin. On the one hand, phytic acid is considered to be antinutrient that lowers the use of P, Zn, Ca and Cu in animals and humans, whereas on the other hand, phytic acid suppresses the formation of reactive hydroxyl radicals Fe-catalyzed, and it also has the hypocholesterolemic effect. Degradation of phytic acid is ensured by the enzyme *phytase*

Keywords: phytic acid, phytin, *phytase*

Děkuji na tomto místě vedoucímu mé bakalářské práce prof. Ing. Stanislavu Kráčmarovi, DrSc. a Ing. Petře Vojtíškové, za vedení a odborné rady, které mi při psaní této práce věnovali. Poděkování patří také mé rodině a spolupracovníkům za skvělé podmínky nejen pro zpracování této práce, ale i v průběhu studia na Univerzitě Tomáše Bati ve Zlíně.

Prohlašuji, že jsem na bakalářské práci pracovala samostatně a použitou literaturu jsem citovala. V případě publikace výsledků, je-li to uvedeno na základě licenční smlouvy, budu uvedena jako spoluautorka.

Ve Zlíně 4.5.2009

.....

Podpis diplomanta

## OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>6</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>7</b>
<b>1 KYSELINA FYTOVÁ</b> .....	<b>8</b>
1.1 CHEMICKÁ CHARAKTERISTIKA .....	8
1.1.1 Soli kyseliny fytové.....	10
1.2 VÝSKYT KYSELINY FYTOVÉ.....	11
1.3 ÚČINKY KYSELINY FYTOVÉ .....	13
1.4 POUŽITÍ KYSELINY FYTOVÉ .....	14
1.5 VLIV KYSELINY FYTOVÉ NA ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ.....	15
<b>2 VÝZNAM KYSELINY FYTOVÉ VE VÝŽIVĚ</b> .....	<b>16</b>
2.1 STRAVITELNOST .....	16
2.1.1 <i>Fytasy</i> .....	16
2.1.1.1 Mikrobiální fytasy.....	17
2.2 VSTŘEBÁVÁNÍ KYSELINY FYTOVÉ .....	18
2.3 VYUŽITELNOST FYTÁTU .....	18
2.4 ÚČINKY FYTÁTU NA VYUŽITELNOST MINERÁLŮ .....	19
2.5 ÚČINKY FYTÁTU NA VYUŽITELNOST PROTEINŮ .....	20
<b>ZÁVĚR</b> .....	<b>21</b>
<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY</b> .....	<b>22</b>
<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK</b> .....	<b>24</b>
<b>SEZNAM OBRÁZKŮ</b> .....	<b>25</b>
<b>SEZNAM TABULEK</b> .....	<b>26</b>

## ÚVOD

Kyselina fytová je přirozeně vznikající sloučenina v buňkách a v rostlinných vlákninách. Je známá také pod jinými názvy, jako je fytát nebo inositolhexakisfosfát (IP6). Zatímco je dosud známo relativně málo o její úloze v lidském těle, mnohé studie na zvířatech ukazují, že má významné antioxidační vlastnosti, kromě dalších dosud málo prozkoumaných prospěšných účinků. Kyselina fytová se vyskytuje především v luštěninách, olejninách a cereáliích. Patří mezi antinutriční látky obsažené v potravinách. Tvoří nerozpustné komplexy s minerálními látkami, čímž snižuje jejich biologickou využitelnost. Toto snížení závisí na řadě faktorů, např. koncentraci kyseliny fytové, síle vazby, způsobu přípravy potravy, přítomnosti dalších látek, které se vážou s minerálními látkami (vláknina, kyselina šťavelová, třísloviny), koncentraci bílkovin, přítomnosti enzymu *fyta* aj. Kyselina fytová rovněž snižuje aktivitu některých enzymů, např. *trypsinu*, *pepsinu*, *α-amylasy* a *β-galaktosidasy*.

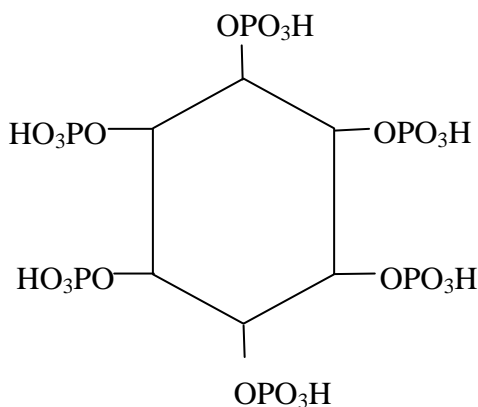
Studium fosforylovaných inositolů jistě přinese mnohá překvapující zjištění, která vysvětlí fyziologický a biomedicínský význam tohoto nejrozšířenějšího inositol fosfátu ve světě. Již dnes je známo, že přiměřený příjem obilovin, ořechů a luštěnin je našemu zdraví prospěšný v každém věku. Lze tedy předpokládat významnou úlohu kyseliny fytové i v prevenci civilizačních onemocnění.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**



## 1 KYSELINA FYTOVÁ

Kyselina fytová (*myo*-inositol hexafosfát, IP6) byla poprvé identifikována v roce 1855. Nachází se téměř ve všech zrnech a vlákninách rostlin ve formě nerozpustných vápenatých a hořečnatých solí (nazývaných fyтин), které jsou u rostlin považovány za zdroj organického fosforu. Nejvýznamnějším rysem kyseliny fytové jsou její silné chelatovné vlastnosti. Výzkum se tradičně zaměřuje na její jedinečnou strukturu, která nabízí schopnost vázat minerály, bílkoviny a škrob. Kyselina fytová je nejrozšířenějším inositol fosfátem na Zemi a je hlavní formou zásobního fosforu v semenech rostlin; představuje 50 – 85 % fosforu v semenech obilovin, olejnin a luštěnin [1].



*Obr.1. Molekula kyseliny fytové*

### 1.1 Chemická charakteristika

Po chemické stránce je kyselina fytová *myo*-inositol (1,2,3,4,5,6) hexakisfosfát (*Obr. 1.*). Inositol fosfáty se skládají z inositolového kruhu a nejméně jedné fosfátové skupiny. Rozdělením názvu na jednotlivé části se popisuje přesná struktura a výskyt: předpona „*myo*“ poukazuje na konformaci hydroxylové skupiny na inositolovém kruhu. Posternak pojmenoval devět možných konfigurací inositolového kruhu. *Myo*-inositol je jediný z osmi izomerů hexahydroxycyklohexanu, který má biologickou aktivitu. Formálně se inositol řadí mezi cyklitoly [2].

Existuje devět stereoizomerů inositolu, z nichž sedm má *mezo*-strukturu a dvě formy tvoří chirální pár. Jsou to *cis*-, *epi*-, *allo*-, *neo*-, *myo*-, *muco*-, 1*L*-*chiro*-, 1*D*-*chiro*,

a *scyllo*-inositol. Z nich se sedm vyskytuje v přírodě buď volně, nebo v kombinaci. Výjimkou jsou *epi*- a *allo*- inositol. *Myo*-inositol se běžně vyskytuje v rostlinách. *Chiro*-, *scyllo*- a *neo*-inositol hexafosfáty byly izolovány z půdy. Konformace *myo*-inositolu má jednu rovinu symetrie vycházející přímo z atomu nejvíce nalevo k atomu nejvíce napravo. Předpony D/L–určují směr číslování uhlíků v inositolovém kruhu, kde D-značí směr zprava doleva (proti směru hodinových ručiček) a L-zleva doprava (po směru hodinových ručiček), v tomto pořadí. *Myo*-inositol (1,2,3,4,5,6) hexakisfosfát má na inositolový kruh navázáno šest fosfátových skupin. Objev a výzkum izolace, chemické struktury a vlastností fyfátu byl hodnocený mnoha vědci. Znalosti o fyfátech mají počátek v objevu malých, neškrobových zrn v různých semenech rostlin. Tato zrna byla považována za základní rezervní materiál, který je důležitý pro klíčení semen a růstu rostlin. Později Pfeffer [3] rozdělil tato malá zrna do tří skupin:

1. krystaly oxalátu (šřavelanu) vápenatého,
2. bílkovinné látky
3. směs látek nereagujících s proteiny, tukem nebo anorganickými solemi [4].

Třetí skupina byla nalezena ve všech 100 různých semenech, která byla zkoumána. Pfeffer [3] popsal třetí skupinu jako látky mající zaoblené tvary, u nichž se předpokládá tvar rotačního elipsoidu, a časté zdvojení tedy poskytuje těmto látkám složitý vzhled; tyto látky neobsahovaly dusík, ale obsahovaly vápník, hořčík a fosfor. Tuto třetí skupinu zrn pojmenoval jako zrna globoidní (kulovitá). V globoidech byla také zaznamenána organická hmota a bylo dokázáno, že tato látka je fosfát v kombinaci se sacharidem. Během studia bílkovin indické hořčice byla, z odtučněných, jemně umletých semen, získána látka, která byla rozpustná v 10% chloridu sodném, ale teplem se srážela. Tato látka byla rozpustná ve studené a nerozpustná v horké vodě. Odfiltrováním sraženiny, opětovným záhřevem a filtrací za horka získal zcela čistý produkt bohatý na fosfor a obsahující vápník a hořčík, ale ne dusík. Tento poznatek byl později potvrzen. Následně byl navržen název “inositofosforečná kyselina“ jako vhodný název pro tuto směs, protože hydrolýzou se uvolňuje inositol a kyselina fosforečná.

Posternak [5] tuto látku rozsáhle studoval. Na základě podrobnějších chemických testů byl navržen jiný strukturní vzorec. Věřil, že inositol je produktem hydrolýzy, vytvořený při zahřívání fyfínu pod tlakem, s minerálními kyselinami. Nicméně vědci brzy vyjád-

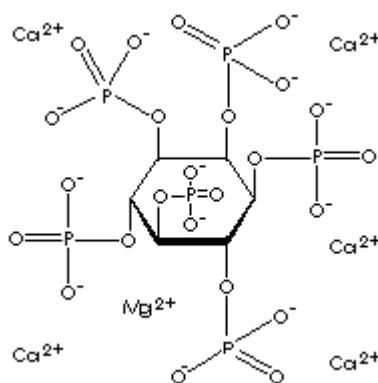
řili

pochybnosti ohledně toho, že inositol vzniká jako produkt hydrolýzy fytinu. Suzuki a kol. [6] získali inositol účinkem enzymu získaného z rýžových otrub. Učinili závěr, že fytin je ester inositolu a kyseliny hexafosforečné a navrhli strukturu fytinu. Také vytvořili závěr, že inositol je složkou fytinu. Smícháním fytinu s kyselinou fosforečnou a destilací za sníženého tlaku získali inositol a fural. Fural lze také získat z inositolu. Podle rozborů byla navržena pro fytin poněkud odlišná struktura, která se liší hlavně přítomností tří P-O-P (difosfoesterových) vazeb mezi dvojicí sousedních fosfátů. Z různých zdrojů byla připravena sůl kyseliny inositol-fosforečné a určeno složení, které odpovídalo struktuře inositol-hexafosforečné kyseliny. Během několika let byla přijata skutečnost, že kyselina fytová je hexafosfátem *myo*-inositolu [4].

Kyselina inositol-hexafosforečná (kyselina fytinová) slouží coby zdroj fosfátu v organismu a rozkládá se *fytasou* na *myo*-inositol. Lidské tělo obsahuje kolem 40g *myo*-inositolu. Plní také roli růstového faktoru a má stejný účinek jako původně označovaný faktor „bios I“, který je nutný pro optimální růst. Podle mechanismu působení lze *myo*-inositol zařadit do vitaminů skupiny B. V organismu se může *myo*-inositol syntetizovat z glukózy-6-fosfátu, ale požadavek lidského těla je pokryt především konzumací ovoce a obilovin, kde se vyskytuje ve formě inositol hexafosfátu. *Myo*-inositol zvyšuje schopnost hemoglobinu v červených krvinkách přenášet kyslík, zlepšuje a reguluje buněčný metabolismus, a to zvláště v případě nedostatku fosforu v těle, podporuje krvetvorbu a tvorbu kostní tkáně a zlepšuje funkci nervového systému [7].

### 1.1.1 Soli kyseliny fytové

Mezi soli kyseliny fytové lze zařadit fytin a fytát. Fytin je vápenato-hořečnatá sůl kyseliny fytové a fytát je vápenatá sůl kyseliny fytové. Fytin (*Obr. 2.*) obsahuje více vápníku (Ca) než hořčíku (Mg), ale může vázat i jiné prvky, jako např. železo, zinek, draslík, mangan a jiné (včetně toxických prvků-olovo, rtuť apod.) [4].



### *Obr.2. Molekula fytinu*

Surovinou pro výrobu fytinu jsou rýžové otruby, otruby z obilných zrn a také výlis-ky z olejnin, získané coby vedlejší produkt při průmyslovém zpracování potravin a při výrobě oleje. Při zpracování surového rostlinného materiálu je nutné vědět, že řada rostlin-ných semen (zvláště fazole) obsahují spolu s fytinem enzym *fytasu* [8].

Fytin, coby potravinový doplněk, je velmi vhodný pro prevenci fyzického a dušev-ního vyčerpání a pro zvýšení celkové vytrvalosti během aktivního cvičení a při sportu. Lze jej také zahrnout do komplexní terapie onemocnění nervového systému, která jsou spojena s nedostatkem fosforu. U onemocnění kostí v kombinaci s přípravky s obsahem vápníku ho lze použít v případě rachitidy, osteomalacie a zlomenin kostí. V kombinaci s přípravky s obsahem železa ho lze použít v případě anémie u dospělých a dětí. Doporučuje se při nespavosti, nechutenství, a to buď samostatně, nebo v kombinaci s různými předepisova-nými léky [7].

Celkový komplexní účinek fytinu se odráží v celkovém povzbuzujícím účinku, kte-rý v kombinaci se svým zapojením do regulačních metabolických procesů zlepšuje intenzi-tu a stabilitu pozornosti, zvyšuje výkon a pracovní výkonnost, odstraňuje pocit vyčerpání a povzbuzuje obranné mechanismy organismu prostřednictvím dosud ne zcela objasněným mechanismům. Inhibiční účinek kyseliny fytinové na proliferaci virů lidské imunitní nedo-statečnosti (HIV), které způsobují syndrom získané imunitní nedostatečnosti (AIDS), testovali japonští vědci *in vitro*. Zjistili, že kyselina fytinová v koncentraci  $1,67 \text{ mg.ml}^{-1}$  inhibuje cytotoxický účinek viru imunitní nedostatečnosti a specifickou anti-genní reakci v postižených buňkách [7].

## **1.2 Výskyt kyseliny fytové**

Kyselina fytová je běžnou složkou naší stravy. Je obsažena v cereálních výrobcích a luštěninách. Obilniny a luštěniny obsahují značné množství fosforu ve formě kyseliny

fytové. Zastává několik fyziologických funkcí a také značně ovlivňuje funkční a výživové vlastnosti obilnin a luštěnin a potravin odvozených vytvořením komplexů s proteiny a esenciálními minerály [11].

Obsah kyseliny fytové je vyšší ve vnějších obalech semen než v celých semenech. Kyselina fytová slouží jako zdroj fosfátu u rostlin. Její obsah ovšem kolísá a je ovlivněn odrůdou, klimatem, zavlažováním, typem půdy a umělým hnojením [1].

Ve zralých luštěninách je hlavní podíl celkového fosforu přítomen ve formě fytátu. Ve velkém množství je obsažen v klíčku a slupce obilných zrn, luštěnin, oříšků a různých semen, kde je zásobárnou energie a mikroprvků pro klíčící rostlinu. Špaňo [9] a Prošková [10] uvádí obsahy kyseliny fytové v potravinářských výrobcích odebraných z naší obchodní sítě [11].

Vedle obilovin, luštěnin a olejnin, které se vyznačují vysokým obsahem kyseliny fytové, existují rostliny s nízkým obsahem (brambory, artyčoky, mrkev, brokolice, jahody, ostružiny a fíky) a plodiny, které vůbec neobsahují kyselinu fytovou (hlávkový salát, špenát, cibule, celer, houby, jablka, banány, ananas a citrusové plody). V čočce s obsahem 0,49 % kyseliny fytové bývá přítomno asi 0,07 % směsi penta-fosfátů a 0,01 % směsi tetra-fosfátů [11].

Obsah fytinu v celozrnných výrobcích je vyšší než ve výrobcích z bílé mouky. Celozrnný pšeničný chléb obsahuje fytinu asi 20x více než pšeničný chléb z bílé mouky [12].

**Tab.1. Obsah kyseliny fytové v semenech luštěnin [11]**

---

Luštěniny	%
-----------	---

---

Sója	1,00 – 1,47
Hrách	1,20
Fazole	0,55 – 0,75
Čočka	0,54

**Tab.2: Obsah fyтину v sušině celých zrn obilovin a ve výrobcích z nich v hm. % [9,10]**

obiloviny	%
žito	0,97
celozrnná žitná mouka	0,72
pšenice	0,62 – 1,35
celozrnná pšeničná mouka	1,07
bílá pšeničná mouka	0,03 – 0,05
ječmen	0,97 – 1,16
kukuřice	0,89 – 0,99
oves	0,79 – 1,01
ovesné vločky	0,83
rýže	0,34 – 0,89
neloupaná pohanka	1,08
jáhly	0,28

### 1.3 Účinky kyseliny fytové

Z oblasti studia výživy se nahromadily poznatky, které ukazují na význam IP6 jako fyziologicky významné složky výživy hospodářských zvířat i člověka. Mnohé literární i internetové zdroje uvádějí, že suplementace potravy dostatečným množstvím IP6 má pro-

spěšné účinky v prevenci rakoviny tlustého střeva a rakoviny prsu, snižuje krevní srážlivost, hladinu cholesterolu a triglyceridů, které kolují v krevním řečišti. Uvádějí se i prospěšné účinky IP6 v prevenci infarktu myokardu, stimulace funkce lymfocytů a prevence tvorby ledvinových kamenů. IP6 zasahuje i do regulace hladiny glukózy v krvi. Většina těchto tvrzení je však zatím založena na experimentech s laboratorními zvířaty, a je proto obtížné rozhodnout, zda je kyselina fytová užitečnou nebo naopak nebezpečnou složkou lidské výživy. Vysoký chelatační potenciál IP6 nabádá k určité opatrnosti vzhledem k možným interakcím s ionty železa, hořčíku a vápníku. Na druhé straně je tímto mechanismem IP6 účinný v prevenci vzniku ledvinových kamenů a inhibuje produkci iontů amonných, čímž má dezodorizační účinky, snižuje zápach z úst i zápach moči. Alimentární příjem kyseliny fytové u lidí a zvířat značně kolísá, v závislosti na složení potravy. Vysoký je zejména u vegetariánů a makrobiotiků [13].

Kyselina fytová má v organismu důležitou funkci inhibitoru tvorby hydroxylových radikálů a antioxidantu umožňujícího normalizaci buňky. Fytin také zabraňuje vstřebávání některých minerálů, které na něj navázané z těla odejdou. Tedy, minerály navázané na fytin nejsou stráveny – tělo opustí v takové formě v jaké do něj vstoupily [12].

Na jedné straně je kyselina fytová považována za antinutriční látku, která snižuje využití fosforu, zinku, vápníku a mědi u zvířat a lidí, zatímco na straně druhé potlačuje tvorbu reaktivních hydroxylových radikálů katalyzovanou železem, a má rovněž hypocholesterolemický účinek. Vedle negativních účinků na organismus může kyselina fytová působit i pozitivně. V pokusech na zvířatech bylo prokázáno, že snižuje riziko rakoviny tlustého střeva a prsu. Předpokládá se, že existuje několik mechanismů antikarcinogenního působení kyseliny fytové [1].

#### 1.4 Použití kyseliny fytové

Pro své chelatační účinky je IP6 také používán například v potravinářském průmyslu. Jeho přidání zkracuje potřebnou dobu fermentace a brání změnám v barvě různých potravin a vína. IP6 se využívá také jako součást kosmetických krémů, kde jsou zdůrazňovány její antioxidační a protizánětlivé účinky. Jako látka E 391 je kyselina fytová součástí energetických nápojů; její používání však není našimi předpisy povoleno [7].

Kyselinu fytoovou lze také použít jako aditivní látku při čiření vín, kde zajišťuje odstranění železitých iontů vysrážením fytátu železitého [11].

## 1.5 Vliv kyseliny fytové na životní prostředí

V místech s vysokou intenzitou živočišné výroby (chovy prasat a drůbeže) je IP6 hlavní příčinou znečištění povrchových vod fosfáty. U zvířat s jednoduchým žaludkem není většina kyseliny fytové strávena, s výkaly odchází do kejdy a teprve tam podléhá mikrobiálnímu rozkladu za uvolnění fosfátů. Z toho důvodu se do krmiva prasat a drůbeže často přidává *fytaasa* [2].

Je snaha účelně využít afinitu kyseliny fytové k těžkým kovům. Kyselina fytová imobilizovaná vazbou do polyvinylpyridinu má dobrou schopnost vychytávat ionty těžkých kovů z průmyslu a důlních odpadních vod [2].



## 2 VÝZNAM KYSELINY FYTOVÉ VE VÝŽIVĚ

### 2.1 Stravitelnost

Látky vázané ve fytinu mohou být rostlinami i živočichy využity až poté, co je fytin rozložen působením enzymů zvaných souhrnně *fytasky*. Ve zralých luštěninách je hlavní podíl celkového fosforu přítomen ve formě fytátu. Hydrolyza fytátu na inositol a fosfáty nebo kyselinu fosforečnou nastává díky *fytasky* nebo neenzymatickému štěpení. Enzymy schopné hydrolyzy fytátů se hojně vyskytují v mikroorganismech, rostlinách a živočiších. *Fytasky* působí postupně tak, že katalyzují hydrolyzu kyseliny fytové na meziproducty *myo*-inositolu (IP6, IP5, IP4, IP3, IP2, IP) a *myo*-inositol. Mnozí vědci studovali schopnost odbourávání fytátu z plísně *Aspergillus niger* a vytvořil závěr, že *fytaska* specificky štěpí fytát, zatímco kyselá *fosfatasa* napadá meziproducty hydrolyzy a urychluje reakci. Je-li využitelnost fosforu hlavním cílem, je žádoucí celková hydrolyza. Ke snížení nebo eliminaci chelatační schopnosti fytátu je nejdůležitější defosforylace hexa- a penta-fosfátů, protože vysoký stupeň fosforylace je nezbytný pro navázání minerálů a ovlivňuje enzymovou aktivitu [16].

Přídavek *fytasky* do potravy selat zjevně zvýšil absorpci  $Mg^{2+}$  a  $Zn^{2+}$  a absorpce  $Fe^{2+}$  a  $Ca^{2+}$  směřovala ke zlepšení; zadržení  $Mn^{2+}$  nebylo ovlivněno přídavkem *fytasky*. Fosfor obsažený v kyselině fytové může být organismy využit až po enzymové hydrolyze *fytaskou*. *Fytasky* se řadí k *fosfatasám* a dělí se podle toho, kterou fosfátovou skupinu v kyselině fytové nejprve odštěpí, na *3-fytasky* (EC 3.1.3.8) a *6-fytasky* (EC 3.1.3.26). *3-fytasky* se vyskytují v mikroorganismech a *6-fytasky* v rostlinách. Enzymovou hydrolyzou vznikají postupně nižší inositolfosfáty. Konečným produktem hydrolyzy je 6 molekul ortofosfátu a *myo*-inositol [11].

#### 2.1.1 *Fytasky*

*Fytasky* jsou enzymy, které se vyskytují v:

- mikroorganismech – plísních, kvasinkách a bakteriích,
- rostlinách – v semenech rostlin, hodně jich je v žitě a pšenici (v žitě je jich asi 4,5x více než v pšenici), málo v kukuřici, sóje, ovsu,

- na sliznici střeva – u potkanů, kuřat, telat i lidí (tyto *fyta*sy jsou 30x méně aktivní u lidí než u kryš) [14].

*Fytasy* začnou rozkládat fytin až když nastanou vhodné podmínky – nejdůležitějším požadavkem je vlhkost. Takové podmínky jsou splněny například při klíčení semen. Z živočichů dokážou fytin beze zbytku strávit pouze přežvýkavci, a to díky mikroorganismům v batoru. Ostatní živočichové, včetně lidí, dokážou strávit jen část fytinu a tak větší či menší množství fytinu přijatého ve stravě opouští tělo v nezměněné podobě. Na rozkladu fytinu v trávicím traktu člověka se podílí hlavně *fyta*sy rostlinného původu, méně *fyta*sy mikroorganismů v tlustém střevě a ještě méně *fyta*sy střevní sliznice. Fytin velmi pevně váže minerály a pokud není rozložen, tak minerály, které jsou na něj navázané z těla odejdou, nejsou stráveny a tělo opouští v takové formě v jaké do něj vstoupily. Fytin také zabraňuje tvorbě ledvinových kamenů. Používá se jako dietetický doplněk a komplexotvorní činidlo pro odstranění stop iontů těžkých kovů [11].

Působením enzymu *fyta*sy, který patří do skupiny *fosfatas*, jež se nacházejí v gastrointestinálním traktu živočichů a v rostlinách, se kyselina fytová rozkládá na *myo*-inositol, který se vstřebává. Příjem *fyta*sy může mít výrazné účinky na intestinální absorpci bivalentních iontů, např. vápníku, hořčíku a železa. Použití *fyta*sy jako enzymového doplňku snižuje možnost tvorby těchto nerozpustných komplexů a tím zlepšuje absorpci makro a mikroelementů přijímaných v potravě nebo prostřednictvím doplňků [11].

### 2.1.1.1 Mikrobiální *fyta*sy

Fytasovou aktivitu mají často plísně. Pro výrobu *fyta*sy se nejčastěji používá *Aspergillus niger*. Fytasovou aktivitu mají i kvasinky, např. *Candida tropicalis*, *Torulopsis candida* a *Saccharomyces cerevisiae*. Plísnové *fyta*sy mohou být extra- i intracelulární, podobně i další. *Fytasy* jsou všeobecně termostabilní a mohou působit v rozdílných oblastech pH. Většina mikrobiálních *fyta*sy, zejména z plísní, má optimální pH 4,5 - 5,5. Některé bakteriální *fyta*sy mají optimální pH 6,5 – 7,5. *Fytasy* rostlinných semen mají optimální pH 4,0 – 5,6. Některé *fyta*sy mají dvě optimální hodnoty pH, např. *Citrobacter freundii* při 2,7 a 5,0 [11].

Mikroorganismy jsou hlavním činitelem rozkladu kyseliny fytové v trávicím traktu. Identita mikroorganismů rozkládajících kyselinu fytovou v živočišném trávicím traktu není

známa. Výjimkou je bachor přežvýkavců. Yanke a kol. [15] zjistili, že tuto enzymovou aktivitu mají bakterie *Selenomonas ruminantium*, *Megasphaera elsdenii*, *Prevotella ruminicola*, *Mitsuokella multiacidus* a *Treponema spp.* Nejvyšší fytasovou aktivitu měly kmeny *Selenomonas ruminantium*, u nichž byla zjištěna v 96 % případů [11].

## 2.2 Vstřebávání kyseliny fytové

Chemická struktura IP6 ukazuje, že se jedná o vysoce polární sloučeninu se šesti fosfátovými skupinami. Lze tedy předpokládat, že nemá schopnost být snadno vstřebávána, aniž by byla ve střevě defosforylována na inositol, a pronikat přes soustavy plasmatických membrán buněk střevního epitelu a kapilár do krevního oběhu a odtud do různých tkání. Překvapivě však bylo zjištěno, že IP6 se u krys velmi rychle vstřebává z potravy v nezměněné formě, a přednostně se akumuluje v mozku. Funkce IP6 v mozku, kde jsou jeho koncentrace 8,5 krát vyšší než koncentrace IP3, však zatím zůstává nevysvětlena. V buňkách hipokampu IP6 zvyšuje aktivitu L-typu  $\text{Ca}^{2+}$ -kanálů, má zřejmě rovněž významnou úlohu jak při apoptóze, tak v regulaci neurogeneze [13].

## 2.3 Využitelnost fytátu

Využitelnost fosforu, pokud je přítomen ve formě fytátu, závisí na druhu a věku laboratorního zvířete a na stupni aktivity *fytaasy* ve střevním traktu specifického druhu. Fytát je obecně považován za méně využitelný než anorganický fosfor. Inositol hexafosfát je ze surového a zpracovaného bobu obecného a cizrny změněn v průběhu trávení a je využito více fosforu z kyseliny fytové. Mnoho faktorů, včetně druhu potravy, může ovlivnit hladinu využití fytátu. Vysoká hladina  $\text{Ca}^{2+}$  může snížit, pokud se hladina vitamínu  $\text{D}_3$  zvyšuje, zadržování fosforu z fytátu. Specifická úloha je demonstrována zjištěním, že přídavek 1,25-(OH)<sub>2</sub>-cholekaciferolu do potravy s nízkým obsahem fosforu, ale s dostatečným množstvím vitamínu  $\text{D}_3$ , zvyšuje zadržování fytátu. Při nedostatku součástí potravy schopných vázat fytát je možné, že fytát je zcela stráven. Ústní podání roztoku IP6 krysám mělo za následek rychlou defosforylaci v horních částech gastrointestinálního traktu, s následnou absorpcí a přenosem *myo*-inositolu do jater, svalů a kůže [2].

## 2.4 Účinky fytrátu na využitelnost minerálů

Kyseliny fytróvá je silnou dvanáctisytou kyselinou s obzvláště velkou schopností tvořit komplexy s různými kationy. Vazba kationu je ovlivněna jeho koncentrací, koncentrací kyseliny fytrové, přítomností dalších kationů a hodnotou pH. Afinita kyseliny fytrové vůči kationům klesá v tomto pořadí:  $\text{Cu}^{2+} > \text{Zn}^{2+} > \text{Co}^{2+} > \text{Mn}^{2+} > \text{Fe}^{3+} > \text{Ca}^{2+}$ . Pevná vazba kationů kovů s kyselinou fytrovou ztěžuje jejich vstřebávání. V rozvojových zemích je běžný nedostatek Zn a Fe způsobený potravou chudou na tyto prvky a bohatou na kyselinu fytrovou. Problémy mohou nastat i u vegetariánů, zejména bylo-li maso nahrazeno sójovými produkty, které jsou na kyselinu fytrovou bohaté. Z toho důvodu vegetariánství, které může být určitým přínosem pro zdraví, není vhodné u těhotných a kojících žen a u dětí. Vápník ve vyšších koncentracích podporuje vazbu zinku kyselinou fytrovou tím, že dochází ke koprecipitaci i malých množstvích Zn. Podobně působí i kyselina šťavelová, která má značnou afinitu k vápníku a železu, vláknina, která tvoří matici v níž jsou minerály vázány a její složka pektin, který váže minerály svými volnými karboxylovými skupinami. Uvedeným negativním účinkům lze předcházet vyváženým příjmem stravy živočišného původu. Peptidy, které vznikají v průběhu hydrolýzy živočišných bílkovin, zejména těch, které obsahují cystein, vstřebání minerálních látek podporují. Kyselina fytróvá je spolu s kyselinou šťavelovou příčinou malé stravitelnosti Ca, Mg, Zn a Fe obsaženého v rostlinách. Defosforylací, byť i jen částečnou, schopnost kyseliny fytrové vázat kationy kovů klesá. Tetrafosfát inositolu vstřebávání už nebrzdí [2, 13].

Je nutno zdůraznit, že význam působení kyseliny fytrové na minerální metabolismus člověka roste, vzhledem k rostoucí oblíbenosti cereálních přesnídávek, sójových bobů a ořechů. Kyselina fytróvá váže také kationy těžkých kovů. Dalo by se předpokládat, že kyselina fytróvá snižuje toxicitu těžkých kovů, jejich vstřebávání a ukládání do tkání. Přídavek *fytrasy* by tento příznivý účinek měl rušit. Skutečnost je ale složitější a literární údaje se v tomto ohledu různí [2].

Kyselina fytróvá v rostlinné potravě tvoří s esenciálními minerály, jako je vápník, zinek, železo a hořčík komplexy, které jsou pro absorpci biologicky nevyužitelné. Mechanismus, jakým kyselina fytróvá ovlivňuje minerální výživu, není zcela prozkoumán. Většina výzkumu naznačuje, že tvorba nerozpustných komplexů fytrát-kov brání vstřebávání kovů

v zažívacím traktu. Omezená využitelnost esenciálních minerálů je způsobená buď fytrá-

tem, nebo fytáto-proteinovými komplexy v luštěninách a další bílkovinné stravě, závisí na několika faktorech, jako jsou:

1. schopnost endogenních nosičů ve střevní sliznici absorbovat esenciální minerály navázané na fytát a další součásti potravy,
2. koncentrace kyseliny fytové v potravinách.
3. koncentrace minerálů v potravinách,
4. trávení nebo hydrolýza fytátu, pomocí enzymů fytáz, ve střevě,
5. inhibice fytátu,
6. způsob zpracování produktů [16].

Další složky potravy, jako jsou dietní vláknina, polysacharidy, oxaláty a směsi polyfenolů, mohou také hrát hlavní úlohu ve využitelnosti minerálů. Dietní vláknina celozrnném chlebu zodpovídá za nízkou využitelnost minerálů [16].

## 2.5 Účinky fytátu na využitelnost proteinů

Kyselina fytová může tvořit komplexy s proteiny. Při nízkém pH se elektrostaticky váže na zásadité aminokyseliny ( Arg, Lys, His ). V isoelektrickém bodě se tento komplex rozpadá, ale vytváří se nový, v němž vazbu mezi kyselinou fytovou a proteinem zprostředkovávají dvojmocné kationy, zejména  $\text{Ca}^{2+}$ . Komplexy kyseliny fytové s proteiny jsou nerozpustné a odolnější k proteolytickému štěpení než byl výchozí protein. Kyselina fytová snižuje aktivitu trávicích enzymů *pepsinu*, *trypsinu*,  *$\alpha$ -amylasy* a *lipasy*. Na druhou stranu interakce s proteiny zmírňuje nepříznivý účinek kyseliny fytové na vstřebávání Ca a Zn. Přídavek *fytaasy* do krmiv zlepšuje stravitelnost proteinu a rovněž dostupnost Ca a Zn [2].

## ZÁVĚR

Kyselina fytová je jednoznačně antinutriční látkou pouze u zvířat. Je důvodem nízké stravitelnosti fosforu obsaženého v obilí, luštěninách a olejninách u prasat a drůbeže. V místech s velkým rozšířením chovů zvířat je špatná stravitelnost kyseliny fytové hlavní příčinou znečištění povrchových vod fosfáty. Problém nízkého využití fytátového fosforu zvířaty je však nutno řešit. Děje se tak přidávkem mikrobiální *fyta*sy do krmné směsi.

Řadu problémů, které přítomnost kyseliny fytové v krmivech a potravinách přináší, se již podařilo vyřešit. Ve výživě zvířat zbývá objasnit distribuci fytasové aktivity v trávicím traktu drůbeže, určit podíl *fyta*s endogenního a exogenního původu na hydrolyze kyseliny fytové a rozhodnout, zda je výhodnější použít přídavek komerční *fyta*sy, či se orientovat na komponenty s nízkým obsahem kyseliny fytové nebo s vysokou přirozenou fytasovou aktivitou.

Ve výživě lidí přijímajících smíšenou stravu je přítomnost kyseliny fytové v potravě spíše prospěšná nežli škodlivá. Kyselina fytová je antioxidant, snižuje riziko kolorektálního karcinomu a má příznivý vliv na lipidový metabolismus, brání vzniku ledvinových kamenů a je prekursorem derivátů inositolu s významnými fyziologickými funkcemi. Zápornou roli má pouze v situaci, kdy její vysoký alimentární příjem je spojen s nízkým příjmem zinku, železa a vápníku.

Dosud nebyla zjištěna identita mikroorganismů, které rozkládají kyselinu fytovou v trávicím traktu zvířat s jednoduchým žaludkem. Bylo by třeba zaměřit se na úlohu kyseliny fytové ve výživě člověka, více objasnit její interakce s dalšími složkami potravy a upřesnit úlohu kyseliny fytové v prevenci civilizačních onemocnění.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] BOHN, L., MEYER, A.S., RASMUSSEN, K.S. Phytate: impact on environment and human nutrition. A challenge for molecular breeding. *Journal of Zhejiang University SCIENCE B*, 2008, 9 (3), p. 165-191, ISSN 1862-1783, [online], [citováno 29.1.2009], dostupné na internetu: <<http://www.springerlink.com/content/jx62xx0361173786/fulltext.pdf>>.
- [2] MAROUNEK, M., DUŠKOVÁ, D., BŘEZINA, P., Výskyt, biologická aktivita a význam kyseliny fytové v systému trávení, Ústav molekulární genetiky AV ČR, Praha, *Biologické listy* 2, 2000, s.103-108, ISSN 0366–486.
- [3] PFEFFER, W. Suchung über die Proteinkorner und die Bedeu des Asparagine beim Keimen der Samen. *Jahrb. Wiss. Bot.*, 1872, 8, p. 429.
- [4] REDDY, N.R. *et al. Phytates in Cereals and Legumes*. CRC Press, 1989, p. 1-3, ISBN 0849361087, 9780849361081, [online], [citováno 22.11.2008], dostupné na internetu: <[http://www.amazon.com/gp/reader/0849361087/ref=sib\\_dp\\_pt#reader-link](http://www.amazon.com/gp/reader/0849361087/ref=sib_dp_pt#reader-link)>
- [5] POSTERNAK, S. Sur la composition chimique des graines d'aleurone. *C. R. Acad. Sci.*, 1905, 140, p. 322.
- [6] SUZUKI, U., YOSHIMURA, K., TAKAISHI, M. Über ein enzym „phytase“ das anhydro-oxy-methylendiphosphosaure Spaltet, *Bull. Coll. Agric. Tokyo Imp. Univ.*, 1907, 7, p. 495.
- [7] STRUNECKÁ, A., PATOČKA, J. *Kyselina fytová a naše zdraví*. [online], [citováno 22.11.2008], dostupné na internetu: <<http://www.toxicology.emtrading.cz/modules.php?name=News&file=print&sid=56>>.
- [8] VELÍŠEK, J. *Chemie potravin 2*, OSSIS, Tábor, 1999, vydání první, s. 72-73
- [9] ŠPAŇO, M. *Isotachoforetické stanovení kyseliny fytové*, VŠCHT Praha, diplomová práce, 1992.
- [10] PROŠKOVÁ, A. Stanovení obsahu kyseliny fytové v potravinářských surovinách rostlinného původu. *Czech J. Food Sci.*, 1998, 16, s. 215-220.
- [11] MAROUNEK, M. *Význam kyseliny fytové ve výživě zvířat a lidí a důsledky její pří-*

- tomnosti v krmivech*. VÚŽV Praha–Uhřetěves, 2004, [online], [citováno 17.11.2008], dostupné na internetu: <<http://www.vuzv.cz/old/vyziva/studie10.rtf>>
- [12] SANDBERG, A.S., BRUNE, M., CARLSSON, N.G. *et al.* Inositol phosphates with different numbers of phosphate groups influence iron absorption in humans. *Am. J. Clin. Nutr.*, 1999, 70, p. 240-246.
- [13] BERRIDGE, M.J. Unlocking the secrets of cell signaling. *Annu Rev Physiol.*, 2005, 67, p.1-21, [online], [citováno 21.2.2009], dostupné na internetu: <<http://arjournals.org/doi/abs/10.1146/annurev.physiol.67.040103.152647?journalCode=physiol>>
- [14] VOHRA, A., SATYANARYANA, T. Phytases: microbial sources, production, purification, and potential biotechnological applications. *Crit. Rev. Biotechnol.*, 2003, 23, p. 29-60
- [15] YANKE, L.J., SELINGER, L.B., CHENG, K.J. Phytase activity of *Selenomonas ruminantium* a preliminary characterization. *Lett. Appl. Microbiol.*, 1999, 29, p. 20-25, [online], [citováno 7.3.2009], dostupné na internetu: <<http://www3.interscience.wiley.com/cgi-bin/fulltext/119073118/PDFSTART>>
- [16] URBANO, G. *et al.* The role of phytic acid in legumes: antinutrient or beneficial function? *J. Physiol. Biochem.*, 2000, 56 (3), p. 283-294, [online], [citováno 22.11.2008], dostupné na internetu: <[http://www.unav.es/fyn/jphysiolbiochem/vol56\\_3/pdf/16.pdf](http://www.unav.es/fyn/jphysiolbiochem/vol56_3/pdf/16.pdf)>



**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

E391	Kyselina fytová
IP6	<i>Myo</i> -inositol hexafosfát
IP5	<i>Myo</i> -inositol pentafosfát
IP4	<i>Myo</i> -inositol tetrafosfát
IP3	<i>Myo</i> -inositol trifosfát
IP2	<i>Myo</i> -inositol difosfát
IP	<i>Myo</i> -inositol fosfát

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

<i>Obr. 1. Molekula kyseliny fytové .....</i>	<b>9</b>
<i>Obr. 2. Molekula fytinu .....</i>	<b>12</b>

**SEZNAM TABULEK**

*Tab. 1. Obsah kyseliny fytové v semenech luštěnin..... 14*

*Tab. 2. Obsah fytinu v sušině celých zrn obilovin a ve výrobcích z nich v hm.% ..... 14*