



VĚDECKÝ VÝBOR FYTOSANITÁRNÍ A ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

Klasifikace:	Draft	<input type="checkbox"/>	<i>Pro vnitřní potřebu VVF</i>
	Oponovaný draft	<input type="checkbox"/>	<i>Pro vnitřní potřebu VVF</i>
	Finální dokument	<input type="checkbox"/>	<i>Pro oficiální použití</i>
	Deklasifikovaný dokument	<input checked="" type="checkbox"/>	<i>Pro veřejné použití</i>

Název dokumentu:

Faktory ovlivňující obsah nutričně významných a škodlivých látek v hlízách a výrobcích z brambor

Poznámka:

VVF-05-04
Zpracovatel: Ing. Jaroslav Zrůst, CSc. (VÚBHB)

OBSAH:

ÚVOD	3
1. ZÁKLADNÍ POHLED NA JAKOST POTRAVIN (OBEČNĚ)	5
2. NUTRIČNĚ VÝZNAMNÉ LÁTKY	6
2.1. SACHARIDY	8
2.2. DUSÍKATÉ LÁTKY	13
2.3. TUK	18
2.4. VITAMÍNY	18
2.5. BARVIVA	19
2.6. ENZYMY	19
2.7. MINERÁLNÍ LÁTKY	19
2.7.1. DRASLÍK	20
2.7.2. FOSFOR	24
2.7.3. VÁPŇÍK	27
2.7.4. HOŘČÍK	30
2.7.5. MOLYBDEN	31
2.7.6. ZINEK	31
2.7.7. MANGAN	32
2.7.8. SELEN	33
2.8. ORGANICKÉ KYSELINY	35
2.9. AROMATICKÉ LÁTKY	35
2.10. FENOLY A PŘÍBUZNÉ SLOUČENINY	35
2.11. GLYKOSIDY	36
2.12. ANTIOXIDANTY	36
2.12.1. POLYFENOLY	36
2.12.2. ASKORBOVÁ KYSELINA	38
2.12.3. KAROTENOIDY	39
2.12.4. ANTHOKYANOVÁ BARVIVA	40
2.12.5. DALŠÍ ANTIOXIDANTY BRAMBOR	41
2.12.6. VÝZNAM ANTIOXIDANTŮ BRAMBOR	41
3. NEŽÁDOUCÍ, ŠKODLIVÉ, CIZORODÉ LÁTKY	47
3.1. STEROIDNÍ GLYKOALKALOIDY	47
3.2. KALYSTEGINY	48
3.3. AKRYLAMID	56
3.4. TĚŽKÉ KOVY	67
3.5. STOLNÍ A TECHNOLOGICKÁ HODNOTA BRAMBOR	71
4. LITERATURA	74

Stanovené základní cíle:

Zvýšení kvality zemědělských produktů, v tomto případě hlíz bramboru a výrobků z nich. Vytvořit databázi a seřadit literární prameny charakterizované níže uvedenými klíčovými slovy: nutričně významné látky, nežádoucí látky, škodlivé látky, cizorodé látky (konkrétně: sacharidy – redukující cukry; dusíkaté látky – bílkoviny; antioxidanty – polyfenoly; vitamíny; minerální látky včetně stopových prvků : fosfor, draslík, vápník, hořčík, molybden, zinek, mangan, selen; alkaloidy – solanin, chaconin, calystegin; akrylamid; těžké kovy)

Úvod

Na úseku sledování jakosti zemědělských produktů se udržuje trend zdůrazňující priority zdravotní bezpečnosti (nezávadnosti) potravin (food safety), tedy kvality více ve smyslu negativním. Aféry z nedávné doby s kontaminací některých potravin a tragédie BSE to podle Prugara a Hrubého (2001) silně zdůraznily. Spotřebitel se podle autorů začíná bát o své zdraví a o život a ztrácí důvěru v současné pěstitelské, chovatelské i zpracovatelské technologie i ve způsob kontroly. Cesta z pole na stůl spotřebitele se v podmínkách volného trhu zatím mnoho nezjednodušila. Spotřebitel bývá často dezorientován.

Naivními se ukázaly podle Prugara (1999) představy, že přestavba ekonomiky ze socialistické na kapitalistickou, tedy z přísného centrálního plánování a dozoru na hospodářství volného trhu vyzvedne kvalitu v konkurenčním boji z bývalého stínu na slunce. Autor pokračuje: „... Celá řada jiných faktorů se prosadila a prosazuje daleko důrazněji než jakost, ať už to je rozvinuté překupnictví ..., stoupající moc mafí, které nepřipustí do hry prvky zdravé konkurence, zaplavování našeho trhu zahraničními dotovanými komoditami, chabá kontrola (kompetentní orgány nestačí na analytický průzkum trhu) a tedy i chabá ochrana spotřebitele, masírovaného hutnou reklamou a cenovými machinacemi. ...“.

Na druhou stranu není pravda, že by se pro zajištění zdravotní nezávadnosti potravinářských surovin a potravin v nedávné minulosti nic nedělalo. Přijetím Zákona o potravinách č. 110/1997 Sb. se zpřesnila pravidla výroby a obchodu s potravinami a přiblížila se legislativě platné v zemích s fungujícím tržním hospodářstvím.

Legislativa v úseku potravin a potravinářských surovin zaznamenává intenzivní vývoj, prakticky za pochodu se harmonizuje s podmínkami EU. Množí se zrody nových prováděcích vyhlášek Zákona o potravinách. Záplava předpisů samozřejmě klade vysoké nároky na podnikatele působící v této oblasti, pro něž není někdy jednoduché zajistit jejich dodržování, které ovšem je a bude v praxi základním předpokladem úspěchu v konkurenčním boji a v mnohých případech i k obhájení existence na trhu vůbec.

Faktem je, že se kvalita v posledních letech víceméně stabilizovala a naše výrobky se vyrovnají zahraniční konkurenci. Spotřebitelé je převážně většinou preferují, ale současně došlo i ke zvýšení jejich náročnosti (Prugar, 2003).

Také v Evropské komisi se provedla v posledních letech radikální reorganizace celého systému zajištění bezpečnosti potravin. Hlavním cílem je uklidnit spotřebitele a přesvědčit ho, že bezpečnost potravin je prioritou politiky Komise. Základem k dosažení této priority je jednotný a fungující systém, který zahrnuje celý potravinový řetězec (od prvovýrobce ke spotřebiteli).

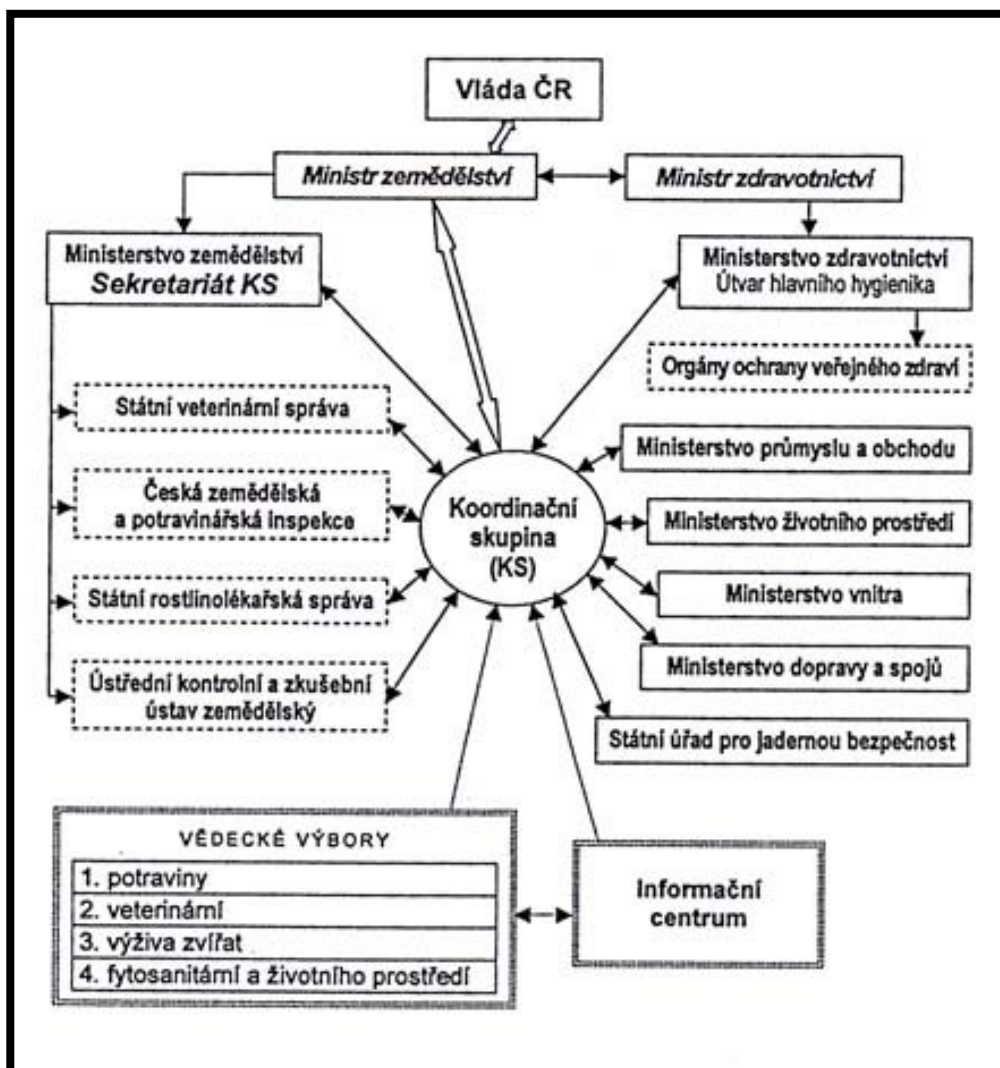
V rámci společné zemědělské politiky v rámci EU byla vytvořena řada opatření pro zajištění kvality z důvodů ochrany zájmů spotřebitele, nebo lepšího zajištění potravinové bezpečnosti, ochrany duševního vlastnictví, nebo vytvoření vyššího výnosu pro zemědělce. Z pohledu současnosti to však nestačí. Podle Fischlera (2003) tehdejšího evropského komisaře pro zemědělství aj. „... dnešní spotřebitel očekává nejen dobrou chuť, ale také bezchybný vzhled zakoupené potraviny. Vyžaduje výrobky se specifickými znaky kvality, např. určitého geografického původu, nebo označení zvláštního postupu výroby. Pro charakterizaci takových znaků kvality byly v 90. letech minulého století vydány odpovídající právní předpisy. Nesmí se ale zapomínat, že pro vedení takových značek kvality znamená žádoucí výrobní postup často také vyšší náklady, nebo nižší výnosy, které ne vždy, alespoň ne dosud, může trh zaplatit v přiměřené výši. Je nutno zdůraznit, že podporu z veřejných prostředků získají pouze výrobci, kteří budou ochotni podrobit se takovým pravidlům kvality. ... Kvalita se bude stále více stávat prvořadým cílem trvalého zemědělství a základním předpokladem férové soutěže na domácích i zahraničních trzích.“

Stěžejním nástrojem této politiky se stala revize stávající a přijetí nové legislativy včetně zřízení (od r. 2002) nezávislého Evropského úřadu pro potraviny (EFSA), jehož základním cílem je poskytovat nezávislé a vědecké poradenství v oblasti bezpečnosti potravin. S ohledem na potřebu zajistit znovuoobnovení důvěry občanů EU v potraviny Evropská komise navrhla, aby EFSA byl viditelně nezávislý na jakýchkoliv politických i ekonomických zájmech.

Cílem politiky bezpečnosti potravin v ČR je především ochrana zdraví spotřebitele, ale i ochrana národních ekonomických zájmů. Základem pro zajištění bezpečnosti potravin je vytvoření právního rámce na základě vědeckých poznatků a zajištění fungujícího systému kontroly v celém potravinovém řetězci od farmy až po spotřebitele.

Ke strategii zajištění bezpečnosti potravin v ČR bylo přijato usnesení vlády č. 1320/2001 schvalující jak organizační schéma (obr. 1), tak i časový harmonogram legislativních kroků a ukládající příslušným ministerstvům plnění úkolů plynoucích z této strategie. Blíže viz Ostrý (2003).

Obr. 1. Schéma – Koordinace bezpečnosti potravin v České republice (převzato: Ostrý, 2003).



1. Základní pohled na jakost potravin (obecně)

Jakost je ekonomický termín a vyjadřuje stupeň naplnění potřeb vůči nějakému standardu. Není absolutní veličinou, ale hodnotou proměnnou. Neexistuje také ideální potravina, která by mohla sloužit jako základní standard. U potravin lze rozlišovat tyto typy jakosti: hygienickou, nutriční, senzorickou, technologickou, užitnou. Existuje i jakost informační (C e l b a *et al.*, 2001).

Jakost hygienická rozhoduje o použitelnosti a nebo nepoužitelnosti potraviny, která musí být vyřazena z oběhu, ale nemusí být nutně zdravotně závadná. Je to dáno bezpečnostními koeficienty při stanovení hodnot ADI (acceptable daily intake), což je denní množství rizikové látky, která při celoživotní spotřebě nepoškodí zdraví.

Jakost hygienická vyjadřuje zejména stupeň kontaminace produktů cizorodými a ostatními škodlivými látkami. V oblasti hygienické hodnoty se v poslední době začala psát nová kapitola o přírodních toxických látkách v potravinových surovinách a potravinách. Někteří odborníci přisuzují přirozeným toxinům, včetně mikrobiální kontaminace, dokonce významnější negativní úlohu ve výživě než „klasickým“ antropogenním kontaminantům, jakými jsou těžké kovy, rezidua pesticidů a potravinářská aditiva. Podle odhadu amerických toxikologů se blíží denní příjem přírodních toxinů potravou až 1,5 g. Jsou v tom ovšem zahrnuty i nežádoucí látky vznikající při výrobě potravin a zejména při tepelné úpravě pokrmů (podrobněji v kapitole: Akrylamidy).

Při vyjadřování **nutriční (výživové) hodnoty** se má na mysli, podle P r u g a r a (1994) převážně pozitivní aspekty, tedy obsah látek příznivě se uplatňujících v lidské výživě, jejich vnitřní skladbu a vzájemné poměry. Jsou to především bílkoviny s výhodnou aminokyselinovou skladbou, dieteticky významné polysacharidy, jako jsou potravinová vláknina a pektiny, tuky s esenciálními nenasycenými mastnými kyselinami, vitamíny, enzymy, nezbytné minerální prvky atd.

Technologická kvalita zahrnuje vhodnost pro různé formy zpracování v průmyslu i v kuchyni (loupateľnost, výtěžnost, barevnou stálost, vhodnost k vaření, pečení, k různým formám konzervace), odolnost při transportu, skladovatelnost aj. Tyto všechny ukazatele se beze zbytku hodí i na hlízy bramboru, např. při výrobě bramborových hranolků rozhoduje velikost a tvar brambor – optimální jsou velké a podlouhlé tvary, protože je při jejich zpracování minimální odpad.

U **senzorické hodnoty** (neporušenost, velikost, tvar, barva, odrůdová čistota, vůně, chuť aj.) hraje závažnou roli obchodní jakostní klasifikace pro jednotlivé druhy produktů. Hmotnost, velikost, tvar, barva a vnější vzhledová bezchybnost jsou pro jednotlivé třídy předepsány a rozhodují o cenových relacích.

Jakost užitná – spotřebitel žádá, aby potraviny byly co nejpohodlnější pro přípravu i konzumaci, tedy aby měly co nejvyšší užitnou hodnotu, aby byly rychle připravené ke konzumu. Tzv. pohotové potraviny jsou nazývány v hantýrce konvenience (z anglického convenience foods); šetří čas, ale i energii při jejich přípravě.

Jakost informační – potravinářská legislativa ukládá výrobcí či distributorovi potravinářských výrobků informovat své zákazníky o svých výrobcích. Tím ovlivní způsob přijetí výrobku na trhu.

Pro lepší porozumění problematice jakosti potravin a zhodnocení situace je třeba poukázat pokud možno na všechny rozhodující aspekty, které jakost přímo ovlivňují. V zásadě se jedná o vlivy chemické (biochemické), fyzikální, biologické a hygienické. Nepřímo ovlivňují jakost i aspekty ekonomické resp. obchodní, sociální i psychologické.

Jakost, konkrétně hlíz bramboru a výrobků z brambor, ovlivňují dopady vlivů v pořadí, jak jsou uvedeny. Z chemických látek jde jednak o látky s pozitivním vlivem, které mohou

přispívat ke zvýšení nutriční jakosti některých potravin, jako jsou např. vitaminy, vláknina, antioxidanty, obsah vápníku a draslíku, hořčíku, selenu, apod. Z látek s negativním vlivem na jakost potraviny nebo suroviny lze jmenovat především cizorodé látky, např. rezidua pesticidů, polychlorované bifenylly (PCB), dusičnany, dále stopová množství rizikových prvků mj. těžkých kovů, např. kadmia, manganu, molybdenu, zinku, arsenu, berylia, stopové obsahy organických látek, výrazně ohrožujících zdraví konzumenta (C e l b a *et al.*, 2001).

V posledním období několika let se součástí posuzování jakostních parametrů stávají i chemické sloučeniny obecně nazývané mykotoxiny (N e d ě l n í k , 2001).

Z fyzikálních účinků jde o vlastnosti související jednak se vzhledem a přitažlivostí potraviny pro konzumenta, jako je např. barva potraviny, její textura (tuhost, křehkost), dále o pozitivní účinky některých pokrokových způsobů zpracování.

Z hlediska biologických vlivů je zvláště aktuální otázka genetické modifikace surovin, která se v rámci výrobního řetězce přenáší i do jakosti a zdravotní nezávadnosti potravin a je v současnosti v celém světě intenzivně studována.

2. Nutričně významné látky

V bramborové hlíze existuje řada látek (kalorických i nekalorických), které mají význam z hlediska fyziologie výživy – vytvářejí nutriční hodnotu brambor. Tyto látky mají často význam i jako sloučeniny, které se podílejí na konečné chuti a vůni hotového produktu (M í č a , 1995). Do kategorie látek kalorických náleží škrob, dusíkaté látky a tuk.

Nekalorické látky je možno dělit na:

- a) látky v hlíze přítomné, často balastní, mající svůj význam, avšak z hlediska vůně a chuti bezvýznamné,
- b) látky pochutinové, které mohou mít vedle své účinnosti na vůni a chuť i další význam, a to z hlediska nutričního.

Do první skupiny patří polysacharidy (mimo škrobu), vitamíny, enzymy a barviva, do skupiny pochutinových látek se pak řadí cukry, minerální látky, organické kyseliny, aromatické látky, fenoly a glykosidy.

Obecně je možno konstatovat, že ostrá hranice mezi jednotlivými látkami nebo jejich skupinami je velmi těžko rozlišitelná.

Z hlediska fyziologie výživy člověka má podle Wirtha (1963) význam taková potravina nebo její složka, která poskytuje nejméně 5 % kalorií nebo 5 % potřeby dané složky v denní dávce potravy. Např. při denní spotřebě 300 g bramborových hlíz je uhrazena potřeba 11,4 % kalorií a současně 50 % denní potřeby vitamínu C.

Brambory se používají rovněž v dietetice. Podle U l b r i c h t a (2002) z několika důvodů:

- Dobré stravitelnosti. Seznam častých subjektivních intolerancí potravin (potraviny, které nejsou dobře snášeny) neobsahuje brambory v rozmanité formě, ale pouze výrobky z brambor (hranolky, bramborový salát, bramborové knedlíky). Vařené brambory nejsou vyloučeny z žádné diety. Brambory jsou součástí stravy nemocných, lehké stravy (zde nesmí být obsaženy potraviny s intolerancí více než 5 %), forem diet s definovanými živinami, gastroenterologických diet a také méně častých forem diet.
- Hodnotným bílkovinám, které zvláště v kombinaci s dalšími potravinovými bílkovinami (vejčíčka, mléko a příslušné výrobky) vykazují nejvyšší biologickou hodnotu (BW). Např. směs brambor a vaječ má BW 140, čisté vejce oproti tomu

pouze 100. Velmi vysoká BW kombinace brambor a vajec hraje velkou roli např. v dietách s definovaným množstvím bílkovin, zvláště pokud se pacientům musí podávat nízké množství bílkovin (např. při onemocnění ledvin).

- Alkalizačnímu účinku. Při ledvinových kamenech ve spojení s vysokou koncentrací kyseliny močové se aplikuje dieta obsahující brambory, která neutralizuje kyselinu močovou a současně vede ke snížení přísunu purinů.
- Nízkému potenciálu alergenů. Brambory často představují základ diety alergiků. Nízký potenciál alergenů u brambor se vztahuje na dosud známé odrůdy. Zda se to týká také geneticky upravených brambor nelze, podle U l b r i c h t a (2002), dosud s jistotou říci.

U forem alternativní výživy jako je vegetariánství a plnohodnotná strava se, podle tohoto autora, nedá očekávat ani nárůst ani pokles konzumace brambor. Trendy alternativní výživy proto, podle něho, nepoškodí ani nepodpoří bramborářství.

Základní charakteristikou chemického složení hlíz je **obsah sušiny**. Této hodnotě je přikládán zvláštní význam (Storey a Davies, 1992). Výše jejího obsahu ovlivňuje kvalitu produktu a rentabilitu zpracování. Vysoký obsah sušiny podmiňuje u zpracovatelského průmyslu vyrábějícího potravinářské výrobky z brambor vysokou výtěžnost produktů. Pro všechny výrobky, které jsou vyráběny sušením, má vysoký obsah sušiny výhodu v tom, že vzniká úspora energie potřebné k odpaření vody. Z hlediska kvality potravinářských výrobků ovlivňuje obsah sušiny především texturu výrobků – určuje např. chřupavost (chřoupavost) lupínků i hranolků. Vedle toho ovlivňuje obsah sušiny v hlízách i konečný obsah tuku u smažených výrobků tak, že s nárůstem obsahu sušiny klesá i obsah tuku.

Obsah sušiny u brambor určených k přímé spotřebě je rozhodující podle toho, zda spotřebitel dává přednost bramborám moučnatým (vyšší obsah sušiny) nebo lojovitým (nižší obsah sušiny). Do jisté míry je tato volba dána regionálními odlišnostmi.

U brambor určených ke zpracování na škrob a líh je jednoznačná snaha po dosažení co nejvyššího obsahu sušiny, protože tím je dán i vysoký obsah škrobu. Z hlediska rentability provozu pak platí, že 1 % zvýšení škrobnatosti podmiňuje 7 % zvýšení produktivity práce v provozu (M í č a , 1988) .

Ve dvouletém hodnocení 18 odrůd brambor pěstovaných v ČR byla výše obsahu sušiny ovlivněna především odrůdou, a to z 81,85 %, prostředím působilo z 10,85 % a interakce odrůda x prostředí ze 7,30 %, podíl genetické na fenotypové variaci $H = 0,760$. Byla zjištěna vysoce významná korelace mezi obsahem sušiny a délkou vegetační doby – $r = +0,717^{**}$. Vedle toho kolísání obsahu sušiny u odrůd na různých lokalitách o 2 až 4,5 % spolu s vlivem výživy ukazují možnosti zvyšování obsahu sušiny také hnojením a agrotechnikou (D o b í á š a M í č a , 1985). Obecně platí, že odrůdy rané mají nižší obsah sušiny než odrůdy pozdní. Jednotlivé látky, které vytvářejí celkovou sušinu hlíz, působí z hlediska kvality produktu a užití brambor dvěma směry:

- 1) svým obsahem podmiňují nutriční i technologickou hodnotu hlíz,
- 2) svými fyzikálně chemickými vlastnostmi spoluvytvářejí vzhled i vlastnosti výrobku.

Základní kalorická hodnota sušiny brambor je dána sacharidickou složkou, dusíkatými látkami a tukem (B u r t o n , 1989 – 10. kap.).

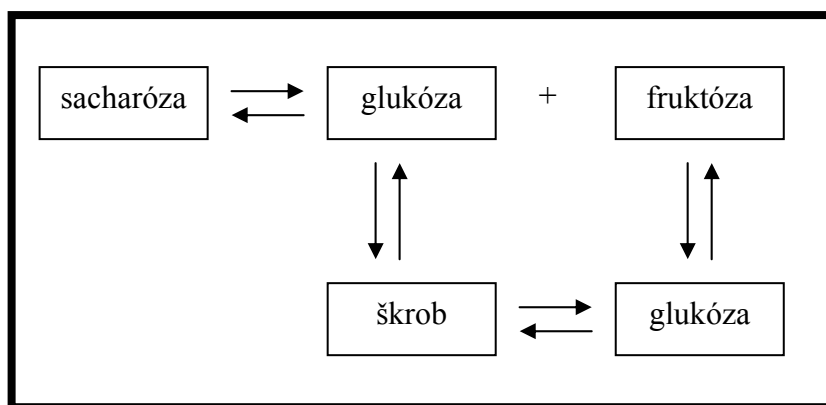
2.1. Sacharidy

Jsou důležité substráty živých objektů, v nichž je uložena volná energie. Jsou hlavním podílem sušiny rostlinných pletiv. V živočišných tkáních a v mikroorganismech jsou zastoupeny v daleko menších množstvích než proteiny a lipidy.

Do sacharidů náleží jak látky poměrně jednoduché – **monosacharidy**, tak složité – **polysacharidy** složené z monosacharidů. Dohromady se nazývají obecně **cukry** (K o š t í ř, 1980).

Obsah cukrů v hlízách, které byly vhodně skladovány je relativně velmi nízký (0,5 % v původní hmotě). Jejich obsah má přesto význam jak z hlediska zpracovatelského, tak i z toho důvodu, že ovlivňují chuť i vůni brambor. Ve zralých hlízách je mezi sacharidy dynamická rovnováha (E d e l m a n n, 1963), kterou lze sumárně uvést takto (obr. 2)

Obr. 2. Dynamická rovnováha mezi sacharidy (Burton, 1989)



Při teplotách mezi 10 až 20 °C je ve zralých hlízách největší část sacharidů ve formě škrobu. Ostatní tři cukry jsou přítomny pouze v malém množství. Nevyzrálé hlízy obsahují značné množství cukrů, zejména sacharózy. V prvních dnech po sklizni nezralých hlíz obsah sacharózy klesá, zatímco obsah fruktózy a glukózy se zvyšuje. Obsah cukrů vyzrálých hlíz je značně závislý na teplotě skladování. Při teplotách pod 10 °C se obsah cukrů zvyšuje, a to tím více, čím více se teplota skladování blíží k 0 °C. Při nízkých teplotách (kolem 0 °C) se uplatňuje funkce cukrů jako pochutinové látky. Se zvýšením obsahu cukrů stoupá nasládllost brambor a dosahuje často i takového stupně, že brambory nejsou vhodné ke konzumu. Nasládlé brambory však nejsou brambory namrzlé. Došlo zde pouze k blokování vydýchání cukrů, eventuálně jejich resyntézy na škrob vlivem teploty blízké se k 0 °C. K odstranění tohoto jevu stačí přenést nasládlé brambory na 2 – 3 týdny do teplejšího prostředí (15 – 20 °C).

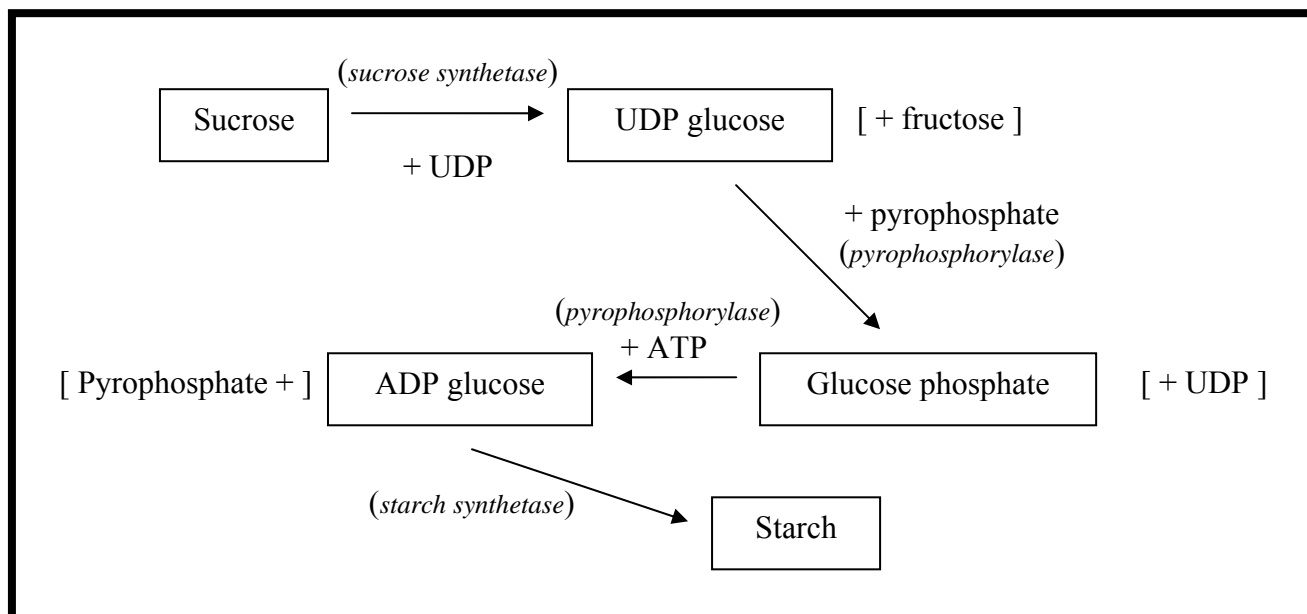
Vysoký obsah redukujících cukrů je nežádoucí při zpracování brambor na potravinářské výrobky. U smažených lupínků a hranolků dochází vlivem vysokého obsahu redukujících cukrů k reakci s aminokyselinami za tvorby hnědých produktů. Zhoršuje se kvalita výrobků, a to nejen barvy, ale i chuti.

Cukry jsou zároveň prekurzory některých těkavých sloučenin, které z nich vznikají varem, popř. jinou tepelnou úpravou brambor. Koncentrace vytvořených sloučenin je závislá na druhu cukru, jeho koncentraci, teplotě i pH systému. Tyto složky se podílejí na celkovém vytvoření vůně brambor.

Vedle tří hlavních cukrů (monosacharidů: glukózy i fruktózy a disacharidu sacharózy) byly v bramborách prokázány i jiné cukry (monosacharidy: mannóza, xylóza, trisacharid: rafinóza apod.), které jsou však z hlediska vlivu na kvalitu bezvýznamné.

Podstatnou část sušiny brambor tvoří **škrob**. Z hlediska energetického u brambor představuje patnácti procentní obsah škrobu 61 kcal (255 kJ), tj. 87 % celkového energetického obsahu sušiny (70 kcal – 293 kJ). Je tedy hlavním rostlinným zásobním polysacharidem, který se ukládá ve formě zrn v amyloplastech a chloroplastech, kde probíhá jeho biosyntéza. Zabudování sacharózy do škrobu řadou reakcí, jejichž pravděpodobný hlavní průběh popsali G a n d e r (1976); A k a z a w a (1976) je uveden ve schematu (obr. 3) (enzymy jsou vyznačeny kurzívou).

Obr. 3. Biosyntéza škrobu (Burton, 1989)



Jedním z prekurzorů škrobu je adenzindifosfátglukóza (ADP-glukóza – na obr. UDP glucose), jejíž tvorba z glukóza-1-fosfátu a ATP je katalyzována enzymem ADP-glukózapyrofosforylázou (AGPázou). Dřívější studie potvrdily, že ADP-glukóza je výhradním prekurzorem biosyntézy škrobu, neboť mutanty se sníženou hladinou AGPázy izolované u kukuřice obsahovaly v endospermu obilky výrazně nižší obsah škrobu (V y s k o t, 1998).

Zrna bramborového škrobu nejsou z chemického hlediska homogenní sloučeninou. Jsou tvořena dvěma komponenty v poměru dosahujícím hodnot až 1 : 4. Tyto komponenty jsou amyulóza a amylopektin.

Obě složky jsou podle dnešních názorů tvořeny monosacharidem d-glukózou, přičemž jejich vzájemná odlišnost a velikost je dána různým uspořádáním řetězce d-glukózy. Amyulóza je uspořádána spirálovitě. Průměrný polymerizační stupeň je 1 000 – 5 000. Je závislý na původu hlíz a metodě přípravy. Enzymaticky se amyulóza odbourá z 80 % na maltózu (B a d e n h u i z e n, 1971). Proti amyulóze má amylopektin značně rozvětvenou strukturu. Průměrný stupeň polymerizace je 100 000.

V důsledku rozdílného prostorového uspořádání mají amyulóza i amylopektin rozdílné fyzikálně-chemické vlastnosti (tab. 1).

Tab. 1. Vlastnosti amylozy a amylopektinu (podle Míči a Vokála, 1995c)

Vlastnost	amyloza	amylopektin
barvení jodem	intenzivně modře max.	červenofialově max.
UV – absorpce (v alkal. prostř.)	268 – 270 μm	234 – 308 μm
d-glukóz. zbytků na molekulu	930	6 000 – 36 000
rozpusťnost	ve vodě	téměř nerozpusťný
retrogradace	retrograduje	
srážení z roztoku	sráží se alkoholy	za nepřítomnosti elektrolytů se alkoholem nesráží
obsah fosforu	neobsahuje fosfor	obsahuje veškerý fosfor ve škrobu

Škrob váže pevně až 10 % vody, která byla nazvána konstituční, dalších 10 – 35 % vody je považováno za vodu absorpční. Nad tuto hranici se jedná o tzv. vnější kapilární vodu.

Kromě vody jsou ve škrobu vázány ještě další sloučeniny, z nichž nejvýznamnější je kyselina fosforečná. Obsah kyseliny fosforečné se ve škrobu pohybuje v rozmezí 0,08 – 0,25 % v sušině. Obsah fosforu ve škrobu představuje zhruba 1/5 celkového obsahu fosforu přijatého bramborovou hlízou.

Škrob jako celek je v hlízách uložen ve formě škrobových zrn různé velikosti. Rozměry škrobových zrn se pohybují v rozmezí 1 – 110 μm , přičemž výjimečně byla nalezena zrna i větších rozměrů (Greenwood, 1966). Počet malých zrn (do 10 μm) je větší než velkých zrn (nad 60 μm), hmotnostně je však největší podíl v rozmezí 10 až 60 μm .

Ze všech vlastností škrobu jako celku je nejdůležitější jeho chování ve vodním prostředí. V suchém stavu jsou škrobová zrna hygroskopická a přijímají vodu z okolí do obsahu 15 až 20 % vlhkosti, v závislosti na druhu škrobu a vlhkosti vzduchu. Další podrobnosti o vlastnostech škrobu je možno získat u Míči a Vokála (1995c).

Čím kratší je období výstavby produkčních orgánů rostliny a zásobních pletiv pro ukládání škrobu a čím delší je období, ve kterém se může tvořit a ukládat škrob, tím vyšší bude obsah škrobu v hlízách. Proto všechny faktory, které příznivě ovlivňují optimální poměr růstu rostliny a tvorby zásobního škrobu, rozhodují o škrobnatosti a jsou příčinou jejího kolísání.

Hunnus (1972) rozdělil tyto faktory do čtyř skupin:

- 1) odrůdové charakteristiky,
- 2) průběh počasí,
- 3) druh půdy,
- 4) stav výživy a agrotechnika.

Odrůda je na prvním místě, protože především schopnost tvorby škrobu je geneticky fixována. V podmínkách bramborářské oblasti bylo zjištěno, že podíl odrůdy na celkové variabilitě obsahu škrobu činil v pokusech Míči (1988) 65,97 %, podíl ekologických podmínek 19,28 % a podíl interakce odrůda x prostředí 14,75 %. Z vlivů prostředí mají tedy ročník a lokalita v bramborářské oblasti přibližně stejný vliv. Na obsah škrobu má vliv i zeměpisná délka (poledníkový vliv). Směrem od východu na západ klesá v ČR škrobnatost.

Obecně bylo stanoveno, že vysokého obsahu škrobu je možno docílit v oblastech a letech s dlouhým a na slunce bohatým pozdním létem, zatímco v oblastech a v letech s vlhkým a na slunce chudým studeným klimatem zůstávají obsahy škrobu nízké. Každé zkrácení období růstu (nemoci listů, brzké mrazíky) snižuje obsah škrobu. Podle Míči a Vokála (1995c)

je k optimální tvorbě škrobu ve čtyřech měsících (červen – září) potřebná suma teploty 60° (= suma čtyř měsíčních denních průměrných teplot) a 220 mm dešťových srážek.

Půda má svou zrnitostí, schopností udržet vláhu a svým provzdušením větší či menší vliv na tvorbu škrobu v hlízách. Hlinité půdy, především v sušších polohách, nebo při vysokém obsahu vápníku, podporují zvýšenou tvorbu škrobu v hlízách, oproti půdám písčítým.

Tvorba vysokého výnosu škrobu vyžaduje rychlou výstavbu listového aparátu a co možná dlouhou dobu pro tvorbu škrobu. Posun výsadby z poloviny dubna do poloviny května znamená ztrátu obsahu škrobu zhruba o 1 %. Z hlediska výživy přichází v úvahu organické a minerální hnojení. Minerální hnojení tvoří nedílný doplněk organického hnojení. Funkce dusíku se uplatňuje tím, že vytváří základ pro růst a vývoj výkonného asimilačního aparátu. Nadměrně vysoká dávka N však snižuje nejen obsah, ale i výnos škrobu. Účinek N je nutné hodnotit ve spojení s jinými živinami – P a K, které jsou účastny především na tvorbě škrobu v listech, na jeho odvodu do hlíz a na jeho znovu vytváření v hlízách. Fosfor kromě toho urychluje nasazení hlíz, takže k ukládání škrobu je k dispozici delší doba. Funkce draslíku závisí do jisté míry i na jeho formě. Je-li použit K ve formě draselné soli, musí být aplikován dostatečně v předstihu (na podzim), aby se chloridy přes zimu vyplavily.

Vedle základních živin (N, P, K) představuje důležitý předpoklad pro tvorbu škrobu hořčík. Přídavek tohoto prvku je o to potřebnější, čím vyšší jsou dávky N, P, K. Schéma hnojení průmyslových brambor je uvedeno v tab. 2.

Tab. 2. Hnojení brambor určených pro výrobu škrobu (podle Míči a Vokála, 1995c)

Dávka hnoje	délka vegetační doby	N v kg č.ž. na ha	P ₂ O ₅ při střední a dobré zásobě v půdě	K ₂ O při střední zásobě v půdě	MgO při střední a dobré zásobě v půdě
bez hnoje (pouze zelené hnojení)	rané	120	65	130	50
	polorané	110			
	pozdní	90			
20 t.ha ⁻¹	rané	100	65	130	50
	polorané	90			
	pozdní	80			
40 t.ha ⁻¹	rané	100	85	110	50
	polorané	90			
	pozdní	70			
60 t.ha ⁻¹	rané	90	115	90	50
	polorané	80			
	pozdní	60			

Na těchto doporučovaných dávkách se nic nezměnilo ani v současné době (Čepel, 2004). Při nízkém zásobení půd jednotlivými živinami se uvedené dávky zvyšují o 35 – 50 kg č.ž. ha⁻¹ u P₂O₅, o 40 – 45 kg u K₂O a o 15 kg u MgO.

Nedílnou součástí kritéria kvality průmyslových brambor – obsahu škrobu – je i kvalita škrobu, a to z hlediska ovlivnění výživou. Kvalita škrobu bývá v podstatě vyjádřena poměrem jednotlivých velikostí škrobových zrn a viskozitou škrobového mazu. Do velikostního rozdělení škrobových zrn zasahuje výrazně dusík, zejména tam, kde docházelo k jednostrannému přehnojení dusíkem. Fosforečné hnojení podporuje zlepšení kvalitativních parametrů škrobu i nárůst větších zrn.

Viskozita škrobového mazu určuje využitelnost škrobu jako suroviny pro některá odvětví hospodářství. Čím je viskozita škrobového mazu vyšší, tím je škrob vydatnější. Během vegetace, zřejmě v důsledku zvětšování škrobových zrn, se viskozita mazu zvyšuje. Jednou z charakteristik škrobového zrna je i molekulární hmotnost škrobu. Bylo zjištěno, že molekulární hmotnost škrobu souvisí s obsahem škrobu v hlízách, je však současně ovlivněna i vegetačním rokem. Vysoké dávky N podle M í č i a V o k á l a (1995c) snižují vedle obsahu škrobu i jeho molekulární hmotnost.

Vedle škrobu se vyskytují v bramborách další polysacharidy, které vytvářejí buněčné stěny a mezibuněčné složky. Bývají uváděny jako hrubá vláknina, celulóza, hemicelulózy, pentózany a pektiny (T o u r n e a u , 1956). Jako **hrubá vláknina** se označují ty organické sloučeniny, které při chemické analýze nepřecházejí do frakce celkového dusíku a které se nepočítají mezi bezdusíkaté extraktivní látky. Podle použité metody kolísá obsah hrubé vlákniny mezi 1,40-3,06 % v sušině hlíz.

Celulóza, jako stavební složka stěny rostlinných buněk, je podobně jako amyulóza tvořena glukózovými zbytky, avšak o vazbě $\beta - 1,4$. Představuje zhruba 10 – 20 % z celkových polysacharidů (mimo škrobu).

Hemicelulózy, rovněž složky buněčných stěn, obsahují jako charakteristickou stavební složku kyselinu uronovou, např. kyselinu glukuronovou apod. Tyto složky jsou spojeny s pentózami, jako je xylóza apod. podíl hemicelulóz na celkovém obsahu polysacharidů je 1 %.

Pentózany jsou polysacharidy tvořené výlučně z pentóz. Byly nalezeny v množství 8,5 %. Pentózany jsou tvořeny z kolísavého množství arabinózy, galaktózy a rhamnózy.

Jako **pektiny** (B e t t e l h e i m a S t e r l i n g , 1955) bývá označována skupina polysacharidů, která je tvořena α -galaktosidicky sřetězenými estery kyseliny galakturonové, více či méně methylovanými a polymerizovanými, ve kterých je vázán vápník v různém množství. Lze je zhruba dělit podle způsobu jejich extrahovatelnosti. Zhruba 40 % pektinových látek (pektin) je rozpustných ve studené vodě. Jsou nejméně polymerizovány, nejvíce methylovány a obsahují méně vápníku než jiné pektinové látky. Protopektin obsahuje 70 – 80 % pektinových látek. Je silně polymerizován, méně methylován a ve větší míře spjat s vápníkem než rozpustné pektinové látky. Podílí se převážně na výstavbě buněčné stěny a je extrahovatelný 0,5N HCl. Zbytek pektinových látek, extrahovatelný činnidly vázajícími vápník, tvoří hlavní složku mezibuněčné substance. Stupeň methylace a obsah vápníku leží mezi oběma uvedenými frakcemi. Celkový obsah pektinových látek je mezi 0,21 – 0,41 % (v čerstvé hmotě). V průběhu zrání hlíz se zvyšuje více protopektin než rozpustný pektin. Při skladování klesá obsah protopektinu a zvyšuje se obsah rozpustného pektinu.

Funkce všech výše uvedených polysacharidů spočívá v tom, že zajišťují dobré rozdělení výživy v žaludku a ve střevech, umožňují peristaltiku střev a slouží k promísení ingesta. Názor, že se jedná o nežádoucí příměsi stravy, byl novými pohledy na adsorpční schopnosti celulózy již překonán v poslední čtvrtině minulého století.

Brambory jsou potravinou, která představuje nejen sytící složku, ale pro dobrou stravitelnost a hodnotné živiny zaujímá vynikající postavení ve zdravotní profilaxi jako terapie. Lze je použít téměř ve všech formách diet, dokonce i v dietách pro alergiky (U l b r i c h t , 2002).

Preventivní účinky brambor a výrobků z brambor vyplývají z obsahu fyziologicky účinných obsahových látek. Zvláště se zde projevuje „rezistentní“ („odolný“) škrob, pomocí kterého se zvyšuje příjem vlákniny. Obsah tohoto škrobu v uvařených bramborách je podle U l b r i c h t a (2002) 1 – 3 % (tab. 3).

Tab. 3. Obsah rezistentního škrobu u brambor (podle Ulbrichta, 2002)

způsob úpravy	celkový škrob g/100 g	rezistentní škrob g/100 g	rezistentní škrob v %
horké vařené brambory	16,9	1,1	6,5
studené vařené brambory	17,9	2,4	13,4
bramborový škrob	81,0	61,4	75,8

Velice se liší v závislosti na technologickém zpracování brambor po fermentaci. Zvláště vysoký je obsah rezistentního škrobu v izolovaném škrobu z brambor. Příjem rezistentního škrobu ve výživě se odhaduje v průměru na 3 – 6 g na osobu za den. Rezistentní škrob má strukturu, kterou nelze štěpit amylázami. Proto se dostává nestrávený do tlustého střeva a zde slouží jako výživa pro mikroorganismy. Fyziologický účinek rezistentního škrobu spočívá v tom, že představuje substrát pro látkovou výměnu střevních bakterií a podporuje tvorbu máselnanů v tlustém střevě. Máselnany podporují látkovou výměnu střevních buněk a mají vliv na jejich proliferaci a také na apoptozu (programovaná smrt buňky) nádorových buněk.

Rezistentní škrob brzdí stejně jako ostatní vláknina karcinogenezi zvláště v konečniku. V současné době se vychází z toho, že asi 40 % rakovinných onemocnění je v těsném vztahu se špatnou výživou a že ovoce, zelenina a brambory mají velký význam ve zdravotní profylaxi. Doporučuje se přijímat více než 7 % celkové energie z výživy prostřednictvím zeleniny a ovoce a 45 – 60 % z potravin rostlinného původu, bohatých na škrob a bílkoviny.

K této problematice jednu poznámku. Česká republika patří mezi státy s vysokým výskytem kolorektálního karcinomu – rakoviny tlustého střeva a konečniku. Od r. 1989 je dokonce na prvním místě v celosvětových statistikách v počtu těchto nádorů na 100 000 obyvatel. Ročně u nás bývá zjištěno téměř 3 000 nádorů tračnicku a 2 600 nádorů konečniku. Úmrtnost na tyto nádory je také vysoká, způsobují více než 4 000 úmrtí ročně. Při vzniku kolorektálního karcinomu hrají úlohu vlivy genetické i vlivy zevního prostředí, jejichž vzájemné souvislosti nebyly dosud přesně objasněny. Zevní činitelé, především strava, její kvalitativní a kvantitativní stránky, mají buď ochranný (protektivní), nebo naopak agresivní (tumorigenní) vliv na vznik nádoru. Tumorigenní vliv má především zvýšený podíl živočišných tuků v potravě oproti tukům rostlinným, vysoká spotřeba červeného masa, tepelně zpracovaného smažením, pečením a především uzením, oproti masu drůbežimu a rybímu, dále nízký obsah vlákniny v potravě (obsažena v zelenině, včetně hlíz bramboru, ovoci, celozrnných výrobcích), vyšší konzumace piva (platí především pro karcinom konečniku). Látky přítomné v potravě v malém množství (vitaminy, stopové prvky) mají ochranný účinek. Doposud provedené studie ukázaly, že významný ochranný účinek má dostatečně vysoký příjem vápníku, vitaminů A, C, E, kyseliny listové a ze stopových prvků především selenu (Z a v o r a l, 2000).

2. 2. Dusíkaté látky

Dusíkaté látky obsažené v bramborové hlíze představují jeden z nejvýznamnějších komplexů sloučenin. Spoluvytvářejí nutriční a kalorickou hodnotu bramborové hlízy. Jejich význam však nebyl dlouho docenován.

Představují při 2 % obsahu v původní hmotě (N x 6,25) 8,2 kcal, tj. 34,3 kJ. Z hlediska energetického obsahu tj. zhruba 11,7 % energetického obsahu hlízy. Obsah dusíkatých látek je do jisté míry závislý na odrůdě, vegetačním roce a místu pěstování. Podmínky prostředí (výživa) však mohou výrazně změnit odrůdovou fixaci (N e u b e r g e r a S a n g e r, 1942).

Při vyjádření obsahu dusíkatých látek v % sušiny vykazovaly obecně rané odrůdy vyšší obsah dusíku než odrůdy s delší vegetační dobou. Obsah dusíkatých látek se během vegetace mění. Největší změny nastávají ve fázi plného květu rostlin.

Komplex dusíkatých látek je tvořen mnoha sloučeninami o nízké i vysoké molekulové hmotnosti, obsah jednotlivých sloučenin – frakcí – se pak, podle svého významu, spolupodílí na výše uvedeném vztahu ke kvalitě hlíz. Podíl jednotlivých sloučenin udává tab. 4.

Tab. 4. Složení dusíkatých látek (N x 6,25) - průměrné hodnoty různých autorů (podle Míči, Vokála, 1997a).

N – frakce	% celkového dusíku
A- bílkovinný dusík	50 - 60
B- rozpustný dusík	50 - 40
1. anorganický dusík	4
a) dusičnanový	1
b) dusitanový	stopy
c) amoniakální	3*
2. amidický dusík	23
a) asparagin	13
b) glutamin	10
3. ostatní	23
a) α – aminokyseliny	15
b) basický dusík	8

*zůstává otázkou, proč je amoniakální dusík uváděn v tak vysoké koncentraci. Bylo by vhodné, aby při různých metodách stanovení byl rozlišen i takový amoniakální dusík, který vzniká v průběhu stanovení ze snadno hydrolyzovatelného glutaminu

Zvyšování obsahu dusíkatých látek v bramborové hlíze však může vést k negativním důsledkům ve zhoršení kvality hlíz. Takto vypěstované hlízy mají snížený obsah sušiny, nižší obsah škrobu a vyšší podíl nízkomolekulárních dusíkatých složek. V důsledku toho může nastat i zhoršení skladovatelnosti hlíz. Vztah dusíkatých látek ke kvalitě hlíz lze zobecnit pouze do jisté míry. Tento vztah nevyjadřuje změny, které mohou nastat po tepelné úpravě brambor v podílech jednotlivých frakcí dusíkatých látek. Při vyjadřování vztahu dusíkatých látek ke kvalitě hlíz, zejména k jejich chuti, bylo podle M í č i a V o k á l a (1997a) zjištěno, že mezi obsahem celkového N vyjádřeného v % sušiny a chutí existuje významný pozitivní vztah ($r = 0,555^*$). Dusíkaté látky jako celek se podílejí na energetické hodnotě bramborové hlízy z 11,7 %. Mimo tuto hodnotu jsou však významné i z hlediska nutričního.

Pro úpravu brambor ke stravě a z hlediska racionálního využití má značný význam i rozložení dusíkatých látek v bramborové hlíze (tab. 5).

Nejdůležitějším podílem komplexu dusíkatých látek je tzv. čistá bílkovina. Její obsah se v průměru pohybuje kolem 58 % celkového obsahu dusíkatých látek. Bílkovina brambor není chemicky homogenní složkou. Ještě před rokem 1980 bylo uváděno, že je tvořena zhruba ze 70 % globulinem (tuberin) a ze 30 % albuminem (tuberinin). Do dnešní doby však bylo nalezeno podstatně větší množství jednotlivých frakcí, což umožnily nové poznatky v analytických metodách (viz např. P o t s *et al.*, 1999). Identifikace všech nebyla dosud provedena. Úloha bílkovin v metabolismu bramborové rostliny je nezastupitelná. Hrají významnou roli v interakci s ostatními rostlinami v rostlině – jako jsou cukry, fenoly, hormony apod. Význam bramborové bílkoviny spočívá především v její vysoké biologické hodnotě, která se blíží vaječné bílkovině (bylo zmíněno dříve).

Tab. 5. Rozložení jednotlivých frakcí dusíkatých látek v hlízách brambor (podle Míči, Vokála, 1997a).

Hmotnost každé vrstvy z celkové hmotnosti hlíz v %	slupka	korová vrstva	vnější dužnina	vnitřní dužnina
	5,88	33,01	35,39	25,67
sušina každé vrstvy v %	15,00	21,07	22,20	17,20
celkový dusík	3,540	1,527	1,680	2,209
bílkovinný dusík	1,257	0,562	0,568	0,622
rozpustný dusík	2,700	1,369	1,581	2,157
celkový amidický dusík	1,580	0,465	0,617	1,041
dusík asparaginu	1,191	0,322	0,383	0,634
dusík glutaminu	0,391	0,124	0,240	0,949
basický dusík	0,423	0,338	0,375	0,390

Shodné hodnoty vyjádřené v čerstvé hmotě hlíz odr. Majestic uvádějí Neuberger a Sanger (1942).

Vysoká hodnota bramborové bílkoviny je dána obsahem esenciálních aminokyselin, tj. takových aminokyselin, které není schopen lidský ani zvířecí organismus sám syntetizovat, a musí mu být proto dodávány ve stravě. Krytí denní potřeby těchto aminokyselin bramborami udává tab. 6. Na základě obsahu esenciálních aminokyselin bývá vypočítáván tzv. ESS – index. Tento index představuje číselný vztah zkoušené bílkoviny k bílkovině vaječné s indexem = 100. Index bramborové bílkoviny se pohybuje v průměru kolem 72 s rozmezím 61 – 78.

Tab. 6. Krytí denní potřeby esenciálních aminokyselin bramborami (podle Míči, Vokála, 1997a).

Aminokyselina	denní potřeba v g (muž o hmotnosti 70 kg)	krytí denní potřeby konzumem 300 g brambor v %
tryptofan	0,28	30
fenylalanin	0,64	40
lysin	0,84	36
threonin	0,56	43
valin	0,84	36
methionin	0,45	22
leucin	0,95	38
isoleucin	0,84	39

S vysokým relativním podílem čisté bílkoviny je spjat vysoký procentický podíl škrobu a v důsledku toho je relativně nízký podíl dusíkatých látek v sušině.

V popředí ovlivnění ekologickými faktory stojí hnojení dusíkem. Vyšší dávky dusíku zvyšují sice obsah tzv. čisté bílkoviny (srazitelná taninem), nemají však vliv na aminokyselinové složení bramborové bílkoviny. Hnojením je možno ovlivnit složení rozpustné nebílkovinné frakce. Optimum hnojení pro dosažení příznivé kvality bílkoviny bylo nalezeno při relativně nízkých dávkách dusíkatého hnojiva (40 – 60 kg č.č. N.ha⁻¹).

Bramborová bílkovina je kromě **esenciálních aminokyselin** tvořena i dalšími, více či méně významnými, aminokyselinami. Vedle aminokyselin, které jsou vázány v bílkovině, se vyskytují v bramborové hlíze ještě tzv. **volné aminokyseliny**, jejichž význam pro kvalitu brambor není zanedbatelný. Kupř. kyselina glutamová a asparagová, a v neposlední řadě jejich amidy glutamin a asparagin, mají stěžejní význam pro metabolismus veškerého dusíku v bramborách.

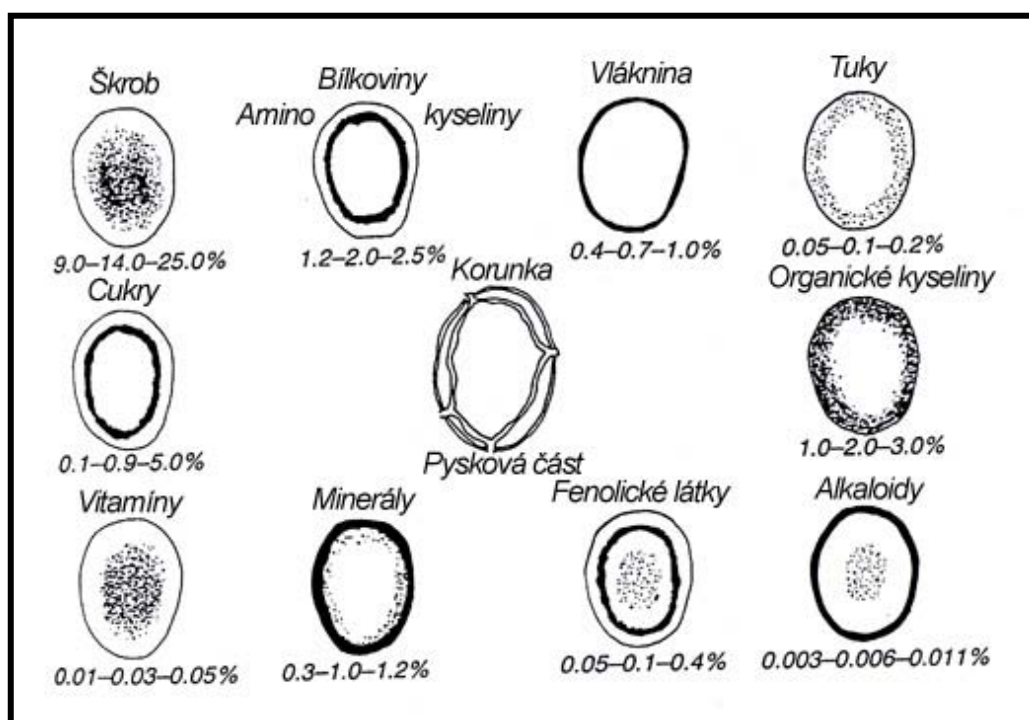
Volné aminokyseliny mají pro chuť brambor značný význam. Kromě toho, že zesilují účinky chutě jiných sloučenin, mají různé aminokyseliny též vlastní chuť, a to od neutrální (arginin, asparagin, isoleucin, lysin, serin, threonin, valin) přes hořkou (leucin, fenylalanin, tryptofan, tyrosin) až ke sladké (prolin, alanin). Celkový obsah aminokyselin je závislý především na odrůdě a je jen velmi málo ovlivněn podmínkami hnojení a skladování brambor. Podíly jednotlivých aminokyselin se mohou v závislosti na odrůdě, podmínkách pěstování a době uložení měnit. Volné aminokyseliny mají značný význam i jako prekursorů těkavých aromatických látek, vznikajících při tepelné úpravě brambor. Při tepelné úpravě brambor dochází ke ztrátě aminokyselinového dusíku (kupř. při smažení lupínků až 88,7 %), což lze podle Míči a Vokála (1997a) v neposlední řadě přičíst vzniku těkavých aromatických složek.

Z hlediska tvorby vůně a chuti vařených brambor představují významnou složku i tzv. **nukleotidy**. Obsah některých nukleotidů se varem zvyšuje. Bylo prokázáno, že tyto sloučeniny vznikají varem z kyseliny ribonukleové. Nukleotidy sice samy o sobě nemají výraznou chuť, působí však, zejména ve spojení s kyselinou glutamovou, jako zesilovače chuti vařených brambor.

Další složkou dusíkatého komplexu brambor jsou **alkaloidy**, rovněž tak **dusičnany**, v nichž je zastoupen anorganický dusík. Bližší podrobnosti o obou složkách jsou uvedeny v samostatných kapitolách.

Poslední významnou skupinou dusíkatých látek jsou **biogenní aminy**, **kvarterní amonné soli** a **betainy**. Vznik aminů se předpokládá jako důsledek odbourání aminokyselin odštěpením CO_2 . Z lysinu tak vzniká kadaverin, ze serinu kolamin, tryptamin z tryptofanu. Z těchto sloučenin má největší význam cholin jako součást lecitinu. Cholin a zejména jeho acylderivát acetylcholin snižují krevní tlak. Obě sloučeniny se vyskytují v bramborových hlízách v celkovém množství kolem 10 mg % ve vzájemném poměru 1:100 – 300 (acetylcholin : cholinu). Dusíkaté látky, podobně jako škrob, nejsou v hlíze brambor rovnoměrně rozloženy (obr. 4).

Obr. 4. Chemické složení (% č.h.) a rozložení s rozmezím hodnot v hlíze bramboru (podle Loona a Müllera, 1984 – převzato z Burtona *et al.*, 1992)

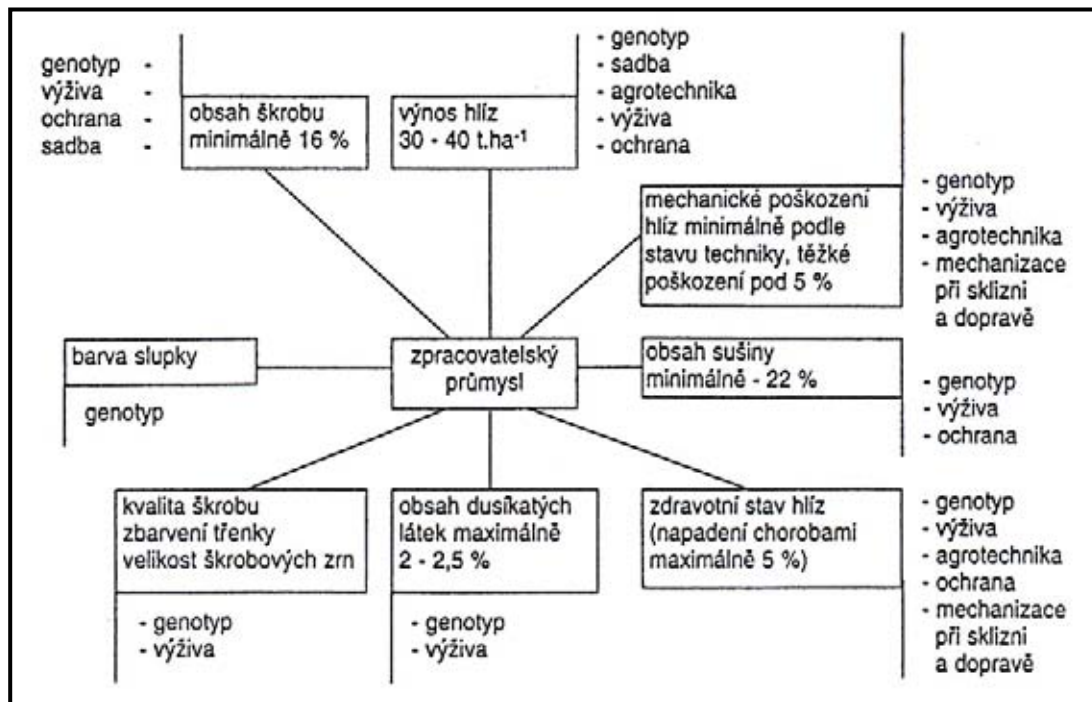


Nepravidelné rozmístění dusíkatých látek v bramborové hlíze, genetická fixace některých frakcí i vlivy prostředí vytvářejí často problémy, které jsou obtížně řešitelné, navíc znalosti o této skupině látek nejsou dosud úplné. Je tedy nutno dusíkatým látkám věnovat patřičnou pozornost. Podrobnosti o této problematice uvádí Kolbe (1996).

Z praktického hlediska, jak navrhuji Míča a Vokál (1997a) půjde o možnost podpory tvorby bílkoviny a volných aminokyselin a o omezení tvorby dusičnanů. Vedle výběru vhodné odrůdy se jedná především o řešení problematiky výživy brambor. Oběma výše uvedeným faktorům je společná volba vhodné dávky živin, zejména dusíkatého hnojení. V praxi to znamená, že u stolních brambor by neměla dávka dusíkatého hnojení překročit 120 kg č.ž. N.ha⁻¹ (v závislosti na stupni ranosti). S vysokou dávkou dusíku se sice celkový obsah dusíku zvyšuje, protože se zvyšuje především nízkomolekulární složka: obsah volných aminokyselin a amidů – ke škodě kvality hlíz.

Obsah sušiny, škrobu a dusíkatých látek patří mezi mimořádně významné jakostní znaky ovlivněné vnitřní strukturou a chemickým složením hlíz u průmyslových brambor. Rozhodující kritéria kvality u tohoto užitkového směru a vlivy, které na ně působí znázorňuje schéma (obr. 5). Kvalita škrobu se vyznačuje především velikostí škrobových zrn a tzv. vydatností škrobového mazu. Méně významné jsou, podle Míči (1994), sloučeniny, které vytvářejí celkový obsah sušiny. Obsah dusíkatých látek by z technologického hlediska neměl být vyšší než 2,5 %. Odrůdy průmyslových brambor této hodnoty nedosahují a pokud nejsou nadměrně hnojeny dusíkem, není tato hodnota obvykle překračována.

Obr. 5. Schematické vyjádření rozhodujících kritérií kvality průmyslových brambor a základní vlivy působící na jejich úroveň (s výjimkou stanoviště) (podle Míči, 1994)



Ze schématu vyplývá, že odrůda ovlivňuje všechna kritéria vnitřní kvality a s tím související možnost využití průmyslových brambor. Podílí se tedy na obsahu škrobu zhruba 50 – 80 % podle rozdílnosti ekologických podmínek daných pěstitelských oblastí.

Závažným problémem je délka vegetační doby brambor. Je známo, že s kratší vegetační dobou klesá i obsah škrobu. Byla prokázána těsná korelace mezi obsahem škrobu a délkou vegetační doby, např. Z r ů s t (1988) zjistil pro soubor 22 odrůd korelační koeficient na úrovni 0,736, který byl vysoce průkazný. Znamená to, že rané a polorané odrůdy s požadovanou škrobnatostí – tehdy 16 % (dnes 17 %, V o k á l, 2004 uvádí již 18 %, Č í ž e k, 2004 kalkuluje rovněž s 18 % pro rentabilitu výroby průmyslových brambor) a s odpovídajícími hospodářskými vlastnostmi se získávají při použití šlechtitelského materiálu z našeho sortimentu odrůd obtížně.

V rámci odrůdy kolísá obsah škrobu podle velikosti hlíz. Malé hlízy mají nízký obsah škrobu. Avšak přerostlé a nezralé hlízy mají rovněž nižší obsah škrobu.

2. 3. Tuk

Energetická hodnota tuku obsaženého v bramborových hlízách je značně vysoká, ale v důsledku jeho velmi nízkého obsahu (0,1 %) v původní hmotě, neovlivňuje nijak podstatně celkovou kalorickou bilanci hlíz (0,8 kcal.....3,3 kJ) a představuje 1,1 % z celkové hodnoty hlíz (L a m p i t t a G o l d e n b e r g, 1940). Stejně hodnoty uvádí W o o l f e o v á (1987). Jódové číslo surového tuku extrahovaného petroletherem ze sušených brambor bylo 158-160, specifická hmotnost 1,0180 a refrakce 1,4801.

Tak zvaný hrubý tuk bývá rozdělován na tři frakce:

- 1) volné mastné kyseliny,
- 2) neutrální tuk,
- 3) fosfolipidy.

Při tomto způsobu dělení bylo prokázáno, že složení mastných kyselin bylo u všech tří frakcí poměrně shodné. Celkem bylo identifikováno 46 mastných kyselin počínaje C₇ až do C₂₄, z toho bylo 5 sřetězených, 17 nasycených, 12 jednoduše-, 11 dvakrát- a 1 třikrát nenasycená kyselina. Z tohoto počtu bylo pouze 7 mastných kyselin zastoupených přes 1 % v celkovém obsahu tuku. Nejdůležitější mastné kyseliny jsou kyselina linolová (cca 50 %), linolenová (20 %), palmitová (20 %) a stearová (5 %). V důsledku tohoto složení, kdy obsah nenasycených mastných kyselin je zhruba třikrát tak vysoký jako obsah nasycených, je možno očekávat, že bramborový tuk je velmi nestabilní vůči působení kyselin (M í č a, 1988). Jeho stabilita odpovídá zhruba stabilitě olivového oleje. Během skladování brambor se obsah jednotlivých frakcí tuku mění. Z tohoto důvodu je lepší zpracovávat na sušené výrobky čerstvě sklizené brambory, než brambory delší dobu skladované. I když je tuku v hlízách málo, přesto je vysoce kvalitní a jeho obsah přichází v úvahu především u sušených výrobků.

2. 4. Vitamíny

Vitamíny patří mezi faktory, které řadí brambory mezi potraviny zvláštního významu. Nejdůležitější vitamíny jsou vitamín C a některé ze skupiny vitamínů B: thiamin (vitamín B₁), riboflavin (vitamín B₂) a nikotinamid (vitamín PP, synonym pro vitamín B₃). V bramborách byly dále prokázány z vitamínů rozpustných v tucích karotenoidy (provitamíny A), tokoferol (vit. E), vitamín K, z vitamínů rozpustných ve vodě, mimo výše uvedených pyridoxin (vit. B₆), kyselina pantothenová (vit. B₅) a další. Podrobnosti s četnými citacemi uvádějí např. B u r t o n (1989), S t o r e y a D a v i e s (1991).

Značné výkyvy obsahů vitamínů závisejí mezi jiným na odrůdě a počasí. Vlivu půdy a hnojení se přikládá zvláštní význam (H a m n e r, 1945).

Největší pozornost je věnována obsahu vitamínu C, protože zejména v zemích s vysokou spotřebou brambor a u rodin s nižšími příjmy představují brambory důležitý zdroj vitamínu C z hlediska krytí celkové potřeby organismu. Vitamíny celkově jsou soustředěny více v dužnině hlíz, kolem cévních svazků, než pod slupkou (obr. 3). Během vegetace se obsah vitamínu C značně zvětšuje, avšak po dosažení maxima klesá (S h e k h a r *et al.*, 1978). Po uskladnění čerstvě sklizených hlíz na podzim nastává rychlý úbytek vitamínu C, který se v pozdější době skladování zpomaluje. Na jaře však zůstává v hlízách stále ještě 40 – 70 % původního obsahu vitamínu C. Změny v obsahu vitamínu C značně ovlivňují způsob přípravy brambor.

Obsah vitamínu C vytváří z brambor tzv. ochrannou potravinu. Brambory jsou schopny krýt potřebu organismu na ně takto: vitamín C – bylo již uvedeno, vitamín B₁ z 18,7 %, vitamín B₂ z 8,8 % a nikotinamid z 20 %. I zde platí, že šetrná úprava brambor má svůj význam při zachování jejich vitamínové hodnoty. Další podrobnosti o vitamínech jsou uvedeny v kapitole o antioxidantech.

2. 5. Barviva

Dužnina bramborových hlíz vykazuje v závislosti na odrůdě bílou až sytě žlutou barvu. Tato barva je přičítána obsahu karotenoidů a jejich různých forem. Slupka, ale i dužnina některých odrůd brambor vykazuje červené a modré zbarvení. Toto zbarvení je způsobeno anthokyany, které jsou rozpuštěny v buněčné šťávě buněk peridermu a ve vnější korové vrstvě. Blíže – viz kapitolu o antioxidantech.

Pod vlivem světla zbarvují se hlízy do zelena. Toto zbarvení je způsobeno tvorbou chlorofylu, tj. přeměnou leukoplastů na chloroplasty, přímo pod slupkou do maximální tloušťky 3 mm. Tvorba chlorofylu je závislá na teplotě. Zatímco nejpříznivější teplota je kolem 20 °C, při teplotě 4 °C i při silném osvětlení nedochází prakticky k tvorbě chlorofylu (A d l e r, 1971). V hlízách lze nalézt také flavonoly, flaviny a flavony. Všechna tato barviva, kromě chlorofylu, neovlivňují kvalitu hlíz. Preferování určité barvy dužniny (např. žluté) je otázkou spíše názoru spotřebitele, danou regionálními zvyklostmi.

2. 6. Enzymy

Enzymy jsou bílkoviny o vysoké molekulové hmotnosti. V některých případech jsou kombinovány s kovy nebo s jinými skupinami. Bývají klasifikovány nejčastěji na základě jejich funkce na hydrolázy, lyázy, transferázy, izomerázy, oxidoreduktázy a syntetázy. Znalosti o enzymech bramborové hlízy jsou dosud neúplné a přítomnost mnohých enzymů je dedukována na základě průběhu jejich reakcí, o nichž je známo, že je tyto enzymy katalyzují. Některé enzymy mají důležitost i z hlediska zpracovatelského průmyslu, jako např. polyfenoloxidáza. Tento enzym katalyzuje oxidaci tyrosinu na tmavě zbarvené produkty, jak bude uvedeno dále. Aktivita enzymů se mění během růstu hlíz, rovněž i mezi odrůdami je různá (B u r t o n, 1989).

2. 7. Minerální látky

Minerální látky, obsažené v bramborové hlíze, představují komplex mnoha prvků. L a m p i t a G o l d e n b e r g (1940, cit. dle B u r t o n a, 1989), jich uvádějí 25. Podobně jako ostatní látky jsou i minerální látky v hlíze nerovnoměrně rozloženy (obr. 3). Některé minerální látky jsou esenciálními katalyzátory metabolismu v rostlině, zatímco jiné jsou v hlízách přítomny jen proto, že byly přítomny v půdním roztoku s esenciálními prvky. Při průměrné spotřebě brambor 300 g jsou brambory schopny krýt potřebu železa z 21 %, fosforu z 9,6 %, vápníku z 3,4 % a draslíku z 80 %.

2.7.1. Draslík

Z toho vyplývá, že nejvýznamnějším prvkem je draslík, jehož obsah se v průměru pohybuje mezi 1,7 – 2,0 % v sušině a představuje zhruba 1/2 všech minerálních látek. Z hlediska dietetického působí draslík v bramborách pozitivně tím, že vyvažuje poměr K : Na ve stravě. Přítomnost draslíku v hlíze omezuje i výskyt tmavnutí po uvaření i enzymatické zbarvení vyskytující se při mechanickém poškození hlíz. Obsah draslíku hraje významnou roli i při vytváření celkové chuti hlíz. Bývá udáváno, že optimum N : K = 1 : 2,5 – 2,7. Posun tohoto poměru vede vedle jiných parametrů ke zhoršení celkové chuti hlíz. Draslík má velký význam i z hlediska fyziologie výživy člověka, protože vytváří z brambor zásaditou stravu a vyvažuje tak kyselé složky potravy, jako jsou tuky, maso apod. Vztah draslíku k sodíku je důležitý z hlediska regulace nervových pochodů v organismu. Draslík na rozdíl od sodíku potlačuje nervové vzněty.

Draslík (K) je významnou složkou zemské kůry. V litosféře je asi 1,9 % K, přičemž ve většině půd je jeho obsah nižší – kolem 1,2 %. Zvláště nízkou koncentraci mají také půdy s vysokým podílem organické hmoty.

Podle přehledu zpracovaného N á t r e m (2002) je K v půdě obsažen ve čtyřech formách:

- 1) K^+ v půdním roztoku. Tento K je bezprostředně absorbován kořeny rostlin. Koncentrace K^+ v půdním roztoku kolísá v závislosti na průběhu počasí, dávkách hnojiv i odběru rostlinami. Koncentrace v mnoha půdách dosahuje hodnot až kolem $100 \text{ g}_{K^+} \cdot \text{m}^{-3}$. K je jen vzácně vázán na organické sloučeniny, takže je převážně přítomen ve formě kationtu K^+ ,
- 2) Výměnný draslík. Tento K je poután negativními náboji na jílových částicích i organických látkách. Vedle Ca, Mg, Na, Al a H^+ patří K mezi prvky, které jsou ve výměnné formě nejvíce zastoupeny. Jeho množství v půdách kolísá od 40 do $500 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, přičemž množství odpovídající 150 mg_{K^+} v 1 kg půdy je považováno za dostačující pro zabezpečení výživy rostlin,
- 3) Těžce výměnný draslík. Tato forma K je vázána v jílových částicích a není bezprostředně dostupná pro ustavení rovnováhy s půdním roztokem. Teprve odstranění K z roztoku i z výměnné formy usnadňuje jeho přechod na výměnnou formu nebo přímo do roztoku. Také zvýšení koncentrace K^+ v roztoku např. po aplikaci hnojiva, indukuje zvýšení nejen výměnné, ale i těžce výměnné frakce. Množství těžce výměnné formy K^+ kolísá od nuly do 750 mg K v jednom kg, přičemž nejběžnější hodnoty se pohybují řádově kolem 200 mg K na 1 kg půdy,
- 4) Draslík v minerálech. V půdě se vyskytuje řada minerálů, které obsahují kolem 10 % K.

Draselné ionty přecházejí z jedné formy do druhé při každé změně jeho koncentrace. Přitom nejrychleji se ustavuje rovnováha mezi draslíkem v půdním roztoku a draslíkem výměnným, a to v průběhu několika minut. Naproti tomu dny až týdny trvá ustavení rovnováhy s těžce výměnným K. Nejpomaleji se ustavuje rovnováha s K v minerálech, takže často je tato forma K pro výživu rostlin prakticky nedostupná. Rostliny jsou schopny přijímat K z roztoku, kde se jeho koncentrace může měnit až o 3 řády. Kromě koncentrace K^+ v roztoku ovlivňuje příjem K^+ kořeny rostlin také teplota, světlo, provzdušnění a pH půdy, struktura kořenů, přítomnost ostatních iontů apod. Rozdíly byly také stanoveny mezi druhy i odrůdami rostlin.

V rostlinné fyziologii je K nejdůležitějším kationtem nejen z hlediska jeho obsahu v rostlinné tkáni, ale i ve vztahu k jeho fyziologickým a biochemickým funkcím. Jedním z jeho hlavních vlastností je vysoký stupeň příjmu rostlinnou tkání. K je v rostlině velmi mobilní a má značný význam pro vodní hospodářství rostlin. Patří mezi nejvýznamnější osmotika v rostlinách a má také význam při dlouhivém růstu buněk. Při nízkém zásobení K^+ byl snížen stupeň růstu, velikost buněk a obsah vody v tkáních. Z toho vyplývá, že v mladých

tkáních je K^+ nezbytný k získání optimálního turgoru buněk. Jiné procesy, jako je asimilace CO_2 , fosforylace a syntéza bílkovin, jsou méně citlivé na neodpovídající příjem K^+ . Zajímavou vlastností K^+ je, že se jeho hladina v průběhu života nemění. Jinou vlastností je jeho schopnost recirkulace v rostlině, což souvisí s jeho velkou pohyblivostí. Schopnost recirkulace K^+ též znamená, že se nemusí vždy přijímat ve stechiometrickém poměru s aniontem. Při vysoké spotřebě aniontů v metabolismu se nadbytečný K může vylučovat do půdního roztoku, což může probíhat také v podmínkách stresu rostliny, např. při nízké teplotě nebo suchu. Rostlina je tedy vybavena mechanismy, které jí umožňují udržovat hladinu K^+ na fyziologicky únosné úrovni a nelze tedy hovořit o jeho nadbytku v pletivech a tím méně o jeho škodlivosti.

Přes tyto poznatky není dosud fyziologická úloha draslíku dostatečně prostudována. Je známo, že K působí na syntézu bílkovin zejména tehdy, je-li v živném prostředí dostatek amoniaku. Výživa K podstatně ovlivňuje polymeraci sacharidů, čímž lze vysvětlit u brambor vysokou jeho spotřebu. K také aktivuje transport asimilátů z listů k reprodukčním orgánům, zvyšuje hydrataci protoplazmy a množství vázané vody. V přítomnosti K využívají rostliny při biosyntéze chlorofylu efektivněji železo. Přihnojením draslíkem lze odstranit chlorózu. Za přítomnosti dostatečného množství draslíku se zvyšuje odolnost nejen proti nízkým teplotám a suchu, ale i proti různým chorobám. Rostliny dobře zásobené K mohou snášet lépe období sucha, protože transpirace je snížena o 20 – 30 %. Oproti tomu při nedostatečném zásobení draslíkem je potřeba podstatně více vody na produkci stejného množství sušiny. Draslík aktivuje rovněž mnoho enzymů (dosud je známo, podle Nátra, 1998, přes 60 skupin enzymů aktivovaných draslíkem). Optimální aktivace enzymů vyžaduje vysoké koncentrace K^+ v buněčné šťávě, proto se nedostatečné zásobení draslíkem projeví jak na rychlosti fotosyntézy, tak i na výnosu hlíz. S nadbytkem draslíku se rostlina může vyrovnávat tak, že ho ukládá vedle již uvedených pochodů ve vakuolách buněk, kde draslík vystupuje jako významné osmotikum. Rostlina je tak schopna udržovat vysokou hladinu draslíku za podmínky vyvážení anionty.

Při nedostatku K^+ v půdě nastávají poruchy vodní bilance, trsy brambor mají tmavě zelený až modrozelený listový aparát zčásti s kovově bronzovými reflexy a vykazují zakrslý růst. Na nejstarších listech dochází k zesvětlení špiček a okrajů a vyskytuje se slabá mezižilní chloróza. Listy mají složený lžicovitý tvar podél hlavní žilky a dolů ohnutou špičku listů, která je lehce uvolněna. Stonky jsou slabé, nať uvadá. Porosty brambor polopozdních až pozdních odrůd předčasně ukončují vegetaci. V dužnině hlízy se vytvářejí šedé, modré až černé skvrny. Jedná se o abiotické šednutí dužniny, které znehodnocuje kvalitu hlízy.

Draslík zvyšuje průměrnou velikost hlíz, přičemž má vliv i použitá forma draselného hnojiva. Podíl větších hlíz (nad 55 mm) se zvýšil aplikací síranu draselného místo draselné soli. O vlivu draslíku na hmotnost hlíz byly nalezeny rozdílné údaje. Přesto lze říci, že vyšší dávky K zvyšují podíl hlíz o vyšší hmotnosti, zatímco forma draselného hnojiva neměla vliv. Hnojení K značně snižuje poškození hlíz. Funkce K se zřejmě uplatňuje tak, že podporuje tvorbu těch sloučenin, které zpevňují jak dužninu, tak i slupku bramborových hlíz.

Intenzita zbarvení hlíz za syrova (šednutí dužniny) se snižuje draselným hnojením. Bývá dáována souvislost i s obsahem draslíku v listech, a to tak, že procento nezabarvených hlíz se pohybuje mezi 7 až 27 % při obsahu K v listech pod 0,4 %. Při obsahu K v listech nad 0,5 % převládá podíl nezabarvených hlíz mezi 91 – 93 %. Hlízy, které obsahovaly méně než 2 % K, byly náchylné k šednutí, u hlíz s obsahem K nad 2,5 % nebyla pozorována žádná změna v zbarvení. Draselná sůl (zejména ve vyšších dávkách) působí příznivěji na snížení intenzity šednutí hlíz za syrova.

Cílem optimalizace jakéhokoliv opatření na úseku výživy brambor je především:

- dosažení potřebné úrovně výnosu
- zajištění kvality hlíz všech užitkových směrů
- rentabilita zvoleného zásahu
- šetrnost vůči životnímu prostředí
- návaznost opatření na systém hnojení.

Novější poznatky udávají, že vysoká dávka K zpravidla snižuje obsah sušiny, jejich efekt je však méně výrazný než je tomu u dusíku. Vysoké dávky K snižují obsah škrobu, přičemž při středních dávkách K není tento efekt výrazný. Pro obsah škrobu je příznivější síran draselný než draselná sůl. Při ovlivnění výše obsahu škrobu K je nutno brát v úvahu i schopnost odrůdy odebrat K z půdy a akumulovat ho v hlízách. Poznatky o vlivu K na obsah dusíkatých látek jsou rozporuplné, převládá však názor, že vyšší dávky K, zejména ve formě draselné soli, snižují jak celkový obsah dusíkatých látek, tak i obsah čisté bílkoviny.

Na základě mnoha pokusů bylo prokázáno, že zvyšující se dávky draslíku podporují snížení obsahu redukujících cukrů (Westermann *et al.*, 1994). Jedná se zde zřejmě o souvislost s aktivací systému podporujícího změny při hromadění sacharidů v hlízách.

K působí pozitivně na obsah vlákniny, jeho vliv však nebyl tak výrazný tehdy, když byly brambory pěstovány pod závlahou. Problematika zvyšování obsahu vitamínu C výživou není dosud zcela objasněna. Přesto se však zdá být vliv K na obsah vitamínu C pozitivní. K ve formě draselné soli byl oproti síranu draselnému méně výhodný. Vliv K na texturu hlíz se projevil snížením rozváření a snížením moučnatosti v důsledku snížení obsahu sušiny a škrobu.

Ovlivnění chuti K není zcela jednoznačné. Obecně se předpokládá, že K se uplatňuje dvěma způsoby:

- 1) vyšší obsahu draslíku
- 2) poměrem K k ostatním sloučeninám. Obecně bývá uváděno, že vyšší obsah K podmiňuje zdrsnění chuti vařených brambor.

Zvyšující se dávky K omezují intenzitu tmavnutí po uvaření, přičemž síranová forma draselného hnojení byla opět příznivější než forma chloridová.

Zdroje draslíku z hlediska krytí potřeb bramborových porostů jsou v podstatě tři:

- 1) zásoba draslíku v půdě
- 2) draslík z organických hnojiv
- 3) draslík z průmyslových hnojiv.

Při bilancování potřeby je nutno brát všechny tři zdroje v úvahu s tím, že v průměru na 10 t hlíz je nutné mít k dispozici kolem 66 kg č.ž. K, který je z více než 75 % „exportován“ z pole v hlízách.

S ohledem na obsah K v půdě byla pro hnojení brambor stanovena diferencovaná výše draselného hnojení (tab. 7). Při hnojení K je nutno brát v úvahu, že na půdách s nižší zásobou draslíku by měla část dávky sloužit k vytvoření odpovídající zásoby draslíku v půdě. Podle názoru Míči a Vokála (1995b) je účelné udržovat K v půdě (v hodnotách podle Mehliha) na úrovni kolem 130 – 205 mg K.kg⁻¹. Zároveň pak vytvořit předpoklady pro obsah fosforu kolem 75 – 100 mg a 105 – 140 mg hořčíku na kg půdy při půdní reakci v rozmezí 5,5 – 6,5 pH/KCl.

Tab. 7. Doporučené dávky draslíku pro hnojení brambor jednotlivých užitkových směrů pěstování k dávce hnoje 40 t.ha⁻¹ (podle Míči a Vokála, 1995b)

Užitkový směr	Dávka draslíku z hlediska jeho zásoby v půdě		
	malá	střední	dobrá
sadba	180	160	100
konzum	200	180	120
průmysl	160	140	80

Z hlediska draselných průmyslových hnojiv je:

- nejvhodnější formou forma síranová. V případě draselné soli je nutná aplikace na podzim, nejpozději však tři týdny před výsadbou
- z dodaného množství K pro brambory k dispozici v průměru pouze 50 – 60 %
- při podzimní aplikaci účelná zaorávka s fosforečnými a organickými hnojivy
- třeba výsledků rozborů rostlin v případě deficitu draslíku využít pro následná opatření, ne pro přímé dohnojení.

Z dosavadních poznatků je jednoznačně zřejmé, že nadměrné hnojení draslíkem bylo a je neúčelné a je nutná diferenciace dle zásoby této živiny v půdě. Při vyšších zásobách draslíku v půdě není oprávněná obava, že po vypuštění draselného hnojení dojde k poklesu výnosu hlíz nebo ke zhoršení kvality.

Aplikace draselných hnojiv při výživě rostlin výrazně ovlivňuje biogeochemický oběh tohoto prvku a do jisté míry působí i na výměnu ostatních prvků mezi složkami prostředí. Bližší o draslíku a životním prostředí uvádí M í č a a V o k á l (1995b).

Z hlediska ekologie je nutno, podle těchto autorů, mít při aplikaci draselných hnojiv na zřeteli tato fakta:

- a) chloridové anionty, vnášené do půdy v draselných solích, jsou příčinou snadného vyplavování některých kationtů ve formě solí do povrchových a podzemních vod
- b) výrazně se projevuje i vliv ostatních doprovodných aniontů (síranů) a kationtů (sodík, hořčík) vnášených do půdy s draselnými hnojivy
- c) většina zemědělských půd bramborářských oblastí má dobrou až vysokou zásobu přístupného draslíku. Zintenzivnění používání draselných hnojiv vedlo k tzv. luxusnímu příjmu draslíku, který negativně ovlivňuje příjem ostatních kationtů, především vápníku a hořčíku
- d) zvýšený oběh draslíku v půdě a v rostlinách je příčinou jeho zvýšeného obsahu v krmivech. Krmné dávky jsou draslíkem přetěžovány, což ovlivňuje zhoršení zdravotního stavu zvířat.

Závěrem možno uvést, že dávky draslíku by měly být voleny tak, aby vyrovnaly množství draslíku odebraného plodinou a ztráty způsobené vyplavováním. Množství draslíku odebraného z půdy značně závisí na úrovni výnosu a na stupni vyplavení. Příjem draslíku je však závislý i na dostupnosti draslíku. O příjmu draslíku rostlinami obecně se zmiňuje N á t r (2002).

Pohybem draslíku v půdě a jeho odběrem rostlinami bramboru během vegetace se zabývali M í č a a V o k á l (1997b). Složitost pohybu půdního draslíku ve vztahu k jeho odběru rostlinami bramboru sledovali v tříletém polním pokusu se šesti variantami s rozdílnými dávkami třech hlavních živin (N, P, K). Z pokusu uzavřeli, že obsah půdního draslíku i jeho formy se během vegetace mění v souvislosti s odčerpáním draslíku rostoucími rostlinami. Odběr draslíku byl sice výrazný a byl do jisté míry závislý i na dávce draselných

hnojiv, avšak v půdě zůstává relativně přijatelná hladina této významné živiny i při nižší dávce draselných hnojiv. V článku autoři uvádějí konkrétní výsledky z jednotlivých variant pokusu.

Analýzou variant vlivu draselného hnojení na vybrané ukazatele výnosu a kvality brambor při dvou, resp. třech (0, 40, 80 kg MgO.ha⁻¹) úrovních hořečnatého hnojení se zabýval v tříletém pokusu Č e p l (1994). Stupňované draselné hnojení (60, 120, 360 kg K.ha⁻¹) průkazně zvyšovalo výnosy hlíz velmi rané konzumní odrůdy Ostara a příznivě v tomto směru působilo i u pozdní průmyslové odrůdy Kamýk. Kvalita hlíz zastoupená zejména obsahem škrobu byla vlivem stupňovaných dávek draslíku průkazně snižována. Hořečnaté hnojení se projevilo vyšší měrou u odrůdy Ostara, přičemž byl při vyšší hladině Mg pozorován nejvyšší výnos hlíz, avšak reakce na stupňované dávky draslíku byla nejvyšší u nižší úrovně Mg. U odrůdy Kamýk byly naproti tomu nejvyšší výnosy docíleny u nižší úrovně Mg. Obsah sušiny zůstal u obou odrůd v rámci sledovaných úrovní hořčíku nezměněn, u odrůdy Ostara i v případě obsahu škrobu, u odrůdy Kamýk došlo u stupňovaných hladin hnojení hořčíkem dokonce ke zvýšení obsahu škrobu.

Zjištěné výsledky byly v souladu s tvrzeními, která upozorňují na snížení ukazatelů kvality vlivem vysokých dávek draslíku (V o k á l, 1989). Na druhou stranu se však plně nepotvrdila domněnka (M í č a, 1989), že draslík může snižovat obsah škrobu v důsledku zvyšujícího se obsahu vody v hlízách. Nebylo zaznamenáno průkazné snižování sušiny hlíz, které by signalizovalo zvýšený obsah vody v hlízách, pokud byl obsah škrobu vlivem stupňovaných dávek draslíku průkazně snižován. V pokusech byl částečně potvrzen poznatek o vzrůstající účinnosti plného minerálního hnojení při jeho doplnění hořečnatými hnojivy (R u b a n o v a V o j t o v a, 1970).

M u n z e r t a H e g e (1985) zjistili, že při zvyšování dávek draslíku až na 250 kg.ha⁻¹ došlo ke zvyšování výnosu hlíz a zachování stejného obsahu škrobu, naproti tomu S o m o r o w s k a (1987), která zkoušela dávky draslíku od 166 do 500 kg.ha⁻¹, zaznamenala negativní vliv obsahu sušiny, celkového dusíku i vitamínu C, ale naopak pozitivní vliv na snižování šednutí dužniny za syrova i tmavnutí po uvaření.

B a i e r a S m e t á n k o v á (1978) uvádějí zvýšení výnosu hlíz při aplikaci 166 kg K.ha⁻¹ na třech stanovištích s tím, že nejvyšší přírůstek byl pozorován na degradované černozemi ve srovnání např. s hnědou písčitohlinitou půdou. V literatuře se často poukazuje na antagonismus ve vztahu draslíku a hořčíku (M a t u l a, 1984).

2.7.2. Fosfor

Obecně patří fosfor (P) k minerálním živinám, jichž je v přírodních podmínkách vždy nedostatek pro dosahování vysoké produkce biomasy. Celkový obsah P v zemské kůře je asi 0,12 %. N á t r (2002) uvádí, že množství P v půdách kolísá od 0,02 % do 0,5 % s průměrnou hodnotou kolem 0,05 %.

P v půdě je tvořen těmito hlavními složkami:

1. P v půdním roztoku, a to především jako H₂PO₄²⁻. Při nižším pH roztoku převládá H₂PO₄⁻, zatímco při pH vyšším než 7,2 převládá HPO₄²⁻,
2. P adsorbovaný na povrchy anorganických půdních složek,
3. P ve formě amorfních nebo krystalických minerálů, které obsahují nejčastěji i vápník, hliník a železo,
4. P jako součást půdní organické hmoty. Poměr C/P v půdní organické hmotě je asi 100 a jeho obsah odpovídá 5 % organické hmoty.

V horní vrstvě půdy se vyskytuje kolem 1 000 kg P na jednom ha. To je poměrně málo, vezmeme-li v úvahu, že většinou je v podobě minerálů, odkud není přímo dostupný rostlinám, a že navíc je ročně se sklizní polních plodin odváděno 10 až 40 kg P z jednoho ha.

Fosfor je součástí mnoha významných sloučenin. Jsou to zejména fosfolipidy jako složky membrán, fosforylované sacharidy a bílkoviny, ribonukleová a deoxyribonukleová kyselina, adenyláty (NAD^+ , NADP^+) a sloučeniny ADP, ATP. Již tato skutečnost vypovídá o všudypřítomném výskytu a podílu fosforu na metabolických procesech, počínaje expresí genů až například po aktivaci H^+ -ATPáz.

P je důležitou součástí systému zabezpečujících přenos signálů na vnitrobuněčné i mezibuněčné úrovni. Mimořádný je význam P v reakcích souvisejících s využíváním a přeměnou energie.

Navození deficitu P snižuje přenos triózafosfátů z chloroplastu do cytozolu příslušným translokátorem. Zároveň je pak indukována syntéza škrobu v chloroplastech i syntéza sacharózy v cytozolu. Dlouhodobý deficit fosforu však vede k aklimaci rostlin (indukovaným změnám v rámci fenotypové plasticity jistého genotypu – rozdíl od adaptace), kdy je zabezpečena téměř normální funkce fotosyntetického aparátu několika mechanismy:

- a) zvyšuje se syntéza látek, které neobsahují fosfor, jako jsou jednoduché cukry, škrob nebo polysacharidy tvořící buněčnou stěnu,
- b) zvyšuje se aktivita fosfatáz,
- c) snižuje se tvorba molekul obsahujících fosfor, jako jsou fosfáty sacharidů nebo adenyláty.

Další podrobnosti o funkci fosforu v metabolismu rostlin, jakož i příjmu a distribuci P v rostlině uvádí N á t r (1998).

Fosfor je vedle dusíku nejdůležitější živinou, kterou brambory potřebují ke svému vývoji. Fosfor není jen podstatnou složkou četných látek obsažených v hlízách brambor, ale účastní se mnoha metabolických pochodů, které v rostlině probíhají během vegetace i v posklizňovém období v hlízách.

Obsah fosforu v půdách ČR kolísá v rozmezí 0,03 – 0,13 %. Většina fosforu je v půdě v pevné fázi (v anorganických vazbách 35 – 75 %, v organických 25 – 65 %) a jen velmi malý podíl je rozpuštěn v půdním roztoku ($0,02 - 1 \text{ mg.l}^{-1}$), popř. výměně sorbován. Pro výživu rostlin jsou důležité tři hlavní frakce fosfátů:

- 1) fosfát v půdním roztoku,
- 2) fosfát v labilní formě,
- 3) fosfát v nelabilní frakci

Podrobnosti o jednotlivých frakcích této živiny uvádějí M í č a a V o k á l (1995d).

Molekulární mechanismy regulující příjem a utilizaci fosfátu rostlinami jsou zatím známy jen velmi málo. Kořeny rostlin jsou schopny absorbovat P z roztoků o velmi nízké koncentraci. Obecně bývá udáváno, že obsah P v buňkách a xylémové šťávě je 100 – 1 000x vyšší než v půdním roztoku, což nasvědčuje tomu, že příjem fosforu rostlinnou buňkou probíhá proti příkrému koncentračnímu gradientu. Schopnost aktivního příjmu P se liší i mezi odrůdami, a je tedy s největší pravděpodobností fixována geneticky. Stupeň příjmu P je závislý i na pH. P přijatý rostlinnou buňkou se velmi rychle zapojuje do metabolických pochodů (za 10 min. po příjmu je 80 % přijatého P včleněno do organických sloučenin).

Pohyblivost P v rostlině je ve všech směrech dobrá, přičemž v průběhu vývoje rostliny je několikanásobně reutilizován a redistribuován. Příjem a metabolismus P je ovlivněn mnoha faktory, jakými je světlo a voda, teplota půdy i ovzduší (což jsou v podstatě podmínky fotosyntézy). Nedostatek vody snižuje intenzitu oxidačních fosforylací a narušuje tvorbu ATP. Nízká teplota půdy výrazněji snižuje intenzitu příjmu fosforu kořeny než nízká teplota ovzduší. Světlo působí pozitivně na příjem a metabolismus P. Při nedostatečném osvětlení dochází k narušení fotosyntetických fosforylací.

Hluboký nedostatek P v mnohém připomíná příznaky nedostatku dusíku. Rostliny mají značně zpomalený růst a často předčasně odhazují starší listy. Nedostatek P inhibuje růst listu výrazněji než tvorbu chlorofylů, což způsobuje tvorbu tmavších listů v důsledku zvýšeného

obsahu chlorofylů na jednotku plochy listů. Vzhledem k tomu, že fosfor je dobře transportovatelný, přesouvá se ze starších listů do mladších. Nedostatek fosforu se zvláště výrazně projevuje na tvorbě květů, semen a plodů i ve snížení odolnosti vůči mrazu. Podle současných poznatků vyžaduje celkový metabolismus rostliny trvalý příjem fosforu v průběhu celého vývoje rostliny.

Potřeba P je aktuální zejména během prvních fází vývoje bramborové rostliny, kdy je nutný rychlý rozvoj nadzemní části rostliny k zabezpečení vysokého výnosu. Značné množství P jsou nutná i k fosforylaci škrobu v bramborách. Hlízy rostlin starých 50 dnů obsahují pouze 23 % celkového P přijatého rostlinou, zatímco hlízy rostlin starých 123 dnů obsahují již 83 % celkového P. Procentické využití P klesá se zvyšující se dávkou fosforečného hnojiva. Další podrobnosti uvádějí M í č a , V o k á l (1995d).

Obecně platí, že P oproti N a K spíše podporuje zvýšení počtu hlíz. Objevily se však i poznatky, které popisují zvýšení podílu hlíz nad 51 mm o 9 % při zvýšení dávky P_2O_5 z 0 na $235 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$.

O ovlivnění hmotnosti hlíz P nejsou jednotné údaje. Vysoké dávky P snižují poškození (např. poškození bylo při dávce $80 \text{ kg } P_2O_5 \cdot \text{ha}^{-1}$ 24,4 %, ale při dávce 160 kg pokleslo na 21,7 %). Zbarvení syrových hlíz nebylo P hnojením oproti dusíkatému a draselnému hnojení ovlivněno.

Z vnitřní kvality hlíz byl obsah sušiny P hnojením nepatrně zvýšen, odezva na rozdíly ve výši dávek však nebyla výrazná. Obsah škrobu je obecně posuzován v úzké souvislosti s obsahem sušiny. Hnojení P se ve vztahu k obsahu škrobu uplatňuje dvěma směry:

1. zvyšuje obsah škrobu v hlízách,
2. zlepšuje kvalitu škrobu.

Při nízké dávce P je průměrná velikost zrn nižší, škrobnatost je rovněž nízká. Předávkování P se projeví pozitivně především v průměrné velikosti škrobových zrn. Fosfor, zejména při vysokých dávkách, snižuje obsah hrubé i čisté bílkoviny, částečně však zvyšuje obsah redukujících cukrů. Nebyl prokázán vliv P na obsah tuku a vlákniny. P však pozitivně ovlivňuje obsah vitamínu C. Kupř. P v dávce $112 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ způsobil značné zvýšení obsahu vitamínu C, jak v korkové vrstvě, tak i v dužnině hlíz. Vliv fosforečného hnojení na zbarvení syrové dužniny hlíz nebyl prokázán. Vyšší dávky P podporují rozváření hlíz a zvyšují jejich tzv. suchost. Je to zřejmě v souvislosti se zvýšeným obsahem škrobu. P částečně zlepšuje chuť vařených bramborových hlíz. Vliv P na intenzitu tmavnutí hlíz po uvaření není jednoznačný. Přesto však bylo zjištěno, že vyšší dávky P intenzitu tohoto typu zbarvení snižují.

Při optimalizaci výživy brambor fosforem si musíme být vědomi, že tato živina:

- urychluje vývoj a dozrávání rostlin,
- podporuje vývoj kořenového systému,
- kladně ovlivňuje biologickou hodnotu sadby.

Výsledný odběr P, tj. množství, které je nezbytné pro určitý výnos, představuje pouze $6,35 \text{ kg P}$ na 10 t hlíz, z toho 85,5 % je obsaženo v hlízách, ostatní množství zůstává na stanovišti. Z rozhodujících živin (N, P, K) je potřeba P relativně nejmenší.

Faktorů, které ovlivňují příjem fosforu rostlinou, je celá řada:

- obsah P v půdě
- P dodaný v organických a průmyslových hnojivech
- proměnlivost dalších ekologických faktorů, ovlivňujících příjem P
- interferenční vlivy při příjmu P a příjmová kapacita rostlin.

Pro výživu P jsou rozhodující tři zdroje: půda, organická hnojiva, včetně posklizňových zbytků a průmyslová hnojiva.

Jednoznačně rozhodující je P z půdní zásoby. Z pokusů vyplynulo, že P dodaný v superfosfátu byl využit z 13 – 13,9 % a že více pozornosti z hlediska fosforečného hnojení si zaslouží půdní prostředí než samotná plodina.

Z hlediska období zapravení fosforečných hnojiv lze doporučit podzimní období a společné zapravení s organickými hnojivy. Forma fosforečného hnojiva není příliš důležitá, dáváme však přednost vodorozpustným hnojivům. Příklady dávek průmyslových hnojiv pro jednotlivé užitkové směry brambor vyplývají z tab. 8.

Tab. 8. Příklady dávek průmyslových hnojiv (v č.ž. $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$) při dávce chlévského hnoje $40 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ (podle Míči, Vokála, 1995d)

užitkový směr	délka vegetační doby	N celkem	N z toho před sázením	P při střední zásobě v půdě	K při střední zásobě v půdě
množitelské porosty	rané	90	90	33	129
	polorané	65	65	37	
	pozdní	40	40	41	
pro výrobu škrobu a lihu	rané	100	90	37	112
	polorané	90	80	41	
	pozdní	70	60	44	
konzumní brambory	rané	110	100	28	129
	polorané	90	70	35	
	pozdní	70	50	41	

Z hlediska ekologie a interakcí sloučenin P je podle Míči a Vokála (1995d) nutno mít na zřeteli, že:

1. ztráty P vyluhováním jsou sice velmi nízké, avšak půda je přesto ochuzována o P ve velké míře erozivním smyvem a větrnou erozí
2. fosforečnany jsou spolu s dusičnany příčinou eutrofizace vodních toků a nádrží. Znečišťování těchto vod fosforečnany je v převážné míře způsobeno odpadními vodami měst a továren, obsahujícími fekálie a detergenty
3. s fosforečnými hnojivy se dostávají do půdy i těžké kovy (Cd, Pb, Zn)
4. dostatečné hnojení P zvyšuje rozpustnost arsenu a molybdenu. Na alkalických půdách bylo naopak zjištěno snížení rozpustnosti zinečnatých sloučenin.

Omezení hnojení průmyslovými hnojivy v posledních letech na minimum (u některých živin vůbec neprováděné) přináší riziko poklesu výnosů, zhoršení stability a kvality sklizní.

2.7.3. Vápník

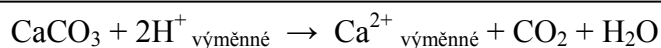
Vápník (Ca) je pátý nejhojněji zastoupený prvek v zemské kůře, v níž jeho obsah dosahuje 3,6 %. Půdy chudé Ca jej obsahují méně než 1 %, zatímco na vápenitých půdách jej bývá až 10 %. Jeho obsah závisí na mateřské hornině, stupni zvětrání a vápnění.

V půdě se Ca vyskytuje nejvíce ve své:

1. výměnné formě, mnohem méně pak
2. v roztoku
3. v různě rozpustných minerálech.

V roztoku je Ca^{2+} v rovnováze se svou výměnnou formou. Nejběžnější koncentrace Ca jsou od 20 do 40 mg Ca^{2+} na litr roztoku, neboli 0,5 až 1,0 $\text{mol}\cdot\text{m}^{-3}$.

V mnoha půdách převládá právě výměnná forma vápníkových kationtů. Hladina výměnné formy Ca se dá zvýšit vápněním, k němuž se nejčastěji používá uhličitán vápenatý nebo vápenatohořečnatý. V půdě se pak ustavuje rovnováha podle vztahu:



Z výše uvedeného vztahu je také patrné, že zvýšení pH na kyselých půdách se dá úspěšně dosáhnout vápněním, kdy se nejčastěji uplatňuje jemně mletý vápenec nebo dolomitický vápenec obsahující uhličitán vápenatohořečnatý. Tato úprava pH je zvláště účinná při kombinaci s vyšším organickým hnojením.

Rychlost příjmu Ca^{2+} je i ve srovnatelných podmínkách u různých druhů rostlin velmi rozdílná. Příjem Ca^{2+} je také negativně ovlivněn zvýšenou koncentrací Mg^{2+} , NH_4 a K^+ v roztoku.

Ca^{2+} není v rostlině retranslokován. Proto musí být během celé vegetace zajištěn trvalý přísun tohoto iontu. To je obecně dobře zabezpečeno v půdách, jejichž pH je vyšší než 5,3. Na celé zeměkouli však přibývá půd kyselých, takže zvyšující se potřeba vápnění vyžaduje stále větší náklady (N á t r , 2002).

Ca má mimořádnou roli v předávání signálů v rostlinné buňce. Po objevení kalmodulinu a dalších bílkovin vážících Ca^{2+} je vápník považován za významného posla při přenosu signálu v rostlinách. Podrobnosti i s odkazy na literární zdroje uvádí N á t r (1998).

Obsah vápníku se značně mění v závislosti na půdním typu, vlivu počasí a vyplavování. Zvětrávání primárních nosičů Ca značně závisí na tvorbě H^+ v půdě. Ionty vodíku a pravděpodobně i chelatizující činidla atakují vápník ve struktuře nerostů a způsobují tak rozpuštění nerostů a uvolňování Ca^{2+} do půdního roztoku. Stupeň vyluhování Ca^{2+} se zvyšuje s množstvím ročních dešťových srážek a s obsahem vápníku v nerostech půdy. Množství uvolňovaného vápníku se pohybuje v různých podmínkách kolem 200 – 300 kg Ca na ha. Vedle nerostů obsahujících Ca je podstatné množství Ca^{2+} adsorbováno na organické a organické půdní koloidy. Tento vyměnitelný Ca^{2+} má obzvláštní význam pro strukturu půdy. Ca podporuje koagulaci půdních koloidů, a tak zlepšuje půdní strukturu a stabilitu půdních částic. U půd, u kterých převládají jílovité minerály v poměru 2:1, je zhruba 80 % půdní výměnné kapacity saturováno Ca^{2+} . Přes tuto přirozenou zásobu vápníku v půdě je nutno vápníkem hnojit, podmínky a dávky je však nutno volit podle znalostí o funkci Ca v rostlině.

V pokusech sledujících příjem vápníku kořeny rostlin bylo prokázáno, že transport vápníku je oproti draslíku značně omezen na určité části kořenů. Zdá se, že příjem Ca je spíše pasivním procesem. Stejně názory jsou podle M í č i (1993) i na translokaci vápníku uvnitř rostliny, kde je v xylémové šťávě translokován směrem vzhůru s transpiračním proudem. Z tohoto důvodu intenzita transpirace do značné míry ovlivňuje stupeň translokace Ca směrem vzhůru, zatímco směrem dolů je stupeň translokace Ca velmi nízký. Jednou uložený Ca ve starých listech nemůže být mobilizován k rostoucím vrcholům, i když jsou v nich pozorovány symptomy nedostatku. Ovlivnění stability buněčných membrán vápníkem není důležité pouze z hlediska příjmu iontů, ale i v jiných metabolických procesech. Typické projevy stárnutí jsou např. podobné symptomům deficitu Ca a mohou být retardovány dodáním Ca. Byl popsán i výskyt nekrotických stolonech bramborových rostlin jako indikátor nedostatku vápníku. Tyto stolony pak nemohly přijímat živiny přímo. Stolony, stejně jako bramborové hlízy, musí mít možnost přijímat svým povrchem vápník, protože rozložení Ca v transpiračním proudu těchto orgánů je nedostatečné. Vápník byl přijímán buď prostřednictvím kořenů nebo byl aplikován na povrchovou plochu stolonů. Vápník, aplikovaný na stolony, byl při vysokém obsahu vlhkosti vzduchu v blízkosti stolonů transportován téměř výhradně ve směru nadzemních částí rostlin. Vápník je transportován

výlučně xylemem stolonů. Nebylo však prokázáno, že hlízy působí na akumulaci vápníku ve stolonech, jak se dříve předpokládalo. Poměr vápníku : draslíku má v rostlině vliv na rozdělení Ca a může vést v nepříznivém případě k nedostatku Ca zejména tehdy, nemůže-li ho rostlina při malé nabídce draslíku zcela využít. Akutní nedostatek vápníku, zjistitelný bodovými nekrotizacemi na špičkách stolonů, vede ke snížení výnosu hlíz. Uloží-li se příliš málo vápníku do středních lamel buněčných stěn hlíz, klesá jejich skladovatelnost. Protože Ca je přijímán z půdního roztoku pouze konci kořenů, lze očekávat u každého faktoru, který zabraňuje růstu nových kořenů, že tento faktor bude bránit příjmu vápníku a vyvolá tak jeho deficit. Bylo pozorováno, že byl vyvolán deficit Ca i na půdách úměrně zásobených Ca a ovlivňujícím faktorem příjmu Ca se tak stalo počasí.

Vápník se vyskytuje v tkáni rostliny jako volný Ca^{2+} , jako Ca^{2+} adsorbovaný na nedifundující ionty. Je též přítomen ve šřavelanech, uhličitanech a fosfátech. Poměr mezi volným a vázaným vápníkem je důležitý při zrání plodů a je spjat se vzestupem produkce etylenu.

Vápník se v rostlině podílí na četných metabolických pochodech, nutných pro tvorbu a zpevnování podpůrné tkáně a v rostlině neutralizuje organické kyseliny. Má význam i pro dělení buněk a je přítomen v důsledku toho vždy i v embryonálních tkáních. V první řadě však vápník slouží ke zlepšení půdní struktury a k regulaci půdní reakce. Je známo, že brambory dávají přednost slabě kyselé půdní reakci. Lehké půdy s malým podílem humusu inklinují snadno k překyselení, což vede k poškození růstu a k depresi výnosů. V takovém případě je vápnění základem normálního růstu rostlin a příznivě ovlivňuje příjem ostatních živin. Následný účinek zlepšení půdních podmínek vápněním a přímý příznivý vliv vápníku poutaného v sorpčním komplexu se projeví v určitých případech (při zvýšené kyselosti půdy) i ve zlepšení kvality brambor. Přímé hnojení vápníkem k bramborám však není tak jednoduché, jak vyplývá z dalšího.

V pokusech s výživou rostlin, kterých se zúčastnil i citovaný autor (M í č a , 1993) byl prokázán pozitivní vliv Ca na škrobnatost a na podstatné zvýšení podílu velkých škrobových zrn na úkor zrn malých a tím i na výtěžnost a kvalitu škrobu ve škrobárnách. Příčina ovlivnění velikosti škrobových zrn vápněním spočívá v přímém specifickém účinku vápna jako živiny a ve zpřístupnění většího množství kyseliny fosforečné v důsledku vápnění. Současně s těmito výsledky byl konstatován i přímý vliv vápnění na odolnost brambor proti houbovým a virovým chorobám.

Význam Ca se však neuplatňuje pouze při metabolických pochodech v hlízách, ale i při fyzikálních a fyzikálně chemických reakcích probíhajících např. při tepelné úpravě hlíz. Je známo, že rozpad hlíz bramboru při vaření (rozváření) může být omezen přidávkou vápenatých iontů do vody, ve které budou hlízy vařeny. Předpokládá se, že změny v pevnosti hlíz mohou být výsledkem interakce mezi ionty a karboxylovými skupinami pektinových látek střední lamely mezi buňkami. Z toho důvodu má značný význam i studium rozdělení vápenatých iontů mezi pevnou a kapalnou částí bramborové hlízy.

Z výsledků pokusů, kterých se posledně jmenovaný autor zúčastnil, vyplynulo, že ve fázi plného květu rostliny se u variant s odstupňovanými dávkami dusíku podíl vápníku v pevné části hlízy snižoval. Přídavek vápníku v dávce $355 \text{ kg Ca} \cdot \text{ha}^{-1}$ snižoval podíl vápníku v pevné části hlízy až do výše dávky dusíku $160 \text{ kg č.ž. N} \cdot \text{ha}^{-1}$. Ve variantě s nejvyšší dávkou N ($200 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) došlo k nečekanému zvýšení podílu vápníku. Dvojnásobná dávka Ca ($710 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) zvýšila podíl vápníku ve spojení se všemi variantami dusíku oproti dávce Ca $355 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$.

U zralých hlíz se u většiny variant podíl vápníku v pevné části hlízy v porovnání s fází odkvětu snížil. Pevná část hlízy představuje prakticky všechny sušinitvorné látky a současně představuje i celkovou buněčnou stavbu, která vytváří vlastní dužninu hlíz. Obsah vápenatých iontů v hlízové vodě pak představuje tu složku, která může být balastní, avšak současně to může být i podíl, který je obsažen v rozpustných sloučeninách. Výsledky současně ukázaly,

že podíl vápníku v pevné části hlízy je relativně stabilní u zralých hlíz a že vápenaté hnojení nezasahuje výrazně do jeho hodnoty.

Z rozsáhlých pokusů prováděných ve Výzkumném ústavu bramborářském, které se zabývaly po několik let problematikou vlivu vápníku na kvalitu a výnos brambor, vyplynulo, že:

- z hlediska hmotnosti hlíz působilo vápnění negativně u raných odrůd, zatímco u pozdních odrůd příznivě působilo na hmotnost hlíz,
- vápnění nepřesvědčivě zvýšilo hmotnost čerstvé natě pouze u raných odrůd, u pozdních odrůd se prakticky neprojevovalo,
- z poloprovozních pokusů bylo zjištěno, že přímé vápnění není nejvhodnější a že účelnější je vápnění po sklizni brambor či k jiným plodinám osevního sledu,
- chemické složení se měnilo jak v nati, tak i u kořenů vlivem způsobu aplikace vápníku i jeho dávky. Tyto změny však byly současně závislé na vegetačním roku, způsobu aplikace vápníku, v menší míře i na výši jeho dávky a v neposlední řadě i na odrůdě. Obsah základních živin (N, P, K) se spíše zvyšoval po aplikaci vápníku. Tendence ke zvýšení obsahu vápníku v nati a v kořenech byla logickým důsledkem přidavku vápníku do prostředí. Jednoznačná závislost však nebyla zvýrazněna, což lze vysvětlit jak všemi faktory ovlivňujícími jeho příjem, tak i malou pohyblivostí vápníku v transpiračním systému rostliny,
- při hodnocení složení hlíz hraje důležitou úlohu okolnost, jak ho přídavek vápníku ovlivní a jak ovlivní zároveň i výnos hlíz. Z hodnocení průmyslových odrůd vyplynulo, že vápník jako celek působil příznivě na tvorbu škrobu.

2.7.4. Hořčík

V litosféře je hořčík (Mg) osmý nejhojněji se vyskytující prvek s průměrným obsahem asi 2,1 %. Díky rychlému zvětrávání relativně rozpustných hořečnatých minerálů je v půdách jeho obsah jen kolem 0,5 % s velkým kolísáním oběma směry. S vyšším obsahem jílu obvykle stoupá i obsah Mg.

V půdě se Mg vyskytuje:

1. v půdním roztoku. Obsah Mg^{2+} v půdním roztoku kolísá nejčastěji od $5 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$ do $100 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$ s průměrnou hodnotou 26 až $30 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$ odpovídající 1,09 až $1,25 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-3}$,
2. jako výměnný kationt. Spolu s Ca^{2+} se Mg^{2+} podílí více než 60 % na celkovém množství všech výměnných kationtů v půdách, jejichž pH převyšuje hodnotu 5,5. Zbývající podíl tvoří protony hliníků, sodíků a draslíků. Podíl této formy Mg na celkovém množství v půdě kolísá mezi 20 a 60 %. Převod Mg do půdního roztoku většinou předchází absorpci výměnných iontů kořeny rostlin,
3. v půdních minerálech. Jsou to zejména uhličitany, křemičitany, sírany a další,
4. v půdní organické frakci.

Rychlost příjmu Mg rostlinami je asi poloviční ve srovnání s rychlostí příjmu K^+ a je snižována přítomností Ca^{2+} . Další podrobnosti uvádí N á t r (2002).

Význam Mg v rostlině je mnohostranně spojen s fotosyntézou, a to nejen jako složky chlorofylu, ale také pro jeho podíl při utváření gran a světlosběrných pigmentů v chloroplastech, kde je lokalizováno až 20 % veškerého Mg. Při ozáření listů je hořčík z lumenu tylakoidů transportován do stromatu, kde se podílí na aktivaci enzymu Rubisco (karboxylační enzym ribulóza-1,5-bifosfátkarboxyláza/oxygenáza). Kromě toho také fruktóza-1,6-bifosfatáza vyžaduje Mg, který tak spolurozhoduje o využívání asimilátů, nebo v syntéze škrobu.

Hořčík se účastní syntézy bílkovin a DNA-polymeráza je aktivována Mg.

Vliv rychlosti transpirace se projevuje jen při vyšších koncentracích Mg v roztoku. Předpokládá se, že v důsledku aktivního příjmu Mg i Ca při jejich nízkých koncentracích v roztoku nedochází k vzájemnému ovlivnění příjmu těchto dvou iontů. Příjem Mg, v menší míře také Ca, je inhibován i zvýšenou koncentrací K^+ v roztoku. Stejně působí také NH_4^+ .

Hospodářská zvířata krmená pící s nízkým obsahem Mg mohou trpět hypomagnesemií, která se postupně může projevit i u člověka. Deficit Mg se také považuje za jednu z příčin odumírání lesů.

Rostliny vesměs přijímají srovnatelně stejná množství Mg a Ca. Protože Ca je na výměnných místech poután pevněji než Mg, musí být jeho množství v půdě vyšší, aby se uvedený srovnatelný poměr Ca/Mg v rostlinách vytvořil.

2.7.5. Molybden

V litosféře se molybden (Mo) vyskytuje v množství menším než většina ostatních mikroživin, a to 2,3 mg na 1 kg. Přitom obsah Mo v půdách kolísá od 0,2 do 36 mg na 1 kg. Mo se vyskytuje nejčastěji v minerálech, v organické, adsorbované čili labilní formě a v roztoku. Půdní organická frakce obsahuje více Mo než kolik je obsaženo v minerálech. Je to důsledek mikrobiálního rozkladu, protože v samotných rostlinách je 0,5 až 14 mg Mo na 1 kg. V půdním roztoku pak koncentrace Mo klesá pod 10 μg v 1 litru, a to ve formě molybdenanu MoO_4^{2+} .

Obsah Mo v rostlinách se pohybuje kolem 1 až 2 mg na 1 kg hmotnosti sušiny. Byly však stanoveny i hodnoty 20 mg Mo v 1 kg sušiny rostlin. Maximální rychlost příjmu Mo kořeny činila 0,04 mol $\cdot g^{-1}$ (svěžší hmotnosti) $\cdot h^{-1}$ a byla snižována zvyšujícími se hodnotami pH roztoku. Obecně je k dispozici poměrně málo prací jak konstatuje N á t r (2002), aby mohly být odvozeny obecné závěry.

První důkaz o biologické úloze Mo byl podán ve 30. letech minulého století, kdy Bortels podle L e n e r a (1984) zjistil, že bakterie *Azotobacter chroococcum* vyžaduje k asimilaci plynného dusíku v živném médiu stopy Mo. Nejdůležitější úlohou Mo v biochemických reakcích je jeho účast při utilizaci anorganického dusíku pro tvorbu proteinů, nukleových kyselin a dalších dusíkatých součástí buněk. K metabolické asimilaci nitrátů na čpavek, která probíhá jak známo ve dvou stupních: 1. redukce dusičnanů na dusitany (katalyzována nitrátreduktázou), 2. redukce dusitanů na čpavek, je třeba Mo, který obsahuje enzym nitrogenázu, jež oba procesy katalyzuje. Z těchto hledisek zastává Mo klíčové místo při inkorporaci dusíku do rostlin a tím i do zvířat. Odhaduje se, že takto je do rostlin inkorporováno ročně kolem 10^{10} t dusíku. Je proto třeba pohlížet na Mo jako na jeden z nejdůležitějších biologicky aktivních kovů.

2.7.6. Zinek

Průměrný obsah zinku (Zn) v litosféře činí 80 mg v 1 kg s kolísáním od 10 do 300 mg $\cdot kg^{-1}$. Vyšší obsah Zn se vyskytuje v půdách jílovitých nebo v půdách s vysokým obsahem organických látek. Poměrně nerozpustné minerály obsahují až 90 % Zn v půdě. Jedná se převážně o sulfidy, uhličitany nebo křemičitany. V půdním roztoku činí koncentrace Zn ve formě Zn^{2+} 0,025 až 0,25 g (Zn) $\cdot m^{-3}$, což odpovídá 0,4 až 4,0 μmol (Zn) $\cdot m^{-3}$. Srovnatelná množství se vyskytují také ve formě výměnného Zn. Kromě toho se v půdním roztoku i v organické frakci vyskytují komplexy zinku.

Příjem Zn kořeny rostlin je aktivní, protože je inhibován nízkou teplotou i metabolickými inhibitory. Rychlost jeho příjmu je inhibována vysokými dávkami fosforu, které zároveň inhibují výskyt mykorhizy. Z toho lze podle N á t r a (2002) odvodit, že mykorhizní houby se také podílejí na příjmu Zn kořeny rostlin. Zatím je rovněž k dispozici příliš málo údajů o kinetických parametrech příjmu Zn.

Člověk užívá zinek (Zn) více než 2 000 let. Staří Římané mísili zinkovou rudu s mědí a získávali mosaz. Od konce 16. století se začal Zn dovážet z Indie a Číny do Evropy. Produkce Zn ve světě neustále stoupá. V minulosti se uváděl roční nárůst 5%. Roční celosvětová produkce např. roku 1972 činila 5,5 mil tun, jak v přehledu uvádí C i k r t (1984).

Zinek je nezbytný pro funkci různých savčích enzymů. Bylo již identifikováno mnoho metaloenzymů obsahujících Zn nebo enzymových systémů na zinku závislých (alkoholdehydrogenáza, alkalická fosfatáza, aldoláza, laktátdehydrogenáza, RNA a DNA polymeráza, reverzní transkriptáza, karboxypeptidáza A, B, G a další). Zn se vyskytuje prakticky ve všech rostlinných a živočišných tkáních. Zn ovlivňuje aktivitu mnoha enzymů glycidového metabolismu, včetně Rubisco, a je důležitý při syntéze bílkovin i fotosyntetických pigmentů.

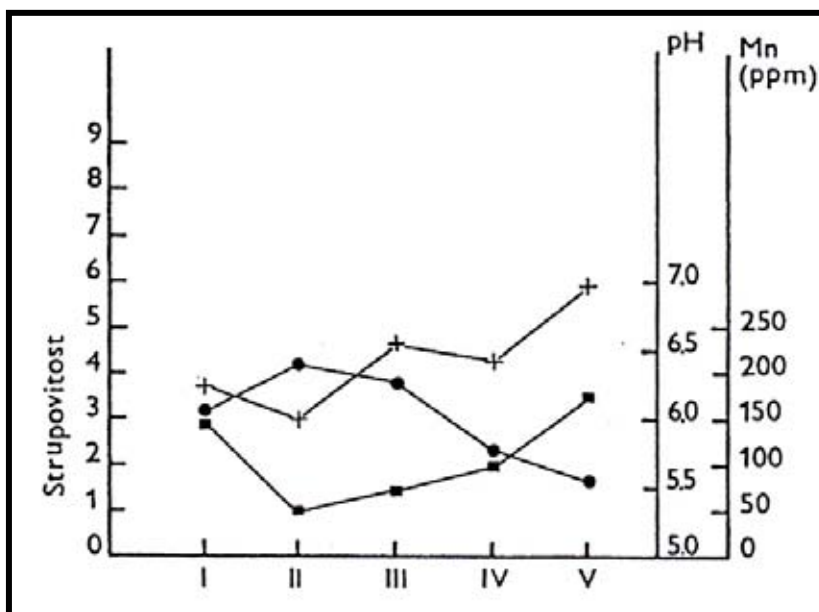
Teplotu kořenové zóny ve vztahu k příjmu Zn a také Cu, kumulaci těchto prvků v tkáních a celkovou tvorbu biomasy v odrůdě brambor Spunta studovali B a g h o u r *et al.* (2002). Milačić a Kralj (2003) analyzovali obsah Zn a dalších pěti prvků v některých potravinách ve Slovinsku. Určením koncentrací Zn a dalších 8 prvků (Na, K, Rb, Ca, Mg, Fe, Cu a Mn) v osmi odrůdách brambor sklizených na Tenerife se zabývali R i v e r o *et al.* (2003). Vliv deficitu Zn a B u rostlin bramborů, které byly pěstovány ve skleníku, na jejich hormonální stav ve vztahu k tuberizaci zkoumal P u z i n a (2004).

2.7.7. Mangan

Mangan poprvé připravil r. 1774 Gahn. Je to jeden z mála kovů, který nenalezl v čistém stavu technické uplatnění, jak uvádí B e n c k o a C i k r t (1984). Hlavním zdrojem emisí Mn do ovzduší je spalování uhlí a metalurgie. Ve volném ovzduší se nejčastěji nalézá v rozmezí koncentrace 0,05 – 0,2 $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$.

Mangan (Mn) lze využít při pěstování brambor v rostlinolékařství. Mangan působí toxicky na streptomycet *Streptomyces scabies* (Křišťůfek a Hausvater, 1993). Hnojení manganem se projevuje ve zvýšení prvku v pokožce hlízy, což vede k výraznému potlačení strupovitosti (obr. 6).

Obr. 6. Vliv rozpustného manganu (Mn^{2+}) v půdě na napadení hlíz bramboru strupovitostí (odrůda Desirée, stanoviště Marietapuszta, r. 1989) (podle Křišťůfka a Hausvatera, 1993)



Vysvětlivky: I až V – místa odběru vzorků půdy a hlíz bramboru z jedné experimentální plochy, strupovitost (■) 1 – nenapadeno, 9 – napaden celý povrch hlízy, pH (H₂O) (+), mangan (Mn^{2+}) (●)

Zvýšený obsah rozpustného Mn^{2+} v půdě se projevilo ve snížení napadení hlíz brambor strupovitostí. Toxické působení manganu na *S. scabies* je ovlivněno hodnotou pH půdy. Obsah výměnného manganu se snižuje se zvyšováním alkality půdy. Jednalo se o výsledky společných experimentů výše uvedených autorů ve spolupráci s pracovníky Zemědělské univerzity v Keszthely (Maďarsko).

Při porovnání podmínek, které jsou vhodné pro růst původce strupovitosti brambor (alkalická reakce půdy, vysoké teploty, sucho) a podmínek pro rozpustnost manganu v půdě se zjišťuje, že tyto jsou naprosto nevhodné pro rozpustnost manganu v půdním prostředí. Brambory jsou často pěstovány na lehkých písčitéch půdách, dobře provzdušených.

Vápněním půdy, kterým se změnil např. kyselost ze 4,5 na 6,5 se zároveň snížil obsah výměnného manganu dvacet až padesátkrát. Naopak v některých půdách můžeme zaznamenat toxické působení manganu na brambory (snížený výnos), jestliže byly použity dávky $MnSO_4$ $125 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$.

2.7.8. Selen

Jak již bylo uvedeno, značný význam mají z hlediska nutriční hodnoty bramborových hlíz i mikrobiogenní prvky, mezi nimi v neposlední řadě i selen. Selen působí společně s vitamínem E v buněčném antioxidačním obranném systému tak, že zastavuje reakce volných radikálů.

V současné době se zejména poukazuje na nedostatek selenu, u kterého není zajištěn odpovídající denní, či týdenní přívod. Selen je „ultrastopový“ prvek a je považován za významný esenciální nutriční faktor. Rozhodující podíl selenu v poživatinách je dán jeho koncentrací v systému půda – rostlina. Obohacením tohoto systému může dojít ke zvýšení nutriční hodnoty nejen z hlediska spektra aminokyselin, ale i z pohledu vyššího obsahu selenu.

Mezi jinými zjišťovali K o u r e k *et al.* (1996) v nádobovém pokusu, do jaké míry se v důsledku půdní aplikace čtyř různých koncentrací selenu ovlivní obsah dusíkatých látek a aminokyselin v hlízách bramboru. Odstupňované dávky selenu (0 [kontrola], 3, 6, 12, 24 mg $\text{Se} \cdot \text{kg}^{-1}$) u dvou nejvyšších dávek signifikantně prokázaly zvýšení obsahu nejen esenciálních a podmíněně esenciálních aminokyselin, ale i některých neesenciálních aminokyselin. Konkrétně obsah asparagové kyseliny se průkazně zvýšil u variant Se s koncentracemi 6 a 12 ppm, u var. 24 ppm Se došlo k výraznému poklesu oproti ostatním variantám, včetně kontroly. Obsah prolinu se postupně zvýšil až do výše 6 ppm Se, u variant s vyššími obsahy Se došlo k výraznému poklesu. Nejvyšší obsah argininu byl ve variantě s nejvyšším obsahem Se (24 ppm). Obsah glycinu a alaninu se v závislosti na odstupňovaných dávkách Se téměř neměnil. Serin dosáhl nejvyšších hodnot při koncentraci 3 ppm Se, což bylo ve srovnání s kontrolní variantou velmi výrazné zvýšení. Zřetelný nárůst leucinu a valinu byl zaznamenán při koncentraci 6 ppm Se. Obsah lysinu nevykazoval podstatné rozdíly v porovnání s kontrolní variantou. V případě phenylalaninu došlo ke zřetelnému poklesu u var. s 12 a 24 ppm Se. Nárůst v případě isoleucinu u var. 6 a 12 ppm Se byl velmi výrazný. Obsah threoninu a histidinu byl průkazně vyšší ve var. se Se oproti kontrole.

Selen vstupuje do rostlin především do proteinové frakce v podobě selenových aminokyselin, zejména jako selenomethionin a selenocystein. Ve všech variantách byl zvýšen obsah selenové aminokyseliny cysteinu oproti kontrole. U var. s přídatkem 6 ppm Se byl v porovnání s kontrolou nárůst vyšší více než 50 %. Naproti tomu se obsah methioninu prakticky ve variantách Se neměnil, nejvyšší byl u kontroly. Autoři potvrdili, že Se vstupuje při vyšších koncentracích v rostlině do reakce s cysteinem a vytváří selenovou aminokyselinu,

tn. selenocystein. U methioninu tuto vazbu neprokázali. V práci také graficky vyjádřili celkové obsahy esenciálních, podmíněně esenciálních a neesenciálních aminokyselin.

Také Koutník *et al.* (1997), kteří se podíleli na zpracování stejného pokusu, doporučují zvyšovat v bramborách, které jsou plodinou která významně přispívá k soběstačnosti ve výrobě potravin, nejen obsah bílkovin (zvláště esenciálních aminokyselin), ale také řešit nedostatek selenu již v počátku potravního řetězce, tzn. aplikací ve formě hnojiva v systému půda – rostlina.

Rovněž v zemích západní Evropy se v posledních 20. letech stále ve větším rozsahu aplikují v rámci hnojení sloučeniny selenu. Selen (Se) jako seleničitan sodný (Na_2SeO_3) nebo selenan sodný (Na_2SeO_4) ve stopovém množství zvyšuje výnosy hospodářských plodin. Často ani není smyslem nárůst výnosů, ale vyšší nutriční hodnota rostlinné hmoty, popřípadě potravin. Selen je pro živočišný i lidský organismus esenciálním prvkem, ale na druhé straně ve vysokých koncentracích způsobuje selenotoxikózy.

Studovaný prvek vstupuje obdobným způsobem jako síra do biologických materiálů, kde však vykazuje vyšší fyziologickou aktivitu. V tomto smyslu byl sledován Koutníkem (1993) vliv odstupňované dávky Se na aktivitu enzymu nitrátreduktázy (ENR) u rostlin ovesa setého (*Avena sativa* L.).

Rostlinou přijaté dusičnany mohou vstoupit do látkových přeměn pouze po redukcí na dusíkaté sloučeniny s nižšími oxidačními čísly (dusitany, amonium). Amoniakální forma dusíku se pak zabudovává do organických molekul v rámci proteinové složky. Rychlost a množství vzniklého proteinu je dáno aktivitou ENR. ENR je tedy činitelem podmiňujícím výtěžek suché hmoty. Nitrátreduktáza je enzym flavoproteinového typu s molybdenem v molekule.

Práce autora ukázala na možnost ovlivnit aktivitu ENR různými dávkami Se ve smyslu vyšší produkce biomasy ovesa setého včetně výnosotvorných prvků. Při nižších aplikovaných koncentracích docházelo ke stimulaci aktivity ENR a tím následně i k vyšší produkci slámy i zrna. Příliš vysoké koncentrace Se v půdním prostředí naopak způsobovaly inhibici, popřípadě retardaci sledovaného enzymu tak, že se získávala signifikantně nižší hmotnost sušiny biomasy z odběrů během vegetace i nižší hmotnost slámy a zrna na konci ontogeneze.

Tato realita v rostlinném pletivu odpovídá situaci v živočišném organismu, kdy vyšší koncentrace v rámci optima působí příznivě a naopak nedostatek, popřípadě příliš vysoká koncentrace Se způsobují zdravotní potíže.

Pokusy prokázaly, že vstupem Se v optimálních koncentracích do rostlinného pletiva lze kladně ovlivnit aktivitu enzymu nitrátreduktázy. Tím je možné dosáhnout vyšších ukazatelů jak kvantitativních, tak i kvalitativních.

Vliv ošetření Se na růst bramborů a koncentrace rozpustných cukrů a škrobu zpracovali Turakainen *et al.* (2004). V souvislosti se selenem také pozorovali posledně jmenovaní autoři u bramborů oxidativní stres (Seppanen *et al.*, 2003). Stav 11 stopových prvků včetně selenu v hlavních potravinách při jejich zpracování sledovali Bruggemann a Kumpulainen (1995). Metodickou práci při stanovení Cu, Zn, Pb, Cd a Se v bramborách použitím potenciometrických metod provedli Dugo *et al.* (2004).

Na závěr této části uvádím ještě některé práce z poslední doby. Krátkodobé vlivy rozdílných postupů hnojení byly cílem tříleté řady pokusů, ve kterých byly sledovány koncentrace minerálních složek, vitamínu C a „tmavnutí bramborového extraktu“ (Roñila *et al.*, 2003). Vyhraněné rozdíly mezi opakováními ukázaly pouze malé statistické průkaznosti mezi pokusnými variantami. V souvislosti s redukcí cukrů, aminokyselinami a dalšími látkami byl sledován Moinddinem a Umarem (2004) vliv kombinované aplikace K a S na výnos, kvalitu a chování hlíz při skladování. Vliv hnojení dusíkem na kvalitu hlíz brambor (specifickou hmotnost, obsah škrobu a proteinu, jakož i kyseliny askorbové) v nádobových pokusech zkoumali Lin *et al.* (2004).

2. 8. Organické kyseliny

Vedle aminokyselin, které se podílejí na tvorbě aromatických látek a ovlivňují tak výslednou chuť brambor, a mastných kyselin byly v hlízách prokázány další organické kyseliny: kyselina citrónová, isocitrónová, jablečná, pyrohroznová, vinná, šťavelová, fytinová apod. Mnohé kyseliny jsou účastny ve fyziologických reakcích rostlin a hlíz, jiné jsou přechodného charakteru a jsou přítomny pouze v malých množstvích. Organické kyseliny jako celek ovlivňují aciditu hlízové vody brambor stejně tak, jako její dobrý pufrovací účinek. Hodnota pH hlíz leží mezi pH 5,6-6,5. Vysoký obsah kyseliny citrónové a jablečné (až 1 % původní hmoty) má významnou úlohu v celkovém biochemismu rostlin. Hodnota pH vařených brambor má chuť i vůni rozhodující význam. Tato hodnota podporuje specifické projevy jiných chuťově významných látek (Buri, 1971). Hodnota pH podporuje dále enzymatické pochody probíhající při vaření brambor, zejména v jeho počátku, které vedou k uvolnění chuťových látek.

Podrobněji o těchto látkách bude zmíněno v kapitole: „Antioxidanty“.

2. 9. Aromatické látky

Většina aromatických látek vzniká teprve při zahřívání brambor. Průběh reakcí jejich vzniku je však velmi málo znám (Míča, 1988). Bývá uváděno (Buri, 1971), že významnou složkou vůně brambor jsou těkavé sirné sloučeniny. Zhruba 90 % těkavých sirných sloučenin je tvořeno dimethyldisulfidem a methylmerkaptanem. Těkavé sirné sloučeniny vznikají především odbouráním sirných aminokyselin. Reakcí cukrů (především fruktózy) s aminokyselinami vznikají těkavé aldehydy s krátkým řetězcem. Aldehydy a ketony s dlouhým řetězcem vznikají autooxidací tuků (Buttery, 1973). Pokud jsou brambory zpracovávány na zušlechtěné výrobky, jsou tyto obohaceny o další aromatické sloučeniny, které však vznikly převážně z použitého oleje nebo tuku. Z hlediska koncentrace 88 – 98 % těkavých sloučenin představují methylalkohol a ethylalkohol.

2. 10. Fenoly a příbuzné sloučeniny

Fenoly jsou sloučeniny, které způsobují hnědé a modrošedé zbarvení produktů z brambor, přispívají rovněž k obrannému mechanismu při napadení mikroorganismy. Vedle tyrosinu a fenolických barviv se v hlízách vyskytují především tyto sloučeniny: kyselina chlorogenová, kávová, p-kumarová, deriváty laktinu kyseliny kumarové apod. Tyrosin se vyskytuje převážně uvnitř hlízy v množství 0,1-0,3 %, kyselina chlorogenová v množství od 0,025 do 0,150 % (v sušině hlíz).

Při zpracování brambor jsou významné tři druhy zbarvení:

- (1) zbarvení způsobené enzymaticky, které se vyskytuje pouze v syrových hlízách,
- (2) tmavnutí po uvaření, které se vyskytuje po vaření brambor,
- (3) neenzymatické hnědnutí neboli Maillardova reakce, která hraje významnou úlohu při sušení nebo smažení.

Enzymatické zbarvení se vyskytuje při krájení, řezání nebo strouhání syrových brambor, tj. při všech úkonech, kdy jsou buňky v hlízách poškozeny a vystaveny působení kyslíku. Zpočátku se barví hlízy červenohnědě, později vzniká tmavohnědá barva, až konečný výsledek je černohnědá barva produktu. Tuto reakci způsobuje oxidace tyrosinu na melanin. Reakce neprobíhá při teplotách nad 80 °C a za nepřítomnosti kyslíku. Přítomnost železa podporuje průběh reakce. Vedle tyrosinu se spolupodílí na této reakci i kyselina chlorogenová.

Tmavnutí po uvaření je ovlivněno přítomností železa, kyseliny kávové a chlorogenové a kyseliny citrónové. Rovněž tak pH má vliv na stupeň zabarvení. Kyselina chlorogenová vytváří se železem tři komplexy: monifenolát při pH 5,5 (zelená barva), difenolát při pH 6,5 (barva šedomodrá) a trifenolát při pH 7,5 (barva hnědá). U brambor dominuje difenolát.

Neenzymatické hnědnutí vzniká při tepelné úpravě (smažení, pečení) reakcí redukcujících cukrů s volnými aminokyselinami.

Další fakta o těchto látkách budou uvedena v kapitole 2.12.

2. 11. Glykosidy

Je jim věnována samostatná kapitola. Nenáleží k nutričně významným látkám v pozitivním slova smyslu. Z pohledu nutriční hodnoty, v případě glykosidů pravděpodobně lépe z pohledu alimentární hodnoty, se podílejí na chuti brambor tím, že zdrsňují jejich chuť.

2. 12. Antioxidanty

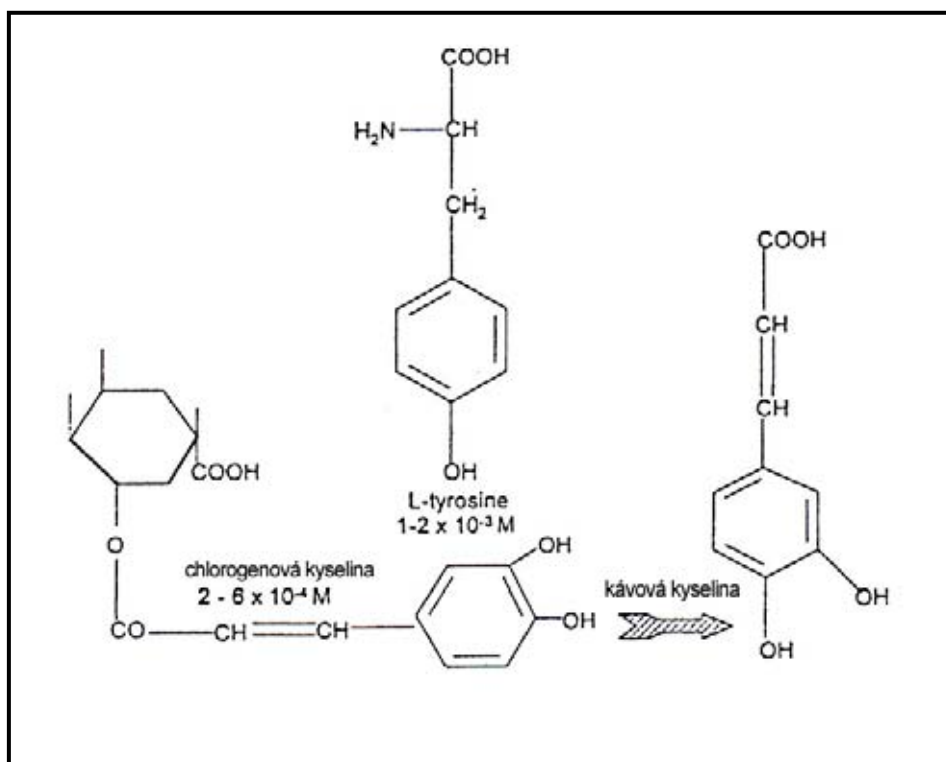
Přírodní antioxidanty přítomné v potravinách a dalším biologickém materiálu vyvolaly značný zájem díky svým potenciálním nutričním a terapeutickým účinkům. Antioxidanty zastoupené v lidské výživě snižují ve značné míře aterosklerotické procesy, inhibují akumulaci cholesterolu v krevním séru a zvyšují rezistenci cévních stěn. Mnohé antioxidanty snižují riziko koronárních srdečních onemocnění. Antioxidanty podle jejich chemické struktury mohou být rozděleny na polyfenoly (flavonoidy, anthokyany, fenolkarboxylové kyseliny a kumariny), karotenoidy (karoteny – prekursorů vitamínu A a xanthofyly) a tokoferoly (vitamin E). Silnou antioxidační aktivitu má také askorbová kyselina (vitamin C) a selen. Tyto látky mohou zachycovat volné radikály předtím, než mohou škodit a mohou bránit rozšíření oxidačního poškození. Bylo zjištěno, že antioxidanty zpomalují, blokují nebo zabraňují oxidačním změnám látek v lidském těle a buňkách. Polyfenolické sloučeniny, zvl. flavonoidy jsou účinnými antioxidanty díky své schopnosti zachytávat volné radikály mastných kyselin a kyslíku.

Hlízy bramboru představují významný zdroj antioxidantů ve výživě lidí, jak v přehledném článku uvádějí *L a c h m a n et al.* (2000) s množstvím literárních odkazů. Mezi různými druhy ovoce a zeleniny se hlízy bramboru podílí na zajištění průměrného denního příjmu cca 64 mg polyfenolů na hlavu v USA a zaujímají druhé místo za rajčaty. Z antioxidantů obsahují nejvíce polyfenolů ($1\,226 - 4\,405\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) a askorbové kyseliny ($170 - 990\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$). Z ostatních antioxidantů jsou zde zastoupeny karotenoidy (až $4 - 4,5\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$), α -tokoferol ($0,5 - 2,8\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) a v menším množství selen ($0,01\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) či α -lipoová kyselina.

2.12.1. Polyfenoly

Bramborové hlízy obsahují sekundární metabolity – polyfenolické sloučeniny – reprezentující substráty pro enzymové šednutí brambor, které se objevuje během loupání nebo krájení syrových hlíz brambor (F r i e d m a n , 1997). L-tyrozin a chlorogenová kyselina jsou hlavními polyfenolickými složkami brambor (M a t h e i s , 1987a, b; 1989; D a o a F r i e d m a n , 1992). Nejvíce zastoupenou polyfenolickou látkou v bramborách je aminokyselina tyrozin ($770 - 3\,900 \text{ mg.kg}^{-1}$), následovaná kávovou kyselinou (280 mg.kg^{-1}), skopolinem (98 mg.kg^{-1}), chlorogenovou kyselinou ($22 - 71 \text{ mg.kg}^{-1}$), ferulovou kyselinou (28 mg.kg^{-1}) a kryptochlorogenovou kyselinou (11 mg.kg^{-1}). Skořicové polyfenolické kyseliny (chlorogenová, neochlorogenová, kávová a ferulová) představují silné antioxidanty, které mohou zastavit i růst některých rakovinných buněk. Kávová kyselina může být produktem hydrolýzy chlorogenové kyseliny (obr. 7) a vykazuje silnou antioxidační aktivitu.

Obr. 7. Hlavní fenolické kyseliny v hlízách bramboru (Převzato z Lachmana et al., 2000)



Obsah káвовé kyseliny v jedlých částech brambor byl nalezen v množství až $0,2 - 3,2 \text{ mg.kg}^{-1}$ a celkových polyfenolů $422 - 834 \text{ mg.kg}^{-1}$. Ve slupkách bylo obsaženo až dvojnásobné množství. Některé polyfenoly jsou zastoupeny pouze v menších množstvích, jako je tomu u neochlorogenové kyseliny (7 mg.kg^{-1}), p-kumarové kyseliny (4 mg.kg^{-1}) atd., další podrobnosti lze nalézt v přehledech L a c h m a n a *et al.* (2000; 2001), H a m o u z e *et al.* (2004).

Obsah polyfenolických látek v bramborách je ovlivněn řadou faktorů jako jsou lokalita, odrůda, povětrnostní podmínky daného roku pěstování, způsob pěstování a řadou dalších vnějších faktorů, jako je např. doba a teplota skladování (S o t i l l o *et al.*, 1994) či poranění hlíz (L a a n e s t *et al.*, 1995). Odrůda je jedním z nejvýznamnějších faktorů ovlivňujících obsah celkových polyfenolů. Ekologický způsob pěstování brambor (bez chemické ochrany a průmyslových hnojiv) obsah celkových polyfenolů mírně zvyšuje (H a m o u z *et al.*, 1997), což může souviset s jejich obrannou rolí proti škodlivým činitelům, např. napadení mikroorganismy, škůdci (C a s t a n e r a *et al.*, 1996).

2.12.2. Askorbová kyselina

Je hlavním přírodním inhibítorem enzymového šednutí dužniny brambor. Redukuje původní produkty oxidace, o-chinony zpět na o-difenoly až je zcela kvantitativně oxidována na dehydroaskorbovou kyselinu. Askorbová kyselina také inhibuje bramborovou polyfenoloxidázu přímo blokováním atomu mědi v aktivním centru enzymu. Koncentrace askorbové kyseliny v bramborách ovlivňuje stupeň a rychlost enzymového šednutí dužniny brambor vzhledem ke své roli přirozeného inhibítora abiotického šednutí dužniny brambor. Představuje rovněž důležitý zdroj vitamínu C v lidské výživě vzhledem k obsahu a podílu konzumovaných brambor.

Hlízy bramboru jsou velmi bohaté na askorbovou kyselinu: 170 – 990 mg.kg⁻¹. Dokonce i ve vařených hlízách brambor zůstává průměrně 130 mg.kg⁻¹ a v bramborách pečených v mikrovlnné troubě 151 mg.kg⁻¹. Obsah askorbové kyseliny je ovlivněn mnoha vnějšími i vnitřními faktory, jako jsou odrůda, rok pěstování, způsob pěstování, podmínky prostředí, stadium zralosti hlíz, skladovací podmínky a mnoha dalšími. Konkrétně každoroční kolísání koncentrací kyseliny askorbové se může z 50 % přičíst počasí, a to hlavně rozdílům v délce slunečního záření. Na druhém místě je to asi z 30 % vliv rozdílného hnojení půdy, příp. zásobením živinami. Vedle relativně malého vlivu odrůdy je možné dosáhnout vysokých hodnot kys. askorbové v hlízách cíleným hnojením hnojiv obsahující draslík. Relativně nízké hnojení dusíkem, stejně tak zdůrazněná výživa draslíkem a fosforem vede k relativně vysokým hodnotám v době sklizně a k relativně nízkému odbourávání vitamínu C během dlouhodobého skladování. Kolbe (1997) uvádí, že dlouhodobé organické hnojení vede ve srovnání se stejně vysokou hladinou minerální výživy k asi o 10 % vyššímu obsahu kyseliny askorbové ve sklizených hlízách. Při nešetrném kuchyňském a průmyslovém zpracování se může obsah vitamínů (nejen vit. C) výrazně snížit. Obecně platí, že vitamíny se nejlépe uchovávají při skladování bez přístupu světla, při nízkých teplotách, vysoké vlhkosti vzduchu a nízkém přístupu kyslíku, sušené výrobky při nízké vlhkosti. Totéž platí také o skladování v optimálních podmínkách.

Sledování nejenom vitamínu C, ale také bílkovin a fosforu u velkého počtu odrůd (162 v r. 1994, 184 v r. 1995 a 140 v r. 1996 – z toho se pěstovalo 24 odrůd ve všech třech letech, 32 odrůd v letech dvou) provedli Furdate *et al.* (1998). Průměrné hodnoty u všech odrůd byly 1,52 mg bílkovin/100 g, 41,3 mg P/100 g, 16,6 mg vitamínu C (kys. askorbová)/100 g, 390,1 mg Ca/100 g, 18,7 mg Mg/100 g a 22,7 % sušiny. Hodnoty měly široký rozsah, ale 20 - 30 % odrůd mělo hladiny blízko průměru. U 107 vzorků hlíz se žlutou dužninou byla průměrná hladina vitamínu C 17,2 mg/100 g, zatímco u 232 vzorků s bílou dužninou byla 16,9 mg/100 g.

Askorbové kyselině bylo věnováno značné množství prací. Jen z poslední doby uvádím některé z nich: Mullin *et al.* (1989), Wills a Silalahi (1990), Wills a Suthilucksanavanish (1991), Hagg *et al.* (1998), Ahvenainen *et al.* (1998), Oyarzun *et al.* (2001), Fjelkner – Moding *et al.* (2001).

Vitamíny (v tomto konkrétním případě ale ne vitamín C) byly sledovány z různých podnětů, např. při příjmu potravy v zemích bývalého východního a západního Německa 8 let po sjednocení (Mensink a Beitz, 2004). V té době stále ještě existovaly rozdíly v příjmu nejenom vitamínů (rok 1998), ačkoliv tyto rozdíly byly menší než ony pozorované jeden rok po sjednocení obou částí Německa. Toto pozorování bylo provedeno na vzorku 4030 lidí ve stáří mezi 18 a 79 roky. V oddělených analýzách byly výsledky dále porovnány s přehledem zpracovaným v r. 1991 (s počtem lidí - n = 7466) a v r. 1998 (n = 4556).

2.12.3. Karotenoidy

Jsou také účinnými antioxidanty v antioxidační síti. V bramborách jsou zastoupeny průměrně v množství 4 mg.kg⁻¹. Mader a Vodíčková (1996), Mader (1998) stanovili celkový obsah karotenoidů ve 35 českých odrůdách brambor v rozmezí 0,16 až 6,36 mg.kg⁻¹ a průměrnou hodnotu 1,94 mg.kg⁻¹. Podle různých autorů (Duke, 1992a, b; Ong a Tee, 1992; Grana do *et al.*, 1992) jsou nejvíce zastoupené β-karoten (1 mg.kg⁻¹) a jeho derivát 5,6-monoepoxid β-karotenu, lutein (0,13 – 0,60 mg.kg⁻¹), zeaxanthin (0,04 mg.kg⁻¹). Ostatní karotenoidy byly obsaženy pouze v menším množství. Mezi nimi byly nalezeny α-karoten, 5,6-monoepoxid cis-anheraxanthinu, cis-neoxanthin, cis-violaxanthin, kryptoxanthin, 5,6-diepoxid kryptoxanthinu, hypoxanthin, lykopen a trans-zeatin. Další podrobnosti uvádějí Lachman *et al.* (2000; 2001).

Celkový obsah karotenoidů je vysoce závislý na dané odrůdě. Obsah karotenoidů je silně ovlivněn ročníkem, přičemž polorané odrůdy jsou více závislé na ročníku ve srovnání s ranými odrůdami.

Karotenoidy obsahují i další plodiny, ze zelenin např. rajská jablíčka B e e c h e r (1998).

2.12.4. Anthokyanová barviva

Další významnou skupinu antioxidantů představují přírodní barviva, anthokyany, která jsou nejvýznamnější skupinou přírodních barviv kromě chlorofylu. Jsou obsažena v červeně a modře zbarvených odrůdách brambor (L a c h m a n a H a m o u z , 2004) a přispívají ke zdraví prospěšným komplexem látek chránících před oxidanty a volnými radikály a LDL cholesterolem pomocí různých mechanismů. Červeně zbarvené hlízy (slupky i dužnina) obsahují glykosidy pelargonidinu – 3-O-p-kumaroylrutinosid-5-O-glukosid (200 – 2 000 mg.kg⁻¹ č.h.), v menší míře peonidinu – 3-O-p-kumaroylrutinosid-5-O-glukosid (20 – 200 mg.kg⁻¹ č.h.). Modročerné hlízy obsahují podobné hladiny glykosidů petunidinu – 3-O-p-kumaroylrutinosid-5-O-glukosid a daleko větší množství glykosidu malvidinu – 3-O-p-kumaroylrutinosid-5-O-glukosid (2 000 – 5 000 mg.kg⁻¹ č.h.).

Bylo zjištěno, že acylované pigmenty tvoří více než 98 % celkového obsahu anthokyanů brambor. Další podrobnosti uvádějí výše citovaní autoři L a c h m a n a H a m o u z (2004).

Acylace anthokyanů brambor skořicovými kyselinami posunuje zbarvení do modrého odstínu a značně zvyšuje jejich celkovou antioxidační účinnost. Antioxidační účinky přírodních extraktů jsou mnohem vyšší ve srovnání s čistými látkami, což ukazuje na synergický účinek směsi anthokyanů a dalších antioxidantů obsažených v hlízách brambor.

Antioxidační kapacita červeně nebo modře zbarvených brambor je 2 – 3 x vyšší ve srovnání s bramborami se žlutou, resp. bílou dužninou hlíz. Vzhledem k tomu mohou tyto brambory představovat možnost zvýšení příspěvku brambor k podílu antioxidantů ve výživě lidí. Proto se snaha šlechtitelů soustřeďuje i na šlechtění těchto fenotypů brambor, které mohou zahrnovat různé varianty: modrá slupka i dužnina, modrá slupka s částečně modrou (mramorovanou) dužninou, červená slupka s červenou dužninou nebo červená slupka s částečně zbarvenou (mramorovanou) dužninou.

Vliv podmínek prostředí na obsah a výnos anthokyanů a celkových fenolů v nachové a červené dužnině hlíz během jejich vývoje studovali R e y e s *et al.* (2004).

Během skladování v chladnějších podmínkách (4 °C) se obsah anthokyanů ve zbarvených hlízách zvyšuje. Během vývoje zbarvených hlíz zůstává obsah anthokyanů více méně konstantní, pouze u méně zbarvených odrůd se zvyšuje do určitého maxima. Během vývoje hlízy je vždy vyšší koncentrace u stonkové části hlízy než u oka hlízy, až ve stadiu zralosti dochází k vyrovnání obsahu anthokyanových barviv v celé hlíze. Po skladování v chladu je tomu obráceně s vyšším obsahem v části oka.

Rovněž různé abiotické stresy zvyšují obsah anthokyanů a fenylamoniaklyázové aktivity, např. methyljasmonát způsobuje 60 % zvýšení akumulace anthokyanů a současné zvýšení antioxidační kapacity.

Vzhledem k tomu, že běžné metody tepelné úpravy (vaření) neovlivňují obsah anthokyanů a antioxidační aktivitu, zůstávají tyto zdraví prospěšné faktory zachovány. Šlechtěním mohou být získány genotypy brambor s vysokým obsahem anthokyanových antioxidantů, které zařadí tyto brambory do kategorie potravin, které budou konzumovány především pro jejich antioxidační vlastnosti a rovněž pro barevné zpestření jídel s brambory. Nelze předpokládat, jak uvádějí L a c h m a n a H a m o u z (2004), že by tyto odrůdy s barevnou dužninou mohly konkurovat tradičním odrůdám; v blízké budoucnosti by však mohly běžně zpestřovat i náš trh. Ukázka výrobků z těchto barevných hlíz (saláty, sladké výrobky) byla předvedena na 14. Bramborářských dnech v Havlíčkově Brodě ve dnech 21. –

23. 10. 2004 za přítomnosti ministra zemědělství. Vstupem do EU se u nás mohou pěstovat odrůdy registrované v ostatních zemích EU, kde jsou tyto odrůdy již na trhu. V naší republice je v registračních zkouškách ÚKZÚZ již jedna odrůda tohoto typu – Valfi.

2.12.5. Další antioxidanty brambor

Hlízy bramboru jsou také bohaté na α -tokoferol ($0,5 - 2,8 \text{ mg.kg}^{-1}$) (Packer, 1994) a relativně dostatečné množství mezi zeleninami představuje obsah selenu ($0,01 \text{ mg.kg}^{-1}$). Djurjic *et al.* (1995) stanovili průměrný denní příjem selenu jako $29,72 \mu\text{g.den}^{-1}$ a příspěvek zeleniny a brambor z celkového množství byl 6,5 %. dalším antioxidantem v bramborových hlízách typu vitaminu je α -lipoová kyselina, známá jako růstový faktor brambor. Uvnitř buněk je α -lipoová kyselina snadno redukována na dihydrolipoovou kyselinu, která likviduje a neutralizuje volné radikály (Packer *et al.*, 1995). Přímě ničí škodlivé superoxidové radikály, hydroperoxylové a hydroxylové radikály.

2.12.6. Význam antioxidantů brambor

Bramborové hlízy zpracované v různých formách jako jsou smažené hranolky, lupínky, či ve formě bramborové kaše nebo pečených brambor jsou velmi bohaté na vlákninu snižující obsah cholesterolu a draslík, který udržuje elektrolytickou rovnováhu stejně jako normální funkci srdce a krevní tlak. Jsou také bohaté obsahem antioxidantů, zvláště polyfenolů (fenolické kyseliny odvozené od skořicové kyseliny, tyrozin a flavonoidy) a askorbové kyseliny. Tyto látky jsou převážně rozpustné ve vodě. Na druhé straně hlízy brambor obsahují také lipofilní antioxidanty jako jsou karotenoidy, tokoferoly a α -lipoová kyselina. Antioxidanty jsou účinnější, když jsou použity ve vzájemné kombinaci díky jejich synergickému účinku. Působí společně synergicky a vzájemně zvyšují pozitivní účinek. Polyfenolické sloučeniny chrání vitamin C a β -karoten, které na druhé straně mohou pomáhat funkcím vitaminu E (Heinonen *et al.*, 1997). Kromě L-tyrozinu jsou v bramborách nejvíce zastoupeny deriváty skořicové kyseliny (chlorogenová, neochlorogenová, kávová, ferulová), které představují silné antioxidanty a mohou zastavit růst některých rakovinných buněk (Hertog *et al.*, 1993). Flavonoidy jsou schopné zachycovat a neutralizovat přebytečné volné radikály v mnohých tkáních těla a působit synergicky s antioxidačními vitaminy C a E (Cutler, 1991). Některé flavonoidy jsou schopné vázat kovové ionty a bránit jim působit jako katalyzátory v těle a jsou schopné regulovat aktivitu antioxidačních enzymů těla – superoxid dismutasy (SOD) a glutathion peroxidasy (GPX). Zvyšují účinky askorbové kyseliny. Anthokyaniny působí jako antioxidanty na lidský „low-density“ lipoprotein a na systémy lecithin-liposom (Satu *et al.*, 1997). Také askorbová kyselina za určitých okolností může mít antioxidační účinky. Může působit jako zachytávač kyslíku, jako donor vodíku pro fenolické sloučeniny a jako synergická látka pro některé antioxidanty. Askorbová kyselina reaguje s některými kovy, redukuje je a umožňuje jim působit účinněji jako prooxidanty. β -Karoten, jeden z hlavních karotenů bramborových hlíz, se vyznačuje jedním z nejvyšších antioxidačních účinků karotenoidů. α -Lipoová kyselina regeneruje jiné antioxidanty jako jsou C a E vitaminy a glutathion a prodlužuje jejich existenci v organismu. Dihydrolipoová kyselina recykluje vitamin E díky synergické interakci s askorbátem. Zatímco β -karoten není aktivní v recyklaci vitaminu E, má schopnost chránit se sám proti oxidační destrukci (Kagan *et al.*, 1993). Karotenoidy jsou specifické pro ochranu určité tkáně (Ziegler, 1991). Celkově jsou ochranné účinky vyšší, jsou-li všechny karotenoidy obsaženy v komplexní směsi. Karoteny také zvyšují imunitní odpověď a chrání buňky pokožky proti UV záření. Selen působí společně s vitaminem E v buněčném antioxidačním obranném systému tak, že zastavuje reakce volných radikálů, které mohou poškodit živé buněčné struktury.

Tak jak uvádějí *Lachman et al.* (2000) pro obsah těchto typů antioxidantů jsou brambory důležitým zdrojem fytonutrientů a mohou být řazeny k tzv. fytopotravinám, ovlivňujícím pozitivně lidské zdraví.

Obsah polyfenolických látek ve slupce hlíz brambor sledovali *Krišťůfek et al.* (2001) ve vztahu k výskytu strupovitosti. Obsah celkových polyfenolických látek ve slupkách hlíz patnácti testovaných odrůd, různě citlivých ke strupovitosti, se pohyboval v rozmezí 26 – 75 mg.100g⁻¹ č.h. Schopnost odrůd akumulovat buď více, nebo méně těchto látek se projevila shodně na dvou stanovištích i v nádobovém pokusu. U odrůd pěstovaných na experimentální ploše s výrazně nižším napadením strupovitostí, byl zjištěn vyšší průměrný obsah celkových polyfenolických látek než u stejných odrůd pěstovaných na ploše s pravidelným silným napadením (o 5 – 26 %). Z těchto prozatím publikovaných jednoletých výsledků, není zřejmé, že by odrůdy s vysokým obsahem těchto látek byly všeobecně více odolné ke strupovitosti než odrůdy s nízkým obsahem, jak se tradičně uvádí v literatuře.

Antioxidanty se rovněž podílí na zbarvení – šednutí dužniny, černání syrových hlíz, příp. syrové třenky (*Putz, 1995*). Dr. Putz uvádí výběr pojmů používaných v různých zemích pro první dva názvy, jako: black spot, pressure bruise, internal bruise, blauw, kaliblauw, stootblauw, leadspot, internalgrayspot, Blaufleckigkeit, Schwarzfleckigkeit, enzymatische Bräunung, Beschädigungen, Altersschwarzfleckigkeit, physiologische Schwarzfleckigkeit, aniž by byl smysl těchto pojmů v literatuře autory blíže vysvětlen. Názory na chemismus tmavnutí dužniny se mezi odborníky liší. Dr. Putz se kloní k předpokladu, že šednutí dužniny podléhá jinému chemismu než vznik černých skvrn uvnitř hlízy, a proto navrhuje, vzhledem k příčinám jejich vzniku, že by se tato dvě zbarvení měla rozlišovat. Článek je věnován chemismu zbarvení a rozdílům v šednutí a černání dužniny (Blau- und Schwarzfleckigkeit).

Příčiny abiotického šednutí dužniny hlíz brambor spočívají především v mechanické zátěži hlíz a skladovací teplotě (*Míča, 1992; Leppack, 1995a, b*). *Bittner (1991)* zkoumal i další faktory, které by mohly náchylnost hlíz ovlivnit. Výsledky pokusů ukazují, jak na výskyt šednutí působí stanoviště, agrotechnické zásahy, skladovací režim a vnitřní faktory jako genotyp, fyzikální parametry, struktura a obsahové látky. Že je šednutí spojeno s mechanickým poškozením, s vysokým obsahem sušiny, s nízkou teplotou pod 12°C při sklizni, dopravě a úpravě, s velikostí hlízy (větší jsou těžší a tedy více poškozeny), s dobou skladování, se zvýšeným hnojením K, N a Cl potvrdili *Verschoore a Duquesne (1995)*. Vlivem odrůdy na projev šednutí dužniny za syrova se zabývali *Hornburg a Wirsing (1995a)* a navrhli výpočet indexu šednutí dužniny, podle kterého je dobrá diference odrůd dle jejich náchylnosti k šednutí dužniny. K zachycení stability příznaku počátku šednutí dužniny navrhli zahrnout druhý bonitační termín po ukončení skladovací teploty (např. duben), protože některé odrůdy vykazovaly v předjaří velmi odchylné reakce. Zabývali se rovněž vlivem hnojení a zavlažování na výskyt šednutí dužniny za syrova (*Hornburg a Wirsing, 1995b*). Používali různá hnojiva v dávkách od 0 do 120 kg N.ha⁻¹, na jaře a na podzim. Očekávaná souvislost, že se zvyšujícím se hnojením stoupá také výskyt šednutí dužniny za syrova, se v provedených pokusech nepotvrdila. Pokud se týkalo zavlažování, může za určitých podmínek dostatečné zavlažování snížit výskyt abiotického šednutí, za jiných podmínek ho zvýšit. K objasnění pozorovaných rozporů musí být, podle autorů, do pozorování zahrnuta závislost časné dodávky vody během vegetačního období, stejně tak průběh teploty.

Substráty pro tvorbu tmavě zbarvených substancí v syrových hlízách bramboru, event. bramborové třence, jsou podle *Míči a Vokála (1995a)* v publikovaném přehledu literatury o tomto problému, jak aminokyselina tyrosin, tak i fenolické látky – jako kyselina kávová, chlorogenová a sloučeniny, které spoluurčují žlutou barvu dužniny hlíz, a látky, které přispívají k barevnému tónu slupky. Za oxidaci di- a polyfenolů na chinony jsou především

odpovědné o-polyfenoloxidázy. Protože reagují specificky na pH, může nepatrná změna pH hodnoty buněčné šťávy ovlivnit pokles enzymatické aktivity až o 50 %. Z tohoto hlediska lze přičítat zvláštní význam kyselině citronové, protože vyšší koncentrace (3 % v sušině) výrazně brzdí aktivitu polyfenoloxidáz.

S přibývajícím dobou skladování se kontinuálně snižuje obsah kyseliny citronové v hlízách. V důsledku toho se zvyšuje sklon k zbarvení. Zvýšený obsah draslíku v bramborové rostlině může výrazně zvýšit obsah kyseliny citronové v hlíze. I když není přímý vztah mezi zásobením rostliny draslíkem, obsahem draslíku v hlíze a sklonem hlízy k šednutí, lze nepřímo (zvýšení obsahu kyseliny citronové, snížení koncentrace fenolických látek) v důsledku zvýšených dávek draslíku dosáhnout snížení sklonu k šednutí hlíz. Obsah draslíku v hlízách lze brát jako měřítko stability hlíz proti zbarvení dužniny všeho druhu. Relativně vysoký obsah K (2 - 3 % v sušině) ukazuje na malý sklon k zbarvení hlíz a obráceně. V hlíze účinný systém redox (kyselina askorbová-dehydroaskorbová) je schopen polyfenoloxidázami vytvořené chinony (červené zbarvení) opět přeměnit na fenoly. Jen do té doby, dokud je v buněčné šťávě přítomna kyselina askorbová, mohou být znovu vytvořeny z chinonů bezbarvé fenoly. Je tedy možno přičítat význam i obsahu vitamínu C vedle kyseliny citronové. Měřítka vnitřních poranění hlíz (při otrásání, tlaku a jiném zatížení) je pak v úzkém vztahu k tloušťce, pevnosti a elasticitě buněčných stěn tkáně parenchymu. Při tom jsou proti zbarvení podstatně náchylnější vysokoobjemové buňky než buňky nízkoobjemové.

Rozdíly v hladině volného a na proteiny vázaného tyrozinu mezi genotypy brambor a vztah k rezistenci vůči vnitřnímu enzymatickému zbarvení sledovali Corsini *et al.* (1992), kteří vybrali 12 klonů brambor s rozdílnou reakcí na vnitřní šednutí dužniny k určení vztahu mezi proteiny hlíz, volným tyrozinem a náchylností k enzymatickému zbarvení dužniny. Index zbarvení dužniny, určený buď abrasivním loupáním nebo otlaky způsobenými nárazem, koreloval s obsahem tyrozinu hlíz. Hlízy s hladinou volného tyrozinu pod 4 mikromoly.g⁻¹ sušiny vykazaly stejnou rezistenci vůči zbarvení dužniny. Vztah mezi tyrozinem a náchylností ke zbarvení dužniny byl také zjištěn na konci stolonů a pupenů pěti klonů, které představovaly extrémní reakci na enzymatické zbarvení dužniny a genetickou odlišnost. Rozdělení tyrozinu mezi proteiny hlíz a zdroj volných aminokyselin se měnilo s genotypem a autoři usoudili, že je pravděpodobně hlavním určovatelem rezistence vůči zbarvení dužniny.

Syntézu tyrosinu u tkáně hlíz bramboru z genotypů náchylných a rezistentních vůči šednutí dužniny do modra sledovali také De a n *et al.* (1992). Radioaktivně značená kyselina sikimová (¹⁴C) byla inkubována s disky tkáně hlíz brambor k určení relativní rychlosti syntézy tyrosinu u odrůd rezistentních a náchylných ke zbarvení dužniny do modra. Syntéza tyrosinu byla o 55 % vyšší u náchylné odrůdy Lehmi Russet než u rezistentního klonu TXA 763-5. Náchylný klon také vydělil nižší procento ¹⁴C tyrosinu do rozpustného proteinu než rezistentní genotyp.

Metodu abrasivního loupání k hodnocení reakce zbarvení do modra použili také P a v e k *et al.* (1993), kteří zkoumali dědičnost rezistence vůči otlakům u brambor. Pozorovali velmi výrazný vliv obecné kombinační schopnosti (GCA) a specifické kombinační schopnosti (SCA) na tento znak. Variace GCA a SCA představovaly 59 a 9 % z celkové variace. Dědivost byla 0,85. Výsledky ukázaly, že šlechtění na odolnost proti otlakům provázeným zbarvením do modra bylo úspěšné při použití rezistentních rodičů s možností zpětného křížení. V další práci (De a n *et al.*, 1993) měřili vývoj pigmentu zbarvení dužniny do modra dalšími dvěma metodami – nárazem do hlíz a oxidací homogenátů hlíz. Genotypy a skladovací období užíli jako proměnné. Všechny tři metody byly schopné rozlišit genotypy podle rezistence vůči zbarvení dužniny do modra, ačkoli metody abrasivního loupání a homogenizace poskytly shodnější výsledky než metoda pohmoždění nárazem. Genotypy rezistentní vůči otlakům přenesly rezistenci vůči otlakům na potomstvo v křížení s náchylným

genotypem, která korelovala s obsahem tyrosinu. Pokud se týče tradiční techniky pohmoždění narázem, rezistence vůči abiotickému šednutí dužniny se zvýšila během skladování při 3°C. Naopak bylo zjištěno, že se rezistence snižuje s postupem homogenizace a nezměnila se při použití abrasivního loupání. Volný tyrosin byl pevně spojen s vývojem pigmentu zbarvení dužniny do modra, ale u kyseliny chlorogenové a kávové takový vztah nebyl zjištěn.

Náchylnost k šednutí dužniny v hlízách bramboru vyvolané autolytickou reakcí buněk popsal *W e b e r* (1991). Při autolytickém rozkladu membrány v poraněné tkáni hlíz vyvolané mechanickým poškozením štěpily pektin z buněčné stěny galakturonidy. Při této reakci se uvolnily fenoly nacházející se v mezibuněčných prostorech. Fenoly potlačují přímo původce mokré hniloby a patoenzym pectalyázu po oxidaci. Autolytickou aktivitu tkáně je nutno považovat za obranný mechanismus proti mokré hnilobě. Podobný proces probíhá i po mechanickém zatížení hlíz, kdy se projevuje náchylnost k šednutí dužniny. Obě vlastnosti jsou spojeny s fyziologickým stárnutím hlíz při též mechanismu reakce – autolytické reakci vedoucí k odumření buněk.

Oproti enzymatickému zbarvení syrové bramborové tkáně probíhá v hlízách po uvaření tzv. tmavnutí hlíz po uvaření (v některých pracích vedeno jako černání po uvaření) bez působení enzymů. Ve varném procesu v tzv. „zahřívací fázi“ se zvyšuje aktivita fenoloxidáz. Optimum probíhá při 50 °C. Po dosažení teploty vody na 60 – 70 °C je tato skupina enzymů neúčinná (nastává denaturace bílkoviny). V této fázi následuje zvýšené uvolňování kyseliny chlorogenové. Spojením molekul kyseliny chlorogenové s ionty železa vznikají pak, podle hodnoty pH buněčné šťávy a vody, ve které se hlízy vaří, modré až hnědé fenoláty železa (*G r i f f i t h s et al.*, 1992). Nejčastěji se vytváří difenolát, který je stabilní při pH = 6,5. Pokud je obsah kyseliny chlorogenové v hlíze nepatrný, reaguje železo (Fe^{2+}) s kyselinou citronovou. Vzniklý citran je bezbarvý. Do jaké míry vstupují do reakce s železem vedle kyseliny chlorogenové i jiné fenolické látky je, podle přehledu zpracovaného *M í č o u a V o k á l e m* (1995a), dosud nejasné. Že je limitujícím faktorem intenzity zbarvení obsah redukujících cukrů (a kyseliny askorbové, někdy sacharózy) zpracovávaných hlíz potvrdili *V o l d ř i c h et al.* (1996). Uvádí, že průběh barevných změn během smažení také závisí na teplotě oleje a trvání procesu smažení. Příčinou barevných změn je tvorba komplexu kyseliny chlorogenové se železem během vaření a jeho oxidace během chladnutí. Intenzita tmavnutí je přímo úměrná koncentraci kyseliny citronové a fosforečné.

Rozdělení tmavnutí uvnitř hlíz je závislé na poměru kyseliny chlorogenové ku kyselině citronové. Posledně jmenovaná je více obsažená v korunkové části hlízy, kde je i menší výskyt tmavnutí. Je známo, že tmavnutí po uvaření je ovlivněno odrůdou, půdou, hnojením a vegetačním rokem. Avšak v důsledku interakce těchto faktorů se výsledky zdají rozporuplné, třebaže určité faktory způsobily, že hlízy byly náchylnější k tmavnutí po uvaření, kupř. vysoký poměr N:K, chladný vegetační rok (*M í č a*, 1979). Diference mezi odrůdami jsou většinou způsobeny variabilním množstvím kyseliny chlorogenové a v menší míře kyselinou citronovou. Odrůdy s vysokým obsahem kyseliny chlorogenové tmavnou nejvíce, zatímco odrůdy s nízkým obsahem této kyseliny tmavnou nejméně. Je rovněž známo, že draslík ovlivňuje syntézu organických kyselin v rostlinách. Byly nalezeny velmi dobré korelace mezi obsahem draslíku a kyseliny citronové.

Z makroelementů mělo zvýšení dusíku nepříznivý vliv na barvu šťávy vylišované z hlíz a současně se zvýšil i obsah tyrosinu. Surové hlízy po 24 h po rozříznutí měly tmavší barvu, jestliže byla dávka dusíku zvýšena z 50 na 150 kg.ha⁻¹. Fosfor oproti tomu neměl žádný vliv.

Existuje mnoho údajů o tom, že draslík snižuje náchylnost k vnitřnímu šednutí hlíz, např. *E f f m e r t* (1992) indukoval šednutí dužniny pomocí elektronického kyvadla a zjistil, že rozsah poškození hlíz a zbarvení dužniny se zvyšuje spolu s obsahem škrobu. Potvrdil, že čím vyšší je obsah K v sušině, tím menší je šednutí dužniny. Jinými autory byly podány důkazy, že draslík zlepšuje barvu šťávy z hlíz, snižuje obsah tyrosinu a kyseliny chlorogenové

v hlízách, působí proti vlivu dusíku na zvyšování vnitřního šednutí hlíz, aplikovaný na podzim, na půdách s nízkým obsahem K, značně snižuje procento hlíz o velikosti 60 – 70 mm s vnitřním šednutím. V literárním přehledu dále M í č a a V o k á l (1995a) s odkazy na starší literární prameny uvádějí, že vnitřní šednutí se snižuje s nárůstem obsahu draslíku v půdě a dále, že hlízy o obsahu K pod 2 % jsou náchylnější k vnitřnímu šednutí, zatímco při obsahu 2,5 % je výskyt velmi malý. Z hlediska formy draselného hnojiva je KCl efektivnější než K_2SO_4 .

Vliv hořčíku se projevil v závislosti na výši dávky. Při aplikaci $MgSO_4$ do výše 40 lb.akr¹ se snižovala intenzita šednutí, při vyšší dávce byl mírný nárůst šednutí hlíz.

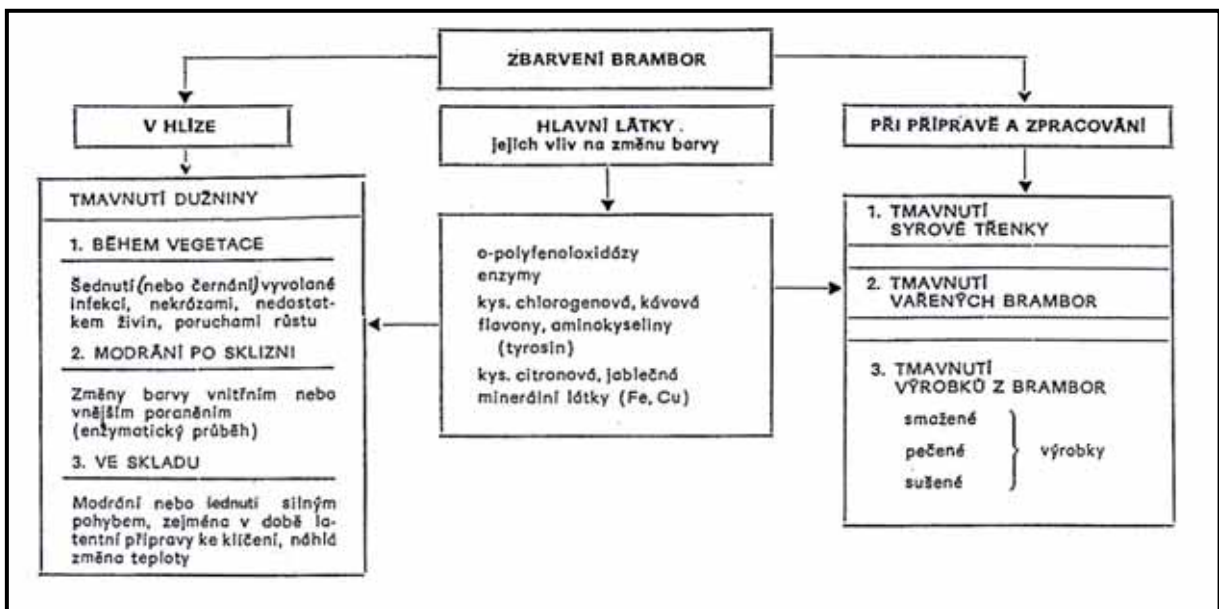
Vliv dusíku na tmavnutí hlíz po uvaření byl převážně negativní. Vliv fosforu není jednoznačný, v literatuře podle M í č i a V o k á l a (1995a) převládá názor, že i fosfor snižuje tmavnutí po uvaření, rovněž tak i draslík, což znamená, že K snižuje výskyt tohoto nežádoucího jevu.

Analýza korelací mezi tmavnutím po uvaření a složením hlíz ukázala, že u čerstvě sklizených hlíz jsou hlavními určujícími faktory sklonu k tmavnutí po uvaření obsah kyseliny chlorogenové a obsah K v sušině hlíz. U brambor skladovaných do období jarních měsíců se stává určujícím faktorem tmavnutí po uvaření obsah K v sušině hlíz.

Tmavnutí hlíz po uvaření je odrůdovým znakem, ale na jeho kolísání se odrůda podílí podle D o m k á ř o v é a V o k á l a (2002) pouze 25 – 30 %. Z praktického hlediska je však podle autorů důležité zjištění, že celkové kolísání tohoto znaku není velké a je možné tmavnutí po uvaření řadit mezi znaky s malou variabilitou (průměrný variační koeficient 6 – 8%). O dědičnosti tohoto důležitého kvalitativního znaku je známo málo, je však pravděpodobné, že je děděn polygenně. Selekcí rodičů s nízkým tmavnutím po uvaření je možno na počátku šlechtitelského programu zajistit kvalitu budoucích generací.

Vliv dominantních látek na změnu barvy hlíz syrových a tepelně upravených je přehledně znázorněn na obr. 8.

Obr. 8. Změny barvy hlíz syrových a tepelně upravených (podle Míči, Vokála, 1995a)



Závěrem této kapitoly se zbývá zmínit o nutričních hodnotách výrobků, které nebylo možno jednoznačně zařadit do předchozích podkapitol. Jedná se např. o kritické zhodnocení současného stavu, potřeb, budoucích možností a vhodností indických odrůd pro zpracování brambor na výrobky (M a r w a h a , 1997), o přehled nutričních ztrát a příjmů během smažení (Fillion a Henry, 1998), o vlivu odrůdy, metodě mražení a mléčných ingrediencí na

kvalitu zmražených bramborových kaší (Pulvirenti a Gormley, 1998), o vlivy zvýšeného oxidu uhličitého a/nebo ozonu na nutriční koncentrace a příjem živin bramborami (Fangmeier *et al.*, 2002), o změny v pektinovém složení hlíz během jejich skladování v souvislosti s texturou vařených brambor (Dijk *et al.*, 2002a), o vlivu přehřátí a následcích pro texturu a chemismus buněčné stěny (Dijk *et al.*, 2002b), o vlivu chemického složení hlíz na texturu lupínků (Kita, 2002), o výsledcích devítiletého studia biochemického složení hlíz bramboru ze sedmi lokalit Běloruska, kdy byl zjišťován vliv různých faktorů na obsah sušiny, celkového dusíku, bílkovin, kyseliny askorbové, redukujících cukrů a dusičnanů (Koljadko a Kozlova, 2002), o pohybu vápníku a jeho akumulaci v bramborových hlízách (Habib a Donnelly, 2002), o senzoryckou a nutriční kvalitu výrobků připravovaných z odrůd s nízkou a vysokou sušinou, skladovaných při rozdílných teplotách (Marwaha a Sandhu, 2003), o vlivy skladovaných (rozdílnou dobu) hlíz z několika odrůd při dvou rozdílných teplotách, rekondiciovaných z teploty 4°C na kvalitu mikrovlnně sušených a vakuově balených čipsů (Lefort *et al.*, 2003), o nutričních ztrátách během přípravy dehydratovaných bramborových čipsů a kostek (Brajesh-Singh, 2003) a další práce týkající se brambor, přednesené na tomto i předchozím semináři konaném v New Delhi v Indii v r. 1999.

V této kapitole byly zmíněny hlavní nutričně významné látky v hlízách bramboru; některé z nich, nacházející se ve velmi nízkém množství, jen stručnou poznámkou, jiné ani vyjmenovány nebyly, což se týká např. aminokyselin, minerálních prvků aj. Rovněž další podrobnosti, nejen o těchto látkách, lze nalézt v monografiích týkajících se bramborů, např. dnes již hodně staré světové monografii Schicka a Klinkowského (1961, 1962), přes Ivinse a Milthorpa (1963), Li (1985), Burtona (1989), Harrise (1992), k nejnovějším Khurana *et al.* (2003), Stark a Love (2003), jež je zaměřena prakticky, po specializované přehledy vybraných látek, na které bylo v textu upozorněno.

3. Nežádoucí, škodlivé, cizorodé látky

Je těžké v některých případech oddělit významem tyto pojmy. Lze je shrnout pod pojem rizikové látky. I v toxikologii životního prostředí „rozhoduje dávka“. Tudíž každá látka může být nežádoucí, neboť je potenciálně škodlivá až toxická, liší se pouze hranice toxicity, kterou je nutné posuzovat jak z hlediska fytotoxicity, tak z hlediska zootoxicity (pro živočichy).

Za cizorodé látky (xenobiotika) jsou označovány takové látky, které nejsou přirozenou součástí rostlinných a živočišných potravin a krmiv, popř. netvoří zákonem povolené a zdravotně nezávadné přísady. Jinými slovy se za cizorodé látky zpravidla považují ty, které jsou nebezpečné pro zdraví a život člověka, tudíž i látky nežádoucí a škodlivé.

Diskuse o rizikových látkách se v minulosti zaměřovala hlavně na aditiva a exogenní kontaminanty. Koncem minulého století nastal zásadní obrat v této „filozofii“, protože přirozené toxické látky vzhledem na negativní fyziologické účinky a dosahovanou úroveň expozice ohrožují zdraví konzumentů stejně jako jiné toxické sloučeniny.

Na biologickou účinnost toxických látek mají rozhodující vliv tyto faktory: fyzikálně-chemické vlastnosti, způsob expozice, její frekvence, trvání, hladina a distribuce v čase, absorpční vlastnosti, distribuce v organismu, metabolické přeměny a vylučování, případně citlivost a schopnost organismu odolávat poškození. Tato schopnost závisí od zděděných i získaných vlastností jedince stravovacími zvyklostmi a přizpůsobení organismu na určité rizikové látky v poživatinách. To co je pro jednoho člověka potravinou, může být pro druhého jedem (S u h a j a K o v á č , 1996).

3. 1. Steroidní glykoalkaloidy

Jednou skupinou těchto látek jsou steroidní glykoalkaloidy (SGA). Jsou to látky vyskytující se v rostlinách, jež byly dříve výzkumně opomíjeny pro neodůvodněný předpoklad, že „co je přírodní, nemůže být škodlivé“. Od objevu jedovaté dusíkaté báze v bobulích lilku černého (*Solanum nigrum* L.) v roce 1820 bylo popsáno více než 80 steroidních aglykonů odvozených od cholestanu, které se volně nebo vázané s různými sacharidy nacházejí asi v 350 druzích rostlin čeledi lilkovité (*Solanaceae*) a liliovité (*Liliaceae*).

Alkaloidy obsažené v bramboru bývají často uváděny pod společným názvem solanin., který však není jednou látkou, ale označuje se tak skupina velmi příbuzných GA. Těchto sloučenin je známo přes 20, z toho 10 bylo zjištěno v bramboru. Solanin byl po prve u bramboru zmíněn v r. 1826 (M a g a , 1980). Až teprve v r. 1954 při snaze o frakcionaci solaninu byl objeven chaconin (K u h n a L ö w , 1954). Fakt, že solanin má aglykon solanidin bylo popsáno v r. 1861 (Z w e n g e r a K i n d , 1861).

Je obecně uznáváno, že hlavní GA v bramborách jsou právě α -chaconin a α -solanin, které představují asi 95 % celkových glykoalkaloidů (TGA z angl. total glycoalkaloid). Jak je zřejmé z názvu jsou SGA složeny ze 3 strukturních entit, a to:

- (1) polární hydrofilní sacharidické části,
- (2) nepolární lipofilní steroidní části a
- (3) heterocyklické dusíkaté bázecké části.

Dosavadní poznatky o této problematice podrobně shrnul Z r ů s t (2003) v projektu „Glykoalkaloidy u bramboru a ostatních komodit“, jež byly zpracovány jako podklad pro Vědecký výbor fytosanitární a životního prostředí (viz str. 4 tohoto projektu). V tomto projektu byl podán přehled o problematice steroidních glykoalkaloidů především u planých a zejména kulturních druhů bramboru, o metodách jejich stanovení, dynamice tvorby GA. Upozorňuje se na negativní vlastnosti těchto látek pro lidský organismus, zároveň i na jejich ochrannou funkci proti živočišným škůdcům a chorobám rostlin, na přípustné limity v obsahu

SGA v hlízách, jejich nerovnoměrné rozložení v rostlině i hlíze bramboru. Stručně se pojednává o faktorech ovlivňujících dynamiku hromadění těchto látek v hlízách i o vlivu kulinárního zpracování na jejich obsah. Je zdůrazněna závažnost této problematiky, které je třeba věnovat soustavnou pozornost nejen ve výzkumu, ale zejména ve šlechtění při tvorbě nových odrůd. Není možné ji podceňovat ani u pěstitelů, obchodníků i konzumentů.

Pro značné množství publikací, které v minulosti vycházely a stále i v současné době vycházejí, nemohly a ani nebyly do přehledu zahrnuty všechny práce týkající se této problematiky. Lze odkázat na kompilace, které zahrnují velké množství poznatků s odkazy na další citace, jsou to např. Maga (1980), Gelder (1990), Jadhav *et al.* (1991), Gaffield *et al.* (1991), Friedman (1992), Maga (1994), Velíšek a Hajšlová (1995), Friedman a McDonald (1997), Lachman *et al.* (2001).

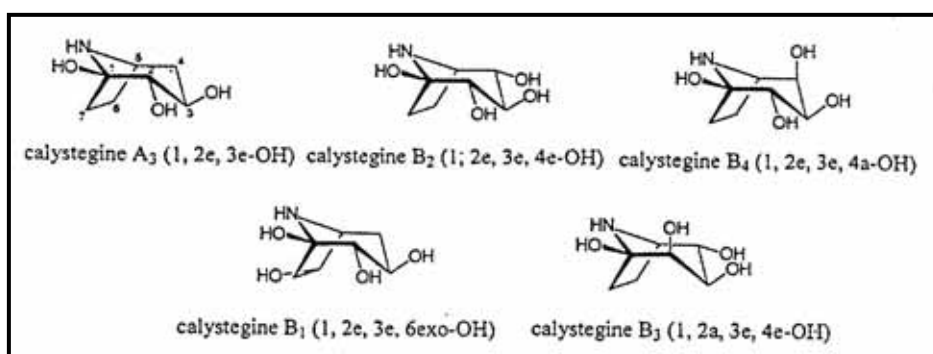
Z později vydaných prací, které nebyly v projektu citovány se jedná např. o práce Guziura *et al.* (2000), Esposito *et al.* (2002), Friedmana *et al.* (2003), nebo odborně populární články, např. Haase (2002).

3. 2. Kalysteginy

Z alkaloidů obsahují brambory také kalysteginy. Byly objeveny poměrně nedávno – viz citované práce. Kalysteginy jsou polyhydroxyalkaloidy s netropanovou kostrou a glykosidasovou inhibiční aktivitou, které byly zjištěny v čeledi rostlin *Solanaceae*, obsahující klasické tropanové alkaloidy hyoscyamin a skopolamin. Byly nalezeny v listech a slupkách hlíz bramboru (*Solanum tuberosum* L.) Nash *et al.* (1993). Byly rovněž popsány v jiných rodech čeledi *Solanaceae*, včetně rulíku zlomocném (*Atropa belladonna*), *Mandragora officinarum*, *Scopolia carniolica* a blínu černém (*Hyoscyamus niger*) (Dräger *et al.*, 1995), kteří zjistili, že se obsahy v různých rostlinných orgánech výrazně měnily. Vyšší koncentrace kalysteginů, než uvádí prvně jmenovaní autoři, našli v klíčcích vyrostlých z nazelenalých bramborových hlíz držných na světle po dobu dvou týdnů.

Nejvíce kalysteginů bylo izolováno právě z čeledi *Solanaceae* (Molynoux *et al.*, 1996). Autoři popsali významnou inhibiční aktivitu závislou na počtu a poloze hydroxylových skupin na nortropanovém skeletu, která se mění se specifickou glykosidasou. Do r. 2000 bylo publikováno 14 různých kalysteginních struktur mezi N-metyl deriváty, které obsahují skelety tropanu. Ukázka je na obr. 9.

Obr. 9. Kalysteginy nalezené v *Solanum tuberosum* (podle Keinera a Drägerové, 2000)



Kalysteginy pravděpodobně vznikají metabolickou cestou z alkaloidu tropanu (Dräger *et al.*, 1994) (obr. 10).

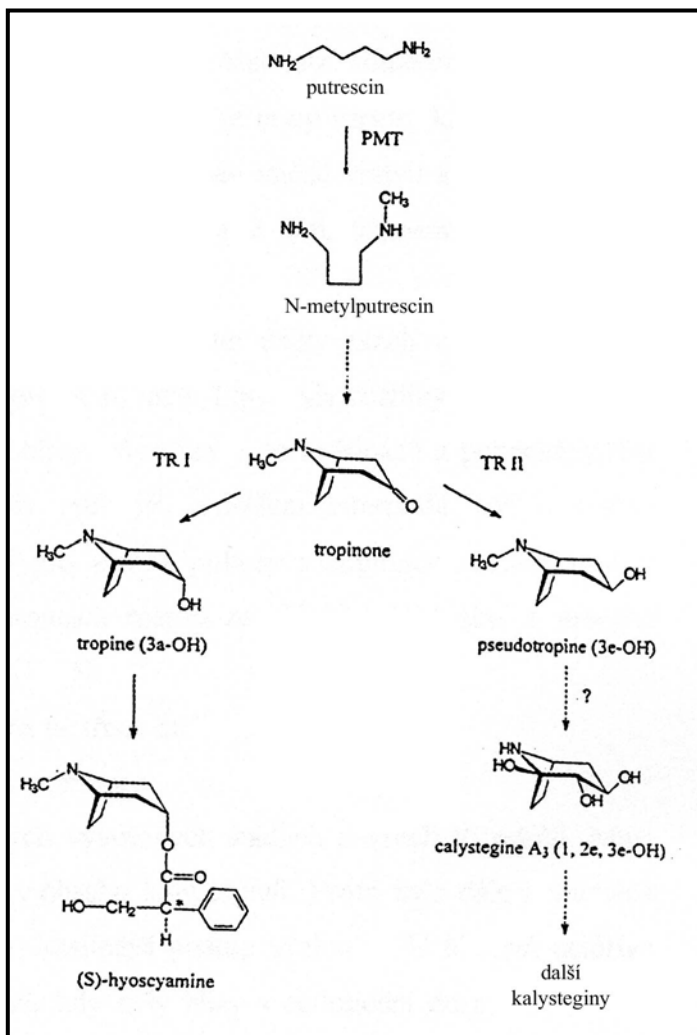
Biosyntéza kalysteginů se předpokládá cestou boční větve alkaloidu tropanu. Stereospecifická redukce tropinonu byla identifikována jako bod větvení v těch rostlinách, které akumulují oba kalysteginy a alkaloidy esteru tropinu. Tropinon vytvářející formu pseudotropinu redukcí je údajným startem biosyntézy kalysteginů. Keiner *et al.* (2000) izolovali, klonovali a sekvencovali cDNA z bramboru vztahující se k reduktáze tropinonu. Nukleotidová a aminokyselinová sekvence ukázaly vysokou podobnost k jiným reduktázám tropinonu z čeledi Solanaceae. Následující kroky vedoucí z pseudotropinu ke kalysteginům dále zkoumají.

Pulsní amperometrickou detekci kalysteginů separovaných kapilární elektroforézou použili Ruttinger a Dräger (2001). V porovnání se sacharidy se kalysteginy projevují nižší kyselostí, tak např. účinná elektroforetická mobilita anionů v 0,1 M NaOH je nižší nezávisle na jejich molekulární hmotnosti. Zjistili, že kyselost a pohyblivost kalysteginů se zvyšuje s počtem hydroxylových skupin. Vliv teploty a sílu disipace v kapiláře a změny vnitřního povrchu na posunu času eliminovali pomocí chlazení a odečítáním elektroosmotické rychlosti průtoku. Vysoká rozlišovací schopnost kapilární zóny elektroforézy umožňuje separaci kalysteginů s tímž počtem hydroxylových skupin. Prověřili, že detekce je lineární od 2 do 200 mg.l⁻¹ s 1 nl objemovým vstříkem. Kalysteginy stanovili v surovém roztoku látek z kořenů pěstovaného rulíku zlomocného (*Atropa belladonna*) a z klíčků hlíz bramboru po filtraci bez dalšího čištění vzorku.

Automatický násobný vývoj tenkovrstevné chromatografie (AMD-TLC = automated multiple development thin layer chromatography) užili pro separaci kalysteginů, třídy netropanových alkaloidů a prekursorů jejich biosyntézy z kořenů kultur rulíku zlomocného (*Atropa belladonna*), blínu (*Hyoscyamus mutiens*) a opletníku plotního (*Calystegia sepium*) a klíčků hlíz bramboru Scholl *et al.* (2001). Kalysteginy se lišily v počtu hydroxylových skupin v nortropanovém skeletu kruhového systému a v substitučním vzorci. Spojení TLC metod dovolilo separaci jednotlivých kalysteginů a oddělení možných prekursorů biosyntézy. Autorům se podařilo optimalizovat kombinace rozpustidel, vyvíjecí čas, počet vývojových kroků, čas sušení mezi každým postupem a předpokládané parametry desek silikagelu pro TLC. Zhodnotili též limity detekce pro jednotlivá detekční činidla.

Automatický násobný vývoj tenkovrstevné chromatografie (AMD-TLC = automated multiple development thin layer chromatography) užili pro separaci kalysteginů, třídy netropanových alkaloidů a prekursorů jejich biosyntézy z kořenů kultur rulíku zlomocného (*Atropa belladonna*), blínu (*Hyoscyamus mutiens*) a opletníku plotního (*Calystegia sepium*) a klíčků hlíz bramboru Scholl *et al.* (2001). Kalysteginy se lišily v počtu hydroxylových skupin v nortropanovém skeletu kruhového systému a v substitučním vzorci. Spojení TLC metod dovolilo separaci jednotlivých kalysteginů a oddělení možných prekursorů biosyntézy. Autorům se podařilo optimalizovat kombinace rozpustidel, vyvíjecí čas, počet vývojových kroků, čas sušení mezi každým postupem a předpokládané parametry desek silikagelu pro TLC. Zhodnotili též limity detekce pro jednotlivá detekční činidla.

Obr. 10. Redukce tropinonu a bod větvení při biosyntéze alkaloidu tropanu (TR – tropinon reduktáza; PMT – putrescin metyl transferáza)



Rozložení kalysteginů konkrétně v rostlinách a hlízách bramboru podrobně zjišťovali Keiner a Drägerová (2000). Použili k tomu odrůdy lišící se zakládáním hlíz – Adrettu a Arkulu (raná tuberizace) a Liu (pozdní tuberizace). Výsledky jsou velmi podrobné a zajímavé, proto je uvádím detailněji. Sklizeň brambor provedli na začátku září a hlízy neošetřili inhibitorem proti klíčení. Skladovali je ve tmě při 4 °C. Za těchto podmínek nedošlo ke klíčení hlíz po dobu 8 měsíců. Pro indukci klíčení byla část hlíz přenesena do pokojové teploty a hlízy byly ponechány ve tmě. Po začátku klíčení se braly vzorky každý druhý den. Pokud autoři práce odřízli skalpelem z hlízy slupku, přesněji vnější vrstvu korku do 1 mm, nazývali ji termínem 'skin', pokud odřízli vrstvu o tloušťce 2 mm, pojmenovali odříznutou část 'peel'.

Hlízy po skladování bez klíčků, nebo s klíčky do 3 mm délky sázeli v dubnu. Vzorky z rostlin odebírali každý pátý den až do objevení se listů. Poté byly rostliny analyzovány ve třech rozdílných velikostech. Některé klíčící hlízy byly sázeny do květináčů a ponechány růst při pokojové teplotě. Jejich přírůstky byly rychlejší, s delšími internodii než u rostlin rostoucích na poli. Stonky byly používány pro krmné pokusy s tropinonem. Listy tabáku (*Nicotiana tabacum*) byly získávány z kvetoucích rostlin ze skleníku. Extrakci a analýzu kalysteginů provedli podle Drägerové (1995).

Distribuce kalysteginů byla autory zkoumána ve třech dílčích etapách:

A. Rozložení kalysteginů v hlízách a klíčcích bramboru

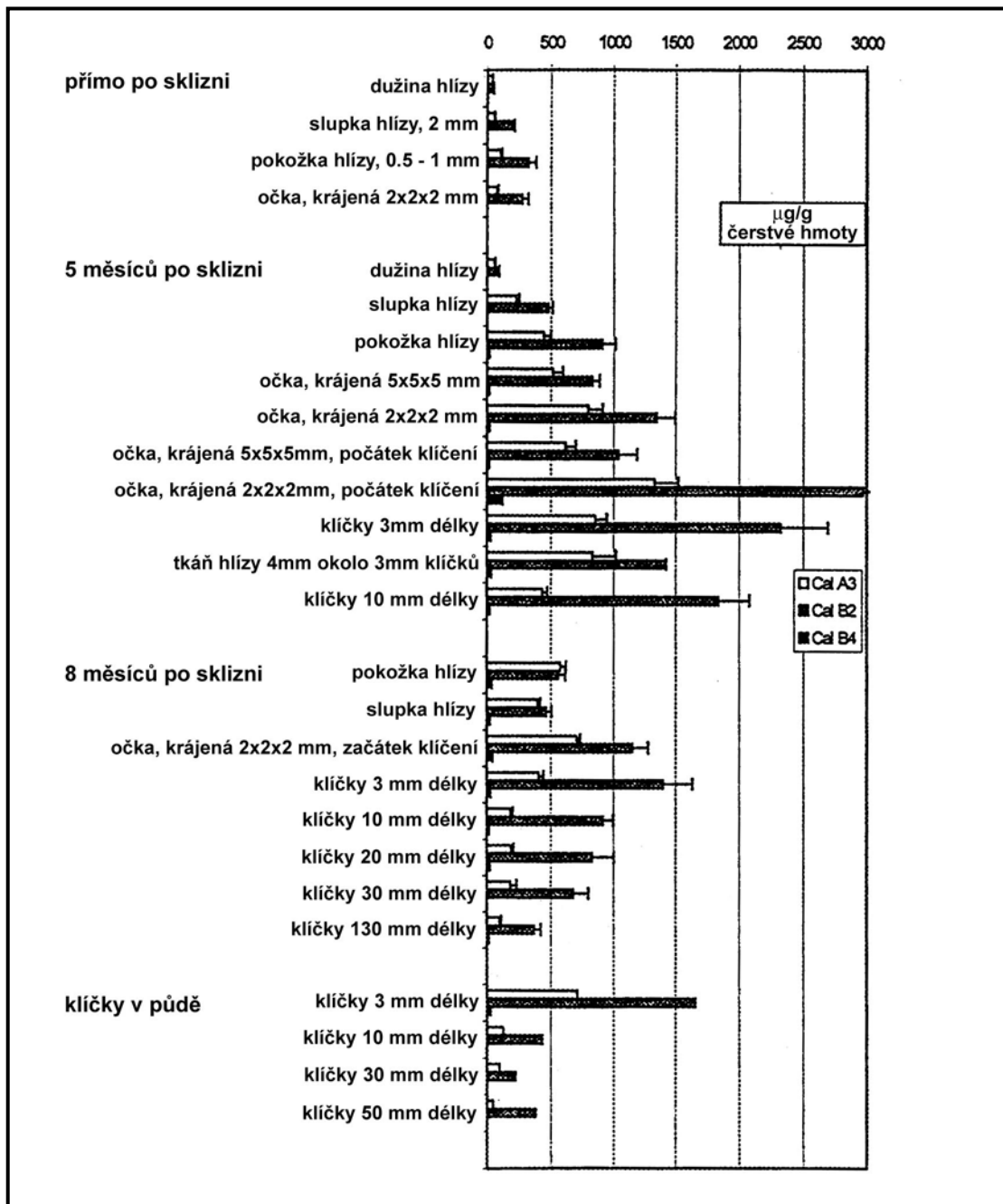
Hlízy a klíčky byly porovnávány ve stejných vývojových stadiích u všech tří odrůd. Mezi odrůdami nebyly zjištěny významné rozdíly v obsahu kalysteginů. Proto byla dále zkoumána pouze odrůda Liu, u které mohl být zvolen detailnější postup výzkumu. U hlíz byl nejdříve zjišťován obsah kalysteginů přímo po sklizni, kdy byly hlízy v endogenní dormanci a tudíž neklíčily. Všechny výsledky týkající se obsahu kalysteginů v hlízách a poté v klíčcích byly zpracovány graficky (obr. 11).

Pro následující pokusy byly hlízy skladovány při 4 °C. Jednotlivé klíčky se objevily po 3 měsících skladování a přenesení na 14 dní do pokojové teploty, kdežto po pěti měsících skladování při 4 °C a přenesení do pokojové teploty následovalo intenzivní klíčení již po jednom týdnu. Výsledky obsahu kalysteginů po pětíměsíčním skladování jsou v grafu zaznamenány.

Další klíčící hlízy byly analyzovány po 8 měsících skladování při 4 °C. Z kalysteginů byly nejvýznamnější A₃, B₂, a B₄. Jejich množství bylo kvantifikováno ve všech tkáních. Byla zaznamenána i přítomnost dalších kalysteginů A₅, B₁ a B₃ a byly porovnávány s extrakty z jiných rostlin obsahujících kalystegin jako *Calysteria sepium*, *Atropa belladonna*). Při identifikaci bylo využito metod GC a GC-MS. Ve vzorcích se vyskytovaly další kalysteginy, jejich množství však bylo pouze > 10 µg.g⁻¹ č.h. N-metyl kalystegin B₂ nebyl detekován v žádném extraktu z brambor.

Během čtyř měření provedených v rozdílných etapách vývoje bramboru (viz obr. 11) byla nejvyšší akumulace kalysteginů registrována v klíčcích očkách po pěti měsících skladování při 4 °C. Začátek klíčení (sprouting start – označený v grafu) byl definován při objevení se bílých špiček primordií velikosti menší než 1 mm. Všechny měřené tkáně měly v té době 3x vyšší obsah kalysteginů než byl zjištěn u dormantních hlíz před pěti měsíci.

Obr. 11. Hladiny kalysteginů v hlízách a klíčcích (podle Keinera, Drägerové, 2000)



Osm měsíců po sklizni byla akumulace kalysteginů v klíčcích očkách a malých klíčcích přibližně poloviční než po pěti měsících. Při rychlejším růstu klíčků v této etapě než po pěti měsíčním skladování, hladina kalysteginů klesala v přepočtu na č. h. Delší klíčky obsahovaly vyšší procento vody než tři milimetrové klíčky, a to úměrně s délkou (obr. 13). Toto samo, podle autorů, nebylo příčinou pro snížení koncentrace kalysteginů. Akumulace kalysteginů klesala s prodlužujícími se klíčky, ale nebylo to v souvislosti s růstem hmoty sušiny.

U hlíz rostoucích v půdě dosáhly kalysteginy v tří milimetrových klíčcích přibližně stejných hladin jako v klíčcích držných ve tmě při pokojové teplotě. U delších klíčků hladiny kalysteginů klesaly pronikavěji v půdě než při pokojové teplotě na vzduchu. Není dosud

jasné, zda snížení bylo způsobeno mechanickým vlivem půdy, nebo chladnější teplotou v půdě. Mohly být rovněž vyměšovány v důsledku přítomnosti mikroorganismů, jak se domnívali *T e p f e r et al.* (1988).

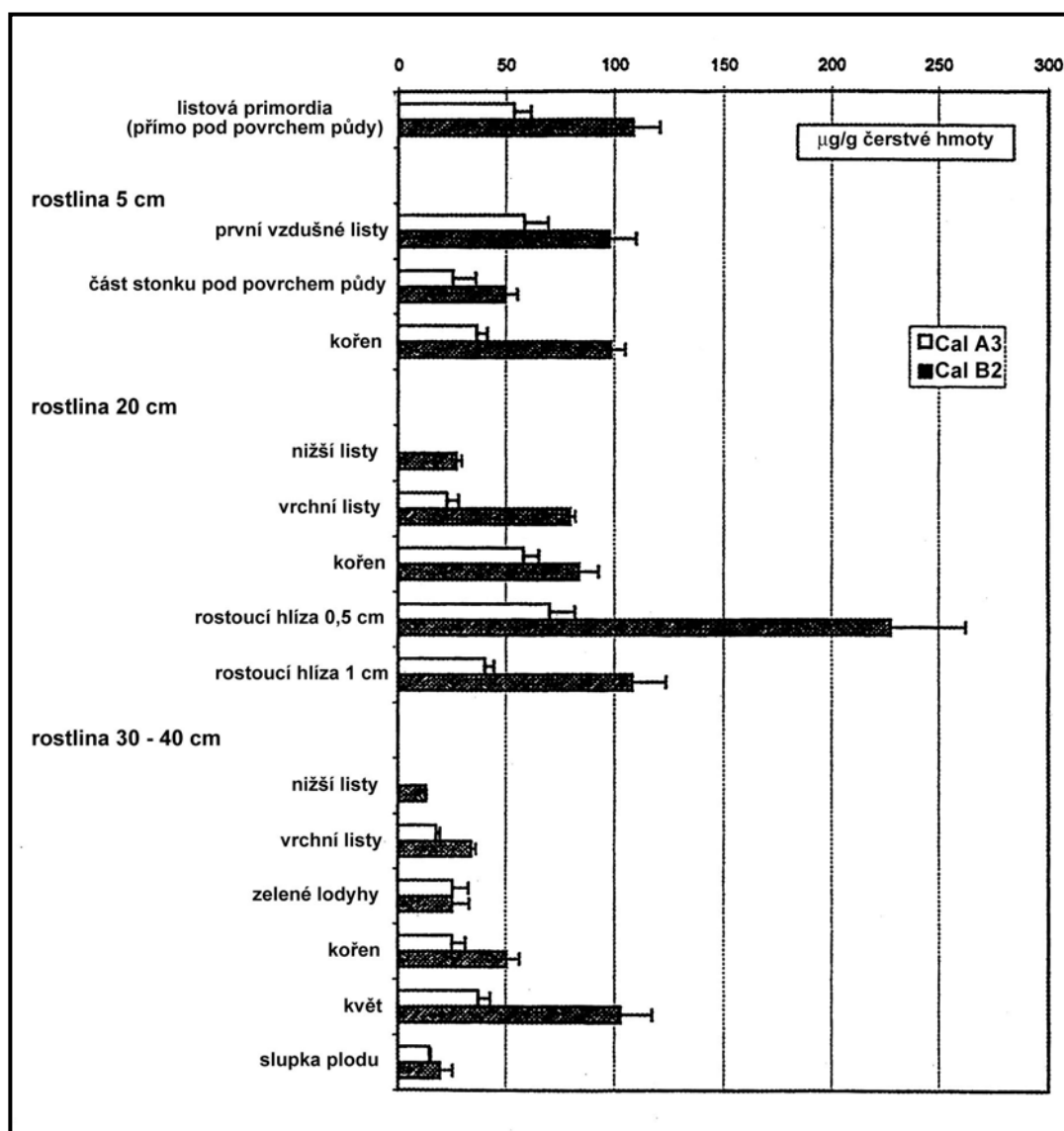
Poměr kalysteginů B_2 k A_3 byl poměrně konstantní v klíčcích, ale v dřeni a slupce se vztah měnil ve prospěch kalysteginu A_3 , u něhož je podezření, že je metabolitem (viz obr. 10).

Velká proměnlivost v hladinách kalysteginů v bramboru vysvětluje rozdíly hodnot uváděných v literatuře. *N a s h et al.* (1993) referují o 0,01 % kalysteginů v č. h. slupek brambor, zatímco *A s a n o et al.* (1997) našli 3,4 až 7,0 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ č. h. v celých hlízách, které ukazují na to, že byly vzorky z hlíz brány ve stadiu dormance.

B. Rozložení kalysteginů v rostlinách

Úroveň kalysteginů v kořenech a nadzemních částech bramboru ve třech stádiích vývoje (rostliny 5 cm; 20 cm a 30 až 40 cm vysoké) je zobrazena na obr. 12. Celkově jsou hodnoty v nadzemních částech mnohem nižší než v klíčcích hlízách. Pouze úrovně kalysteginů A_3 a B_2 byly určeny bez problémů, hladiny kalysteginu B_4 byly příliš nízké ke spolehlivé kvantifikaci.

Obr. 12. Úroveň kalysteginů v kořenech a nadzemních částech bramboru (podle Keinera, Drägerové, 2000)



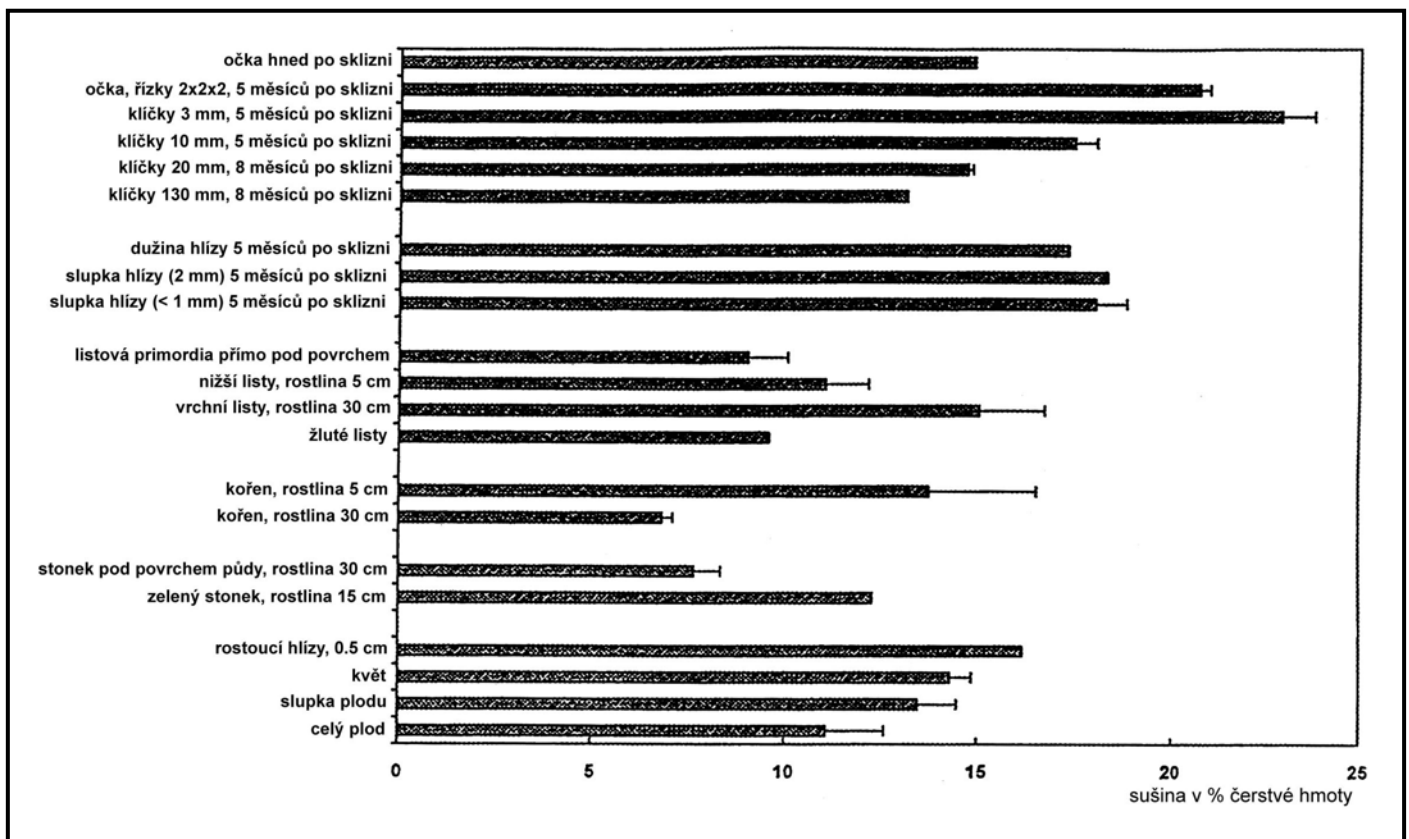
Listová primordia ještě pod povrchem půdy ukázala klesající hladiny kalysteginů v porovnání s klíčky v půdě. Prvé listy zachovávaly úroveň kalysteginů listového primordia. Zatímco v kořenech zůstával poměrně konstantní obsah kalysteginů až do 20 cm výšky rostlin, poté se s narůstající výškou snižoval, listy postupně kalysteginy ztrácely. Mladší listy obsahovaly více kalysteginů než listy starší, což platí i u jiných druhů rostlin z čeledi Solanaceae (Drägerová et al., 1995). V rostlinách 20 cm výšky se začínaly tvořit hlízy, které obsahovaly v tomto stupni vývinu vyšší koncentrace kalysteginů.

V době odběrů vzorků při výšce rostlin 30 – 40 cm již rostliny kvetly a spodní listy začínaly vadnout. Hlízy již téměř dosáhly své konečné velikosti. Extrahované květy jako celek, počítaje v to okvětní lístky měly nejvyšší úroveň zaznamenané v nadzemních částech rostlin. V dalších orgánech stárnoucích rostlin, např. žloutnoucích listech, vadnoucích listech, žlutých stoncích, bobulích byl obsah kalysteginů rovněž zjišťován, ale jejich úroveň byly příliš nízké $< 5 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ č. h. a nebyly tudíž graficky vyjádřeny.

V jednotlivých orgánech byla rovněž zjišťována sušina a obsah kalysteginů v ní byl rovněž vyjádřen (obr. 13). Podíl sušiny v nadzemních částech rostlin byl nižší než v hlízách, ale toto není důvod i pro nižší obsah kalysteginů v č. h. Obsah kalysteginů v přepočtu na sušinu v nadzemních částech rostlin byl také nižší.

Koncentrace kalysteginů v rostlinách jsou částečně shodné s koncentracemi glykoalkaloidů, vyšší jsou zejména v tkáních hlíz. Další rozdíl je, že se obsah kalysteginů ve slupce hlíz nezvyšuje osvětlením a v klíčcích vyrostlých za světla je obsah kalysteginů nižší než ekvivalent jejich obsahu v klíčcích vyrostlých ve tmě.

Obr. 13. Procenta sušiny v typických tkáních bramboru (podle Keinera, Drägerové, 2000)

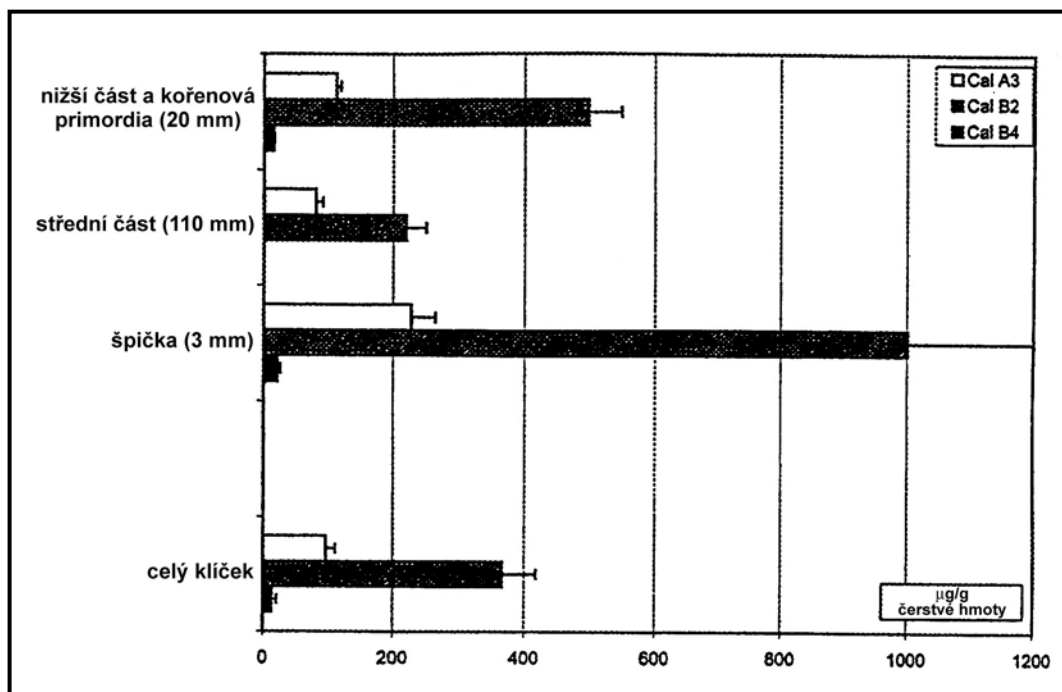


C. Rozložení kalysteginů během klíčení

Kalysteginy se akumulují převážně v oblasti vrcholu klíčku (ve špičce). Nejspodnější části klíčků obsahují vyšší úrovně kalysteginů, pravděpodobně způsobené jejich vyšší koncentrací v primordiu (meristemickém základu) kořene. Vyšší koncentrace kalysteginů ve vrcholu klíčku a v kořenové špičce byly porovnávány se střední částí klíčků > 100 mm. Výsledky jsou zachyceny na obr. 14. Kalysteginy, zdá se, se koncentrují v mladých meristemických tkáních. Podle Fellowse *et al.* (1992) by mohly být ochrannými sloučeninami pro jiné glykosidasové inhibitory.

Keiner a Drägerová (2000) rovněž testovali odezvu na mechanický stres poraněním klíčku skalpelem. Povrch 30 mm dlouhého a v průměru čtyř mm klíčku svísele poškrábali do 1 – 2 mm hloubky. Vzorky klíčků analyzovali každý den do šesti dnů po poranění.

Obr. 14. Rozdělení kalysteginů v dlouhých klíčcích (podle Keinera, Drägerové, 2000)



Po tuto dobu se neukázaly změny v obsahu kalysteginů. Po šesti dnech se vytvořila na poraněných místech hnědá korková vrstva a okraje výhonků začaly bujet. Tudíž poranění mělo vliv na růst, ale ne na akumulaci kalysteginů.

Za těchto podmínek, v rozmezí 24 h, byla popsána akumulace fytoalexinů bramboru. Typické fytoalexiny v odezvě na poranění hlíz jsou seskviterpeny rhishitin, lubimin a solavetivon. Tyto sloučeniny jsou sotva detekovatelné ve zdravých tkáních. V pokusech, prováděných výše zmíněnými autory, kalysteginy nebyly fytoalexiny ve smyslu že se objeví, nebo stoupne jejich koncentrace po biotickém nebo abiotickém stresu. Jestliže kalysteginy slouží jako obranné sloučeniny, jsou přirozenou ochranou pro mladé tkáně.

D. Tropinon jako metabolit

Protože měly klíčky nejvyšší akumulaci kalysteginů (obr. 11), byly prověřovány jako první předpokládaný stupeň biosyntézy kalysteginů redukcí tropinonu (viz obr. 10).

V prvé sadě pokusů Kei n e r a a Dr ä g e r o v é (2000) se tropinon dodával ke klíčkům brambor. Zkoumaly se rovněž listy bramboru. Jako kontrola byly brány listy tabáku. Po 24 h aplikace tropinonu ke klíčkům a listům byl zjištěn pomocí TLC a GC pseudotropin kromě nemetabolizujícího tropinonu. Tropin nebyl detekován. V kontrolních tkáních nebyly nalezeny žádné metabolity. V listech tabáku, k nimž byl dodán roztok tropinonu, byl zaznamenán tropinon pomocí GC a TLC, ale žádný pseudotropin ani tropin. Nikotin byl zjištěn pomocí TLC.

Po 3 h aplikace tropinonu ke stonkům bramboru byl tropinon detekován pouze v nejnižší části stonků (≈ 4 cm). Po 8 h byl tropinon nalezen v nejnižší a v nejbližší vyšší části, ale nebyl identifikován ani pseudotropin ani tropin. Po 18 h byl tropinon detekovatelný ve všech částech rostlin a v nejnižší části i pseudotropin, ale ne tropin.

Z pohledu autorů této práce je koncentrace pseudotropinu výsledkem tvorby bez dalšího metabolismu ke kalysteginům, takže se pseudotropin hromadí, protože při vysoké zásobě substrátu je redukce tropinonu velmi aktivní.

V souhrnu existuje transport tropinonu do tkání tabáku i bramboru, avšak tropinon je pouze redukován do pseudotropinu v klíčcích bramboru, stoncích a listech. Redukce je stereospecifická, s pouze pseudotropinem, ne akumulací tropinu. To je ve shodě se zjištěním dvou jednotlivých reductáz tropinonu v dalších druzích *Solanaceae* obsahujících alkaloid tropan (N a k a j i m a *et al.*, 1993; P e r t s t e f f e n *et al.*, 1994). Tvorba enzymu tropinu (TR I – obr. 10) vede k hyoscyaminu a skopolaminu, které však do té doby nebyly nalezeny v bramboru. Podle autorů je podezření, že tvorba enzymu pseudotropinu (TR II) se účastní biosyntézy kalysteginů.

Popsané pokusy jsou brány jako první důkaz, že tropinon a pseudotropin jsou metabolity pro biosyntézu kalysteginů v rostlině bramboru.

Kei n e r *et al.* (2002) v navazující práci izolovali cDNA ze *S. tuberosum* s vysokou shodou k pseudotropinové formě reductázy tropinonu (TR II), která se prezentuje jako první údajný metabolit specifický s kalysteginem. Ekvivalent sekvence aminokyseliny ukazoval typické podněty krátko-řetězcové dehydrogenázy (short-chain dehydrogenase [SDR]). (Lze rovněž přeložit jako: dehydrogenáza krátko-řetězcových acylů). Rekombinantní protein TR II vyjádřený v *Escherichia coli* katalyzuje tvorbu pseudotropinu z tropinonu s K_m hodnotou, optimálním pH, substrátem a kosubstrátem podobným k enzymům TR II zjištěným v jiných druzích čeledi *Solanaceae*. Gen je vyjádřen v kořenech, hlízách a nadzemních částech bramboru. Rozdělení přepisu TR II v porovnání s koncentracemi kalysteginů ve tkáních předpokládá transport kalysteginů nebo jejich prekurzorů mezi orgány bramboru.

Nejnověji byla zpracována chemie, biologie, včetně biosyntézy a biologické aktivity (biochemické aktivity a toxicity, lékařských aplikací) Dr ä g e r o v o u (2003). Do přehledu zahrnuje citace 150 prací.

3.3. Akrylamid

Jedná se o látku dlouhou dobu používanou v průmyslu, vyskytující se na seznamu toxických sloučenin ohrožujících lidské zdraví, a teprve nedávno objevenou ve větším množství v potravinách obsahujících škrob, o níž je mezi odbornou veřejností značný zájem. Po výše uvedeném zjištění byla reakce této veřejnosti nejdříve k faktům odmítavá. Historie objevu látky u lidí byla následující: Vědečtí pracovníci z Úřadu pro potraviny ve Švédsku (Swedish National Food Administration) zveřejnili v r. 2002 v dubnu informace týkající se výskytu akrylamidu v potravinách bohatých na škrob (Müller, 2002). Již před tímto zveřejněním zjistili v Ústavu pro chemii prostředí na Universitě ve Stockholmu akrylamid v krevním barvivu hemoglobinu po jedné pracovní nehodě s akrylamidem při práci v tunelu v Hallandsas (Švédsko). Akrylamid byl nalezen v krvi jak u dělníků pracujících v tunelu, tak i u lidí z kontrolní skupiny, která v tunelu nepracovala. Výsledky pokusů krmených krys potravinami připravovanými pečením vedly poté k úvaze, že se akrylamid možná vytváří při přípravě potravin. V přehledném článku o tomto problému s odkazy na literaturu referují Haase *et al.* (2003a).

Další pokusy a vývoj nových a rychlejších metod ke stanovení akrylamidu prokázaly, že v potravinách bohatých na sacharidy připravovaných fritováním, smažením nebo pečením vzniká vysoký obsah akrylamidu (až 2 300 $\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ – Svensson *et al.*, 2003). Tyto velmi vysoké hodnoty byly nalezeny v hranolcích a lupíncích. V Japonsku ve zpracovávaných potravinách (32 položek, 63 výrobků) prodávaných v supermarketech byly stanoveny (pomocí LC-MS/MS a GC-MS metod¹) hodnoty ještě vyšší (Yoshida *et al.*, 2002). Mez detekce (detekční limit) a mez stanovitelnosti byly 0,2 a 0,8 $\text{ng} \cdot \text{ml}^{-1}$ pro LC-MS/MS metody a 12 a 40 $\text{ng} \cdot \text{ml}^{-1}$ jako brom obsahující formu akrylamidu pro GC-MS metody. Opakovatelnost vyjádřená jako RSD (%) pro LC-MS/MS metody byla < 5 % a pro GC-MS byla < 15 %. Vysoká korelace ($r^2 = 0,946$) byla zjištěna mezi hodnotami získanými pomocí těchto dvou metod. Hladina akrylamidu byla 439 – 1 870 $\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ pro bramborové lupínky, 15 – 3 540 $\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ pro smažené „snacky“, 17 – 303 $\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ pro rýžové krekery a 4 – 54 $\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ pro instantní nudle a „won-tons“ (tlusté čínské nudle).

Blíže o akrylamidu

Akrylamid ($\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CONH}_2$) průmyslově vyráběná α , β – nenasycená (konjugovaná) reaktivní molekula se používá v průmyslu jako výchozí látka při výrobě polyakrylamidu. Jeho oblast užití je v textilním průmyslu, při výrobě balících materiálů, případně jako flokulační prostředek (technologický prostředek při úpravě vody k odstranění hlavně koloidních látek, které nelze vyloučit z vody pouhým usazováním; chemickými srážedky se vytvoří vločky padající ke dnu) při přípravě pitné vody. Gel polyakrylamidu se používá při identifikaci odrůd, mj. bramboru jako dělicí medium. Lidé, kteří přicházeli často do styku s polyakrylamidem, mívali zdravotní obtíže. Látka poškozuje nervy, váže se na proteiny zajišťující základní funkce neuronů a znemožňuje jim přenášet nervové vzruchy. Počet dosud předložených zkoumání je ovšem příliš malý, aby z toho mohly být vyvozeny skutečné závěry o mechanismu účinku. Podrobnosti o chemismu, biochemii a bezpečnosti akrylamidu zpracoval v přehledu Fridman (2003).

Zatímco polyakrylamid je relativně bezpečný (musí se brát v úvahu skutečnost uvedená výše), existuje monomer akrylamidu jako reaktivní agens v podezření potenciálního zdroje

¹ LC – kapalinová chromatografie

MS – hmotová spektrometrie

GC – plynová chromatografie

rakoviny pro lidi. Příčinná souvislost mezi působením akrylamidu a vznikem rakoviny u člověka rovněž nebyla do současné doby spolehlivě prokázána. Od mezinárodní agentury pro výzkum rakoviny (IARC)² byl však akrylamid zařazen jako „pravděpodobný karcinogen pro lidi“ do skupiny 2A. Také v evropském právním systému byl akrylamid přiřazen do látek způsobujících rakovinu. U pokusných zvířat se v laboratorních testech akrylamid projevil jako karcinogen. U samců laboratorních potkanů vážně narušoval plodnost. U krys, jímž byl podáván akrylamid v pitné vodě se ukázaly rovněž neurotoxické a reprodukční vady. Přitom nejvyšší dávka při které ještě nebyl vyvolán vliv byla při 500 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ hmotnosti těla a den. Jednoznačný negativní vliv se projevil při 2 000 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ a den.

Toxikologové se ve vztahu k akrylamidu v potravinách obávají především o zdraví dětí, které přijímají s potravou podstatně větší množství akrylamidu na kilogram tělesné hmotnosti než dospělý člověk.

V průběhu výzkumu akrylamidu byly identifikovány faktory, které ovlivňují jeho tvorbu v potravinách:

A. přítomnost nízkomolekulárních sacharidů v potravinách, zvláště redukcí cukrů (glukóza, fruktóza)

Pro mnohé konzumenty jsou smažené nebo pečené brambory v profesionálních nebo soukromých kuchyních největším zdrojem expozice akrylamidu. Tvorba akrylamidu může být redukována pomocí vhodných technik přípravy suroviny. Počínaje výběrem odrůdy s nízkým obsahem redukcí cukrů, který je nezbytný. B i e d e r m a n n - B r e m *et al.* (2003) hodnotili chuť restovaných (roast potatoes, hash browns, Rosti) a pečených brambor (Bratkartoffeln) při optimální kulinářské kvalitě s ohledem na správnou křupavost (chřupavost) a poté byly hodnoceny podle stupně zhnědnutí, chutě a obsahu akrylamidu. Postup byl při přípravě před hodnocením optimalizován k produkci minima akrylamidu. Bylo zjištěno, že hlízy s méně než 0,2 g fruktózy a glukózy $\cdot \text{kg}^{-1}$ č. h. nejsou vhodné pro pečení z důvodů nedostatečného zhnědnutí a chuti, kdežto restované výrobky s minimem křupavosti, připravované z hlíz s více než 1 g redukcí cukrů na kg obsahují více než 500 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ akrylamidu. Bylo navrženo, aby hlízy, používané pro pečení a restování, obsahovaly méně než 1 $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ č. h. redukcí cukrů. Tento požadavek může být, podle autorů, snadno splněn výsadbou nejvýznamnější odrůdy brambor pěstované ve Švýcarsku za předpokladu, že hlízy nebudou skladovány (před zpracováním) při teplotě 4 °C.

Na obsah redukcí cukrů v hlízách má také vliv zásobení vodou během vegetace. E l d r e d g e *et al.* (1996) upozornili na skutečnost, že brambory pěstované na potravinářské zpracování v zavlažovaných oblastech někdy vytvářejí nežádoucí vysoké koncentrace redukcí cukrů v pupkové části hlízy v důsledku teplého počasí a nedostatku vody během vývoje hlíz. Např. hranolky vyrobené z těchto hlíz mají často tmavý neboli „cukrový konec“. Aby se lépe určil vztah mezi nedostatkem vody a hladinou cukrů v pupkové části hlíz odr. Russet Burbank, stanovila se jednotlivá období s nedostatkem vody tím, že byla posunuta aplikace závlahy, dokud nebylo dosaženo potenciálu vody v půdě v rozmezí -32 až -107 kPa během počáteční tvorby hlíz. Aby se zjistilo, zda došlo ke zvýšení hladiny cukrů, odebrali autoři příspěvku vzorky hlíz před obdobím nedostatku vody, při maximálním nedostatku, po závlaze postřikem a po sklizni. Koncentrace redukcí cukrů se v pupkové části hlíz nezvyšovala 2 týdny nebo déle po skončení období nedostatku vody. Zvýšená koncentrace redukcí cukrů byla pozitivně spojena se sníženým potenciálem vody v půdě (sušší půda). Vliv vyvolaného nedostatku vody na koncentraci redukcí cukrů v pupkové části hlíz byl nejvíce patrný po sklizni. Další podrobnosti o redukcích cukrech, zejména v období skladování hlíz uvádí např. P o p p r , H o l á (1995), V a c e k (1999).

Tvorbu akrylamidu v bramborových lupíncích sledovali ve vztahu k odrůdě a poloze stanoviště včetně produkčního procesu Haase *et al.* (2003b). Jak odrůda brambor, tak poloha stanoviště měly značný vliv na tvorbu akrylamidu. Rozdíly mezi stanovišti se měnily i v závislosti na délce vegetační doby odrůd. Redukce obsahu cukru při blanširování nebo namáčení snížila koncentraci akrylamidu o 60%. Nebyly pozorovány rozdíly mezi blanširováním a namáčením v konečném obsahu akrylamidu. Blanširování odstranilo více glukózy a fruktózy než sacharózy, kdežto vliv namáčení byl opačný. Celkový obsah redukujících cukrů ukázal dobrou korelaci s koncentrací akrylamidu ve smažených výrobcích – $r^2 = 0,64$. V detailu byla korelace výrazná pro monosacharidy (glukóza: $r^2 = 0,60$; fruktóza: $r^2 = 0,56$), kdežto obsah disacharidů neukázal korelaci s koncentrací akrylamidu (sacharosa: $r^2 = 0,24$). Navíc k tomuto postupu snížením smažicí teploty ze 185 na 165 °C a ze 190 na 150 °C, případně přizpůsobením doby smažení bylo možno snížit tvorbu akrylamidu na polovinu, resp. na třetinu.

Tareke *et al.* (2002) uvádějí, že produkty akrylamidu s hemoglobinem končícím N jsou pravidelně pozorovány u osob aniž by byly vystaveny působení akrylamidu. Průměrná hladina hemoglobinu naměřená u dospělých ve Švédsku je předběžně odhadována na 100 µg akrylamidu denního příjmu. Protože by se mohla tato absorpce spojit s významným rizikem rakoviny, bylo důležité vzít v úvahu zjištění jeho původu. Bylo předpokládáno, že akrylamid byl tvořen při zvýšené teplotě úpravy jídel, jež bylo udáváno v dřívějších studiích hodnotících smažené živočišné pokrmy.

Autoři referují o analýzách tvorby akrylamidu během přípravy různých potravin za horka. Hladiny akrylamidu v potravinách byly analyzovány pomocí zlepšené plynové chromatografie ve spojení s hmotovou spektrometrií (GC-MS) po bromaci akrylamidu a pomocí nové metody pro měření nederivatizovaného akrylamidu kapalinovou chromatografií ve spojení s hmotovou spektrometrií (LC-MS) užitím hmotnostní spektrometrie (MS/MS). Pro obě metody byla reprodukovatelnost daná jako variační koeficient stejná do 5 % a výtěžnost (zpětný nález) byla blízká 100 %. Pro GC-MS metodu byl docílený detekční limit akrylamidu 5 µg.kg⁻¹ a pro LC-MS/MS metodu 10 µg.kg⁻¹. Analytické hodnoty dosažené LC-MS/MS metodou byly 0,99 (0,95 – 1,04; konfidenční interval 95 %) GC-MS hodnot. LC-MS/MS metoda je jednodušší a lepší pro většinu běžných analýz. Společné zachycení různých analytických dat by se mohlo považovat jako důkaz totožnosti akrylamidu. Studia s laboratorně připravovanými jídlami za horka objasnila teplotní závislost tvorby akrylamidu. Poměrně malé hladiny akrylamidu (5 – 50 µg.kg⁻¹) byly změřeny v potravě bohaté na proteiny, připravované za horka a vyšší obsahy (150 – 4000 µg.kg⁻¹) v potravě bohaté na sacharidy, jako např. brambory, červená salátová řepa a také určité výrobky z konzumních brambor připravovaných za horka a křehký chlebový suchar (crispbread). Akrylamid nebyl téměř detekován v neohřívaných kontrolách nebo vařených potravinách, kde byl jeho obsah shledán nižší než 5 µg.kg⁻¹. Konzumní zvyky indikují, že hladiny akrylamidu ve studovaných potravinách připravovaných za horka mohou vést k dennímu příjmu několika málo desítek mikrogramů.

Analýzu akrylamidu ve vařených jídlech pomocí kapalinové chromatografie v tandemu s hmotovou spektrometrií provedli Rosen a Hellenas (2002). Metoda zahrnuje přidání akrylamidu-d³ značeného deuteriem, extrakci s vodou, extrakci směsi pevné fáze, ultrafiltraci a grafitovou kolonu pro chromatografii. Přechody m/z 72 > 55, 72 > 54, 72 > 44, 72 > 27, 72 > 72 a 75 > 58 byly registrovány v několikanásobném reakčním monitorovacím způsobu pro identifikaci a kvantifikaci. Jsou vyjádřeny údaje při domácím ověřování pro výrobky z brambor a obilí (30 do 10 000 µg.kg⁻¹, zpětný nález - výtěžnost 91 do 102 %, relativní směrodatná odchylka 3 do 21 %). Mezilaboratorní ověřování dat (porovnání plynové chromatografie s hmotovou spektrometrií v rozsahu 25 do 2 000 µg.kg⁻¹) ukázalo znamenité výsledky – $r^2 = 0,998$.

² IARC - International Agency for Research on Cancer

B. nízkomolekulární dusíkaté sloučeniny v potravinách (AK, zvláště asparagin)

Tým britských vědců z Univerzity v Readingu zjistil (P e t r , 2002), že akrylamid vzniká tzv. Maillardovou reakcí aminokyseliny asparaginu s cukry. Zároveň vědci prokázali, že se akrylamid váže v lidských buňkách na molekuly DNA, které jsou základem dědičné informace. To jen prohloubilo obavy z rakovinotvorného účinku akrylamidu.

Vedoucí výzkumného týmu prof. Donald Mottram je přesvědčen, „... že poznáním mechanismu vzniku této látky v tepelně zpracovávaných potravinách se otevírá cesta k opatřením, jež by mohla výskyt nebezpečné látky snížit. Potravinářské technologie produkující potraviny bez akrylamidu ale nejsou na programu dne. To bychom museli přestat potraviny tepelně upravovat.“

Porovnání odrůd a systému hospodaření při potenciální tvorbě akrylamidu, cukrů a volného asparaginu v hlízách bramboru provedli A m r e i n *et al.* (2003). Analyzovány byly glukóza, fruktóza, sacharóza, volný asparagin a volný glutamin v 74 vzorcích hlíz 17 odrůd pěstovaných v r. 2002 na různých stanovištích a v různých systémech hospodaření ve Švýcarsku. Možnost tvorby akrylamidu u těchto brambor byla měřena standardizovanou tepelnou úpravou. Tyto schopnosti dobře korelovaly s produkty koncentrací redukovaných cukrů a asparaginu. Glukóza a fruktóza byly autory shledány jako vhodné pro určení tvorby akrylamidu. Odrůdy ukázaly veliké rozdíly ve svém potenciálu tvorby akrylamidu, které byly primárně vztahovány k jejich obsahu cukru. Postupy při pěstování plodiny neovlivnily cukry a volný asparagin, ani potenciál tvorby akrylamidu, na rozdíl od závěrů některých autorů. Závěr z analýz, které provedli, byl, že obsah akrylamidu ve výrobcích z hlíz bramboru může být primárně značně redukován pomocí výběru vhodných odrůd s nízkými koncentracemi redukujících cukrů.

V reakčních modelech mezi aminokyselinami a glukózou i asparaginem našli B e c a l s k i *et al.* (2003) hlavní prekursor akrylamidu. Byl tvořen v reakci mezi N^{15} (amido) označeným asparaginem a glukózou ve shodě s akrylamidem označeným N^{15} . Výtěžek modelové reakce byl přibližně 0,1 %. Akrylamid v hlavních potravinářských produktech, v bramborových lupíncích, hranolcích, obilovinách a chlebu zjišťovali kapalinovou chromatografií v tandemu s hmotovou spektrometrií (LC-MS/MS). Vzorky homogenizovali s vodou/dichlormetanem, centrifugovali a filtrovali přes 5 kDa filter. Filtrát vyčistili mixážním způsobem, výměnou anionu a kationu (Oasis MAX a MCX), uhlíkatou kolonkou (Envirocarb). Analýzu prováděli pomocí izotopového roztoku ($[D-3]$ - nebo $[C-13^3]$ akrylamidu) elektrosprejem LC-MS/MS užitím kolony 2 x 150 mm (nebo 2 x 100 mm) Thermo HyperCarbové kolony eluované s 1 mM mravenčnanem sodným v 15 % (nebo 10% pro 2 x 100 mm kolonu) metanolu. Analyzovali 30 vzorků potravy. Koncentrace akrylamidu kolísala od 14 $ng.g^{-1}$ (chléb) do 3 700 $ng.g^{-1}$ (bramborové lupínky). Akrylamid byl utvářen během reakčního modelu zahrnujícího zahřívání, směs aminokyselin a glukózy v těch poměrech, které byly nalezeny u brambor. V pozměněné sestavě B e c a l s k i *et al.* (2004) sledovali vliv volných aminokyselin a cukrů na tvorbu akrylamidu v hranolcích.

Na základě výše zmíněných publikovaných údajů (R o s e n a H e l l e n a s , 2002) byly G u t s c h e m *et al.* (2002) presentovány dvě alternativní metody HPLC-MS/MS z Chemické a veterinární pokusné služby (Chemische und Veterindrunter-suchungsamter) ve Stuttgartu a Sigmaringenu užitím ionizačního elektrospreje pro kvantifikaci akrylamidu v potravě. Po odmaštění a přidání akrylamidu- d^3 jako vnitřního standardu byly vzorky extrahovány vodou v ultrazvukové lázni, proteiny vysráženy přidáním Carrezových roztoků a roztoky byly posléze čištěny filtrací, mixovány způsobem extrakce pevné fáze. Po chromatografické separaci na hypercarb koloně byl akrylamid detekován způsobem několikanásobné reakce pomocí hmotového přechodu m/z 72 > 55, 72 > 54 a 72 > 44 akrylamidu- d^3 při přechodu m/z 75 > 58 a 75 > 44 užitím dvou rozdílných hmotových spektrometrů. Vnitropodniková

validace údajů jako např. výtěžnost (přibližně 96 %), opakovatelnost (1,7 k 6,9 % relativní směrodatné odchylky – RSD) a reprodukovatelnost byla podána 19 nezávislými analýzami (11 % RSD). Hodnocení výsledků 279 vzorků potravy analyzovaných od května do srpna 2002 potvrdilo publikované koncentrace akrylamidu, jakož i vyšší obsahy především na sacharidy bohatých potravin, jako např. smažené brambory nebo potraviny z obilovin. Porovnání koncentrací akrylamidu rozdílné produkce týž produktů udělalo jasno, proč obsah akrylamidu průkazně kolísá u výrobků v rozmezí od 17 do 36 % RSD. Modelové reakce zahřívání sušených směsí brambor při různých teplotách nebo po různou délku trvání ohřevu demonstrovaly rozložení akrylamidu. Studia týkající se laboratorní přípravy lupínků vedla ke spotřebitelskému doporučení, aby se věnovala náležitá pozornost optimálnímu hnědnutí výrobku.

Modelovým pokusům zaměřeným na zjištění asparaginu jako prekurzoru, resp. prozkoumání mechanismu tvorby akrylamidu ve výrobcích z hlíz bramboru, připravovaných za horka se věnovali *Weisshaar a Gutsche* (2002). Za tímto účelem zahřívali různé látky jako organické kyseliny, cukry a aminokyseliny pomocí škrobu nebo silikagelu jako nosné látky. Nízká množství akrylamidu byla utvářena zahřátím kyseliny askorbové a přidáním dusíkatého zdroje jako octan amonný nebo glutamin. Průkazně vyšší výtěžky akrylamidu byly tvořeny horkým asparaginem. Množství akrylamidu se dramaticky zvyšovalo pokud byl asparagin zahříván za přítomnosti glukózy nebo fruktózy. Asparagin nepůsobil pouze jako zdroj dusíku. Zdá se být zřejmé, že kompletní páteř molekuly akrylamidu je tvořena z asparaginu. Byly zjištěny indikace, že v analogické reakci je tvořen 3-butenamid, pokud byl glutamin zahříván za přítomnosti redukcujících cukrů.

C. vliv teploty

Spolupráci mezi kuchaři a analytiky při výrobě hranolků s méně než $100 \mu\text{g.kg}^{-1}$ akrylamidu popsali *Grob et al.* (2003). Ve spolupráci s kuchařskými experty byla optimalizována příprava hranolků v oleji a v pečící troubě, směřující k optimu kuchařské kvality kombinované s minimem obsahu akrylamidu ($40 - 70 \mu\text{g.kg}^{-1}$). Byl to 5 – 10 x nižší obsah než běžný normál. Syrové hlízy by měly, podle autorů, obsahovat málo redukcujících cukrů, tzn. dbát na výběr vhodné odrůdy a optimální skladování při teplotě vyšší než 10°C . Po rozřezání a vyloučení drti byly hlízy ponořeny do chladné nebo z boileru ohřáté vody po dobu cca 15 min. k vyloučení asparaginu a cukrů z povrchu hranolků, aniž by se vymyl škrob. Před smažením v oleji (ca 140°C po dobu 2,5 min.) zlepšuje křehkost. Bylo zjištěno, že by se smažení mělo provádět při počáteční teplotě oleje kolem 170°C a množství hlíz by se mělo pohybovat okolo 100 g na litr oleje. Protože se tvorba akrylamidu zvyšuje ke konci smažení exponenciálně, je důležité, pro udržení jeho nízkého obsahu, určit optimální dobu smažení. Hranolky by měly být křupavé s nepatrným zhnědnutím konců k docílení typické chuti, ale bez celkového zhnědnutí. Pokud se hranolky připravují v pečící troubě ze zmrazeného polotovaru, vyžaduje smažení teplotu kolem 190°C nebo 220°C , závislé na tom, zda-li v ní cirkuluje nebo necirkuluje vzduch. Správné rozhodnutí bodu konce smažení uvedli autoři opět jako nejkritičtější krok.

Tvorbu akrylamidu měřili v reálném čase během ošetření brambor rozdílnou teplotou ($120 - 170^\circ\text{C}$) i v systému Maillardova modelu skládaného z asparaginu a redukcujících cukrů, jako např. fruktóza a glukóza *Pollien et al.* (2003). Docílili toho on-line monitoringem akrylamidu uvolněného do prostoru těsně nad vzorky použitím hmotnostní spektrometrie protonovou ionizací (PTR-MS = proton transfer reaction mass spectrometry). Nepochybná identifikace akrylamidu pomocí PTR-MS byla provedena plynovou chromatografií ve spojení hmotnostní spektrometrie s elektronovou ionizací a protonovou ionizací PTR-MS. PTR-MS ion signál při m/z 72 se ukázal být výlučně způsoben protonovým akrylamidem obdrženým bez fragmentace. V modelu Maillardova systému tvorba akrylamidu

z asparaginu byla získána zvýšenou teplotou a spíše v přítomnosti fruktózy. Maximální signál intenzity v „headspace“ byl dosažen podobně do 2 min. při 170 °C, zatímco bylo nutných 6 - 7 min. při 150 °C. Podobně hladina akrylamidu uvolněná do „headspace“ během teplotního ošetření brambor byla v pozitivní korelaci k teplotě.

D. k předchozím třem faktorům přistupuje (jak uvádějí H a a s e *et al.*, 2003a) (nízká dostupnost vody)

Ve světě bylo prověřováno mnoho potravin na obsah akrylamidu, např. 400 vzorků potravy, hlavně asijské, dostupné v Hong Kongu, kterou testovali L e u n g *et al.* (2003) pomocí LC-MS/MS metod užitím (1, 2, 3-C- 13)-akrylamidu jako zástupce akrylamidu. Hladiny akrylamidu ve většině obvyklých položek potravin jako rýže a výrobky z rýže, nudle, produkty pekáren a základů těst byly obecně nižší než 60 $\mu\text{g.kg}^{-1}$. Vyšší hladiny byly nalezeny v takových skupinách potravin jako produkty příbuzné sušenkám (keksům) a křupkám. Nejvyšší hladiny byly detekovány v bramborových lupíncích (1 500 – 1 700 $\mu\text{g.kg}^{-1}$). Nízké hladiny byly zjištěny v křupkách z žitné mouky (440 $\mu\text{g.kg}^{-1}$), následovaly kukuřičné (65 – 200 $\mu\text{g.kg}^{-1}$) a křupky z pšeničné mouky (61 – 200 $\mu\text{g.kg}^{-1}$) a nejnižší hladiny byly v křupkách z rýžové mouky (15 - 42 $\mu\text{g.kg}^{-1}$). Dále autoři studovali tvorbu akrylamidu v průběhu fritování u produktů z pšeničné mouky a čínských smažených lívanečků (Chinese fried fritter). Fritování (deep-frying) při 170 °C vedlo k mírnému ale stálému vzestupu obsahu akrylamidu. Byl zaregistrován strmý vzestup při fritování 210 °C. Vlhkost obsahu výrobku se snižovala s dobou fritování, ale obsah tuku se zvyšoval. Autoři navrhuje, že reakce pro tvorbu akrylamidu je iniciována na povrchu a poté proniká dovnitř matrice potraviny, horkem se přenáší zářením nebo vedením a difuzí horkým olejem.

Zjištění expozice akrylamidu z potravy holandské populace a hodnocení následujících rizik provedli K o n i n g s *et al.* (2003) na základě oznámení Švédské potravinářské správy (Swedish Food Administration) koncem dubna r. 2002 o přítomnosti akrylamidu v potravinářských výrobcích zpracovávaných za horka. Účelem těchto studií byly:

- (1) analýzy obsahů akrylamidů nejdůležitějších potravin přispívajících k takovým odhalením,
- (2) odhady expozic akrylamidem v reprezentativním vzorku nizozemské populace
- (3) odhad zdravotních rizik veřejnosti konzumující tyto potraviny.

Obsah akrylamidu v potravinách autoři analyzovali pomocí LC-MS/MS metod. Výsledky byly poté užity k odhadu expozic akrylamidu konzumenty, kteří se podíleli v Národním přehledu potravinové spotřeby (NFCS - National Food Consumption Survey) v r. 1998 (n = 6250). Expozice byla odhadnuta užitím pravděpodobnosti pro celkovou nizozemskou populaci a několik věkových skupin. V 344 výrobcích potravin se množství akrylamidu pohybovalo v rozmezí od < 30 do 3 100 $\mu\text{g.kg}^{-1}$. Z potravin s nejvyšším průměrným množstvím akrylamidu měly bramborové lupínky 1 249 $\mu\text{g.kg}^{-1}$, hranolky fritované 351 $\mu\text{g.kg}^{-1}$, směs „snacků“ 1 060 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ a perníky 890 $\mu\text{g.kg}^{-1}$. Průměrná expozice akrylamidu účastníků NFCS byla 0,48 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ brutto hmotností (bw) za den. Autoři uvádí, že riziko neurotoxicity je zanedbatelné. Z expozičního odhadu se ukazuje, že dodatečné riziko karcinomu však zanedbatelné být nemusí.

Třebaže se příjem akrylamidu spotřebiteli s ohledem na velké tradiční rozdíly v konzumaci potravin v Německu daří velmi obtížně zprůměrovat, přece jenom se nechá alespoň přibližně odhadnout. H a a s e *et al.* (2003a) uvádí výsledné zatížení 0,57 $\mu\text{g/kg/den}$, což velmi dobře souhlasí s odhady z jiných středoevropských zemí. Ve svém přehledu posledně jmenovaní autoři uvádí druhou (duplikátní) studii provedenou ve Švýcarsku, která však není reprezentativní pro velmi malý počet účastníků. Průměrné zatížení akrylamidem tam vyšlo 0,46 $\mu\text{g/kg/den}$. Upozorňují, že existují rizikové skupiny, které přijímají podstatně

vyšší množství akrylamidu. Ve skupině patnácti – osmnáctiletých byla pozorována jedna podskupina s vysokou spotřebou velmi zatížených potravin akrylamidem a pro tuto skupinu byla denní příjmová hodnota vypočítána na $3,38 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$.

Tolik k nebezpečnosti akrylamidu v potravinách pro lidskou populaci z výběru několika málo prací z poslední doby. Haase *et al.* (2003a) v článku, jehož obsah v této kapitole rozvádím podrobněji, upozorňují na akrylamid jako na stavební prvek polyakrylamidu během výroby umělých látek, kde zůstává tato látka ve stopách ve výrobcích. Požaduje se proto u spotřebních předmětů, aby nedocházelo k migraci akrylamidu z obalových materiálů do potravin. Hranice průkaznosti pro akrylamid je $0,01 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. Konzument má být chráněn před překročením této hodnoty u obalových materiálů. Tato hraniční hodnota není ovšem toxikologicky odůvodněna, nýbrž je definována hranicí průkaznosti pro akrylamid.

Hraniční hodnota pro pitnou vodu uvnitř Evropské unie byla stanovena na $0,1 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ vody. Nenechá se rovněž přenést na potraviny. Také tato hraniční hodnota není z toxikologických důvodů tak nízko stanovena, nýbrž na základě své technické vyhnutelnosti (Vermeidbarkeit) – čemu se lze vyhnout, čeho se vyvarovat.

V uváděném literárním přehledu byla naznačena možnost ovlivnění konečného obsahu akrylamidu v potravinářských výrobcích již v surovině vyráběné zemědělským sektorem (mj. dodáním živin, regulací vodního režimu, které mají podstatný vliv na složení obsahových látek v době sklizně, správným skladovacím režimem omezujícím hladinu redukujících cukrů; Noti *et al.*, 2003). Obdobně stanovité se svojí specifickou půdní strukturou a mikroklimatem ovlivňuje zřetelně obsah redukujících cukrů a tím i obsah akrylamidu v potravinách, jak je zřejmé z tab.9.

Tab. 9. Obsah akrylamidu ($\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$) v bramborových lupíncích (poloprůmyslová výroba, fritovací teplota 175°C) šesti odrůd pěstovaných na 3 stanovištích ve vegetaci r. 2002 (podle Haase *et al.*, 2003a)

Odrůda Stanoviště *)	velmi rané a rané *)			polorané až pozdní *)		
	Tomensa	Karlens	Sirius	Sempre	Saturna	Panda
Wegberg	525	1 168	588	554	590	549
Hassloch	1 200	2 135	759	373	513	348
Hankensbüttel	582	946	314	197	568	323

*) Autoři upozorňují, že jiným výběrem odrůd a stanovišť při stejném způsobu pěstování by byly získány i odlišné výsledky a doporučují proto provádět další pokusy.

Přednost ve zpracovatelském průmyslu se dává hlízám s vyšší sušinou, tj. odrůdám ze zralostních skupin poloraných až pozdních. U těchto skupin je často chemicky nebo mechanicky odstraňována z různých důvodů (zdravotních, ohrožení dodávek na trh aj.) nať před jejich fyziologickým dozráním. Nezralé sklizené partie však vykazují velmi vysoké obsahy redukujících cukrů, které při delším skladování vedou k dalšímu vzestupu a k normální hranici obsahu se nevrací. Výrobky z těchto partií pak mohou vykazovat zvýšené hladiny akrylamidu.

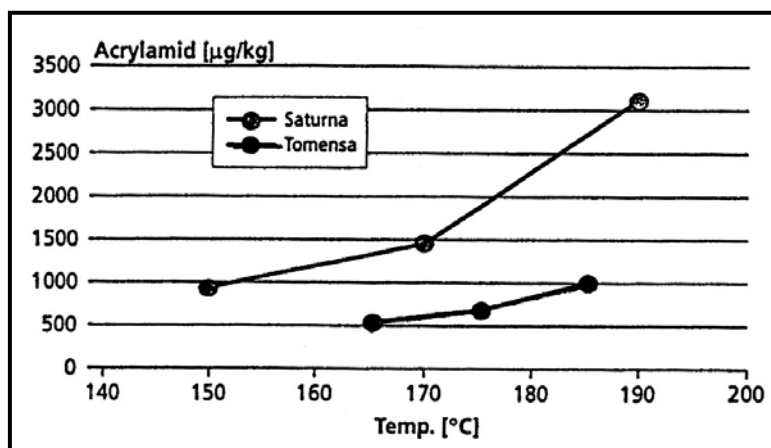
Rovněž hnojení, především dusíkem, vede k vzestupu obsahu volného asparaginu, potřebného pro tvorbu akrylamidu.

Obecně lze konstatovat, že kvalita výrobků z brambor je velmi úzce spojena se surovinou z níž jsou vyráběny. Otázka zní, zda může průmyslová výroba také přispět ke snížení hladiny akrylamidu ve výrobcích. Může jistě již volbou vhodné suroviny, jak naznačeno v literárním přehledu. Haase *et al.* (2003a) se zmiňují rovněž o vstupní kontrole při příjmu suroviny ve výrobních potravinářských výrobcích. Jak bylo prokázáno, důležitou úlohu při tvorbě akrylamidu hraje teplota zpracování suroviny. Tito autoři uvádí graficky zpracované výsledky ze dvou pokusů výroby bramborových lupínků, kdy byly v prvním zpracovány hlízy odrůdy Saturna skladované přes 8 měsíců při 8°C a ve druhém čerstvě sklizené hlízy odr. Tomensa. V obou případech byly použity tři rozdílné teploty při fritování přizpůsobené času (tj. nízké

teploty ve spojení s delší dobou fritování). Jako cíl byl určen pro křupavé bramborové lupínky obsah zbytkové vody pod 2 % (obr. 15).

V obou případech byl vliv teploty na tvorbu akrylamidu zjevný. Podle zmiňovaných autorů není ještě vyjasněno proč je v surovině při vysokých teplotách a kratší expozici v oleji tvořeno podstatně více akrylamidu v porovnání s nižším zatížením teplotou. Jak je patrné i z další citované literatury, v mnoha případech, snížením teploty při výrobě výrobků se snižuje i tvorba akrylamidu.

Obr. 15. Vliv fritovací teploty při poloprůmyslové výrobě bramborových lupínků na obsah akrylamidu zjišťovaný u odrůd Saturna a Tomensa (Podle Haase et al., 2003a)



Vedle průmyslově vyráběných potravinářských výrobků z brambor existuje mnoho polotovarů, které musí být dohotoveny v domácnosti nebo v gastronomii obecně (restaurace, jídelny aj.). Dosavadní průzkumy podle Haase *et al.* (2003a) ukazují, že tyto polotovary vykazují velmi nepatrné obsahy akrylamidu. Záleží tudíž na dalším postupu při dohotovení výrobků do konečné podoby. Ve všech případech, kdy dochází při zpracování výrobků k silnému vysušení a zhnědnutí, existuje reálné nebezpečí, že budou zvýšeny i obsahy akrylamidu.

Pro skupinu hranolků byla proto dána doporučení k omezení teploty ve fritéze na 175°C, jakož i k omezení teploty v peci (sporáku) na 200°C (při užití horní i dolní spirály), příp. na 180°C (při „horkovzduchu“). Také při těchto – v porovnání k dosavadním údajům výrobce – modelových teplotách, mohou být připraveny chutné a křupavé hranolky. Postup fritování, příp. pečení by měl být ukončen v době tmavnutí špiček hranolků („špičky zlátnou místo uhelnatí“).

Jsou-li připravovány smažené (Backerzeugnisse) a fritované výrobky ze syrových hlíz bramboru (příp. pečené brambory – Bratkartoffeln) může se v závislosti od přípravy (teplota x čas) a kvality suroviny docílit nežádoucích vysokých hodnot akrylamidu. Toto je zejména možno očekávat, pokud vykazují hlízy zvýšené obsahy redukováných cukrů, jak bylo v literárním přehledu dokumentováno. Protože jsou ke zpracování brány především hlízy konzumních brambor skladovaných převážně při 4°C, je nutné provádět kroky ke snížení obsahu redukováných cukrů. Lze např. hlízy zbavené slupky, naplátkované nebo různě rozmělněné máčet ve vodě (doporučuje se 1 h), aby se obsah redukováných cukrů snížil.

Pozorování, že byl akrylamid ve spojení s potravou zodpovědný za újmu na zdraví, provedli jako první Tareke *et al.* (2000). Bylo to i u neexponovaných lidí při budování tunelu ve Švédsku, kde byl akrylamid použitý jako adjuvant. Tato pozorování z r. 2000 byla dlouho ignorována. Nicméně o 2 roky později Tareke *et al.* (2002) dokázali relativně vyšší hladiny akrylamidu v tepelně zpracovávaných konzumních potravinách a v potravinách ohříváných při vyšší teplotě, především v potravinách bohatých na sacharidy. Tyto řídky

publikované objevy podněcovaly studia ve světě jak ke stanovení hladin akrylamidu v potravě, tak obracely pozornost i na přírodní prekursory akrylamidů v nezpracovaných potravinách. Obsahy akrylamidu v několika kategoriích (třídách, skupinách) potravin jsou zapsány v tab. 10.

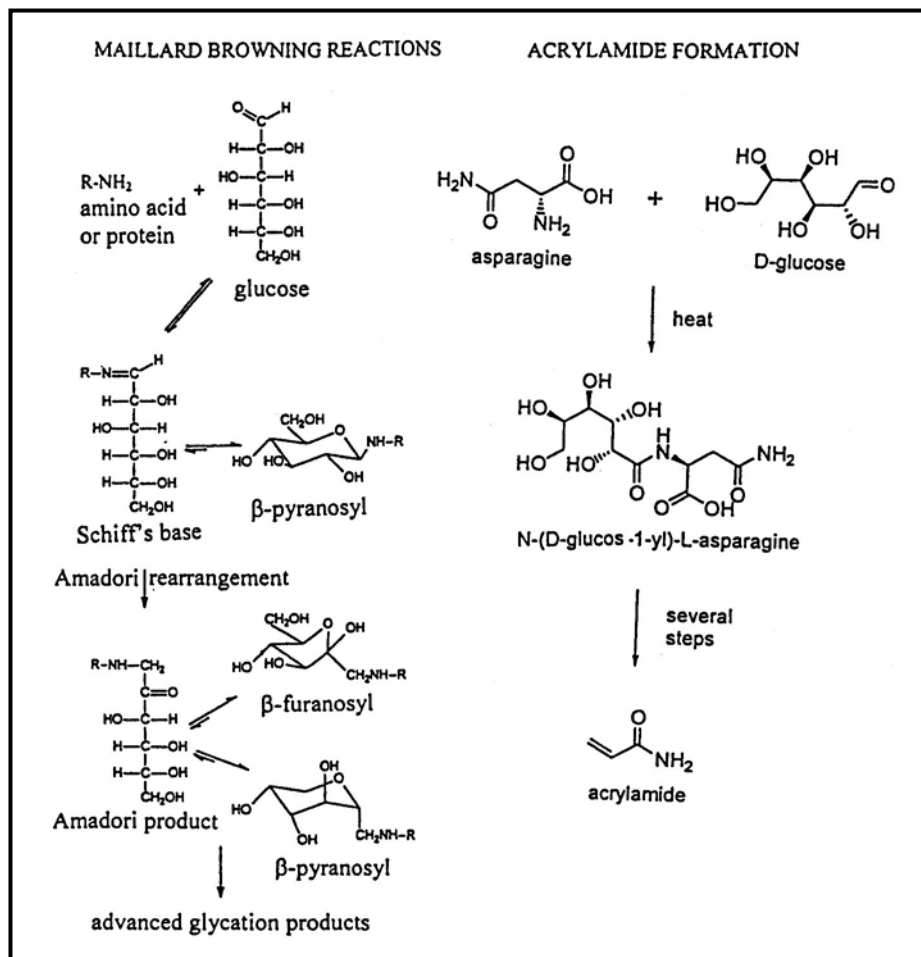
Tab. 10. Hladiny akrylamidu v připravených potravinách, podle abecedy (z literatury a webových stránek vybral Friedman, 2003) - upraveno

potravina	akrylamid ($\mu\text{g}/\text{kg} = \text{ppb}$)
mandle pražené	260
chřest restovaný	143
pečené výrobky: chleby, koláče, preclíky aj.	70 – 430
pivo, slad a syrovátka	30 – 70
keksy, sušenky, krekerky	30 – 3 200
snídaně z obilnin	30 – 1 346
čokoládový prášek	15 – 90
mletá káva	170 – 351
kukuřičné lupínky a křupky	34 – 416
chlebový suchar	800 – 1 200
rybí výrobky	30 – 39
perník	90 – 1 660
maso a drůbeží výrobky	30 – 64
cibulová polévka a „dip mix“	1 184
ořechy a ořechová pomazánka (ořechové máslo)	64 – 457
burské oříšky, pomazánka z burských oříšků	140
vařené brambory	48
bramborové lupínky, bramborové křupky	170 – 3 700
bramborové hranolky	200 – 12 000
extrudované brambory, fritované brambory	1 270
„snacky“ a jiné (na ten způsob) výrobky z brambor	30 – 1 915
pražené sojové boby	25
pražená slunečnicová semena	66

Hmotově spektrální studia ukázala (Zyzak, 2002), že 3 atomy C a atom N akrylamidu byly všechny odvozeny z asparaginu. Výše jmenovaný autor, Stadler *et al.* (2002), Mottram *et al.* (2002), Becalski *et al.* (2003), Yaylayan *et al.* (2003) a další také objevili redukci cukrů obsahující aldehydovou skupinu, jako např. glukosu, reagující s asparaginem při teplotě nad 100°C k tvorbě N-glykosidu, který je poté přechodně rozštěpen vazbou C – N tak, že může být možná transformován do akrylamidu, jak ukazuje obr. 16. Výtěžek akrylamidu z modelových studií byl $\sim 0,1\%$. Další podrobnosti uvádí Friedman (2003).

Zdá se tedy být asparagin klíčovým účastníkem při tvorbě akrylamidu. Potom je třeba znát množství těchto volných aminokyselin v různých kategoriích (třídách) potravin, rovněž i jejich chemickou a biochemickou stránku. V tab. 11. je uveden obsah asparaginu ve vybraných potravinách.

Obr. 16. Tvorba akrylamidu z asparaginu a glukosy (převzato z Friedmana, 2003). Skupina α -NH₂ asparaginu se účastní v nucleofilní přídavné reakci s aldehydovou skupinou glukosy k tvorbě Schiffova základu, u kterého dochází k přeměně na nové uspořádání Amadori na uvedení glukoso-asparaginového derivátu (N-glykosidu). Později pak může podstoupit dekarboxylativní deaminaci, pozbude COOH a α -NH₂ skupiny spojené s asparaginem do tvaru akrylamidu (pravá strana), nebo může pokračovat přes Maillardovu reakci k tvorbě hnědých produktů (levá strana).



Celkový závěr

Pro možné expozice k akrylamidu byly rozsáhle studovány vlivy akrylamidu v buňkách i tkáních živočichů a lidí. Zprávy, že akrylamid je přítomen v potravě tvořené během jejího zpracování za podmínek, které také indukují tvorbu produktů Maillardovy reakce – hnědnutí, zesílily zájem v chemii, biochemii a bezpečnosti této vinyl sloučeniny. Protože expozice lidí k akrylamidu může pocházet z vnějších zdrojů i potravy, existuje potřeba k vybudování lepšího porozumění jeho vzniku a distribuce v potravě a jeho úloha pro lidské zdraví.

Tab. 11. Obsah asparaginu v potravinách, podle abecedy (od různých autorů vybral Friedman, 2003) - upraveno

potravina	asparagin ¹ (mg/kg)
mandle, 19 odrůd	980 – 6 410
jablka, čerstvá dřeň, 5 odrůd	315 – 588
jablečný džus	323
suchý chřest	11 000 – 94 000
boby, zelené lusky, suché	3 840
suchá celá brokolice	1 920
čerstvé okvěti brokolice	578
čerstvé lodyhy brokolice	189
zpracovaná kasava, suchá	10
čerstvý květák	54 – 1 060
kakaový prášek, nepražený	309
kakao pražené (125 °C, 3 min.)	145
kakao pražené (135 °C, 3 min.)	94
gřepový džus	4
čočka, suchá	1 900 – 6 200
hovězí maso	0,4
vepřové maso	11
ananasový džus	247
čerstvé brambory, 4 odrůdy	2 500 – 3 500
čerstvé brambory	1 703 – 2 581
suché brambory	580 – 3 300
suché brambory	7 700
rýže jemná	29
otruby z rýže	282
rýžové klíčky	236
suchý špenát	460 – 1 470
pšeničné zrno	1 540
víno hrozný	0,67 – 27

¹ Různě uvedené zápisy jednotek koncentrací byly normalizovány v mg/kg (ppm) pro pevné látky a v mg/l pro tekutiny

K tomuto úsilí přispívá doplnění přehledu Friedmanem (2003), které představuje údaje o chemii, analýze, metabolismu, farmakologii a toxikologii akrylamidu. Specificky zahrnuje následující aspekty: nepotravinové zdroje potravin; expozici z prostředí a stravy; mechanismus tvorby v potravě z asparaginu a glukosy; vztahy asparagin – asparaginósa; vztah Maillardovo hnědnutí – akrylamid; zhášení fluorescence proteinu; biologickou alkylaci aminokyselin; peptidy, proteiny a DNA u akrylamidu a jeho epoxidové metabolity glycidamidu; riziko stanovení; neurotoxicitu, toxicitu pro reprodukci a karcinogenitu; ochranu proti nepříznivým vlivům; a možné postupy řešení pro snížení hladin v potravě. Jsou navrhovány další výzkumy potřeb v každé z těchto oblastí. Neurotoxicita se jeví být pouze dokladem vlivu akrylamidu v epidemiologických studiích lidí; toxicita reprodukce, genotoxicita/klastogenicita a karcinogenita jsou potenciální zdravotní rizika pro lidi na bázi studií pouze na zvířatech. Lepší porozumění chemii a biologii akrylamidu v celkové obecnosti a jeho důsledky v potravinovém základu zvláště může vést k rozvoji zlepšení potravinového postupu a ve svém důsledku ke snížení obsahu akrylamidu v potravě.

Pokud tedy není jednoznačně prokázáno, že akrylamid nezpůsobuje újmu na zdraví člověka, mělo by veškeré úsilí směřovat k jeho snížení v hotových potravinách přicházejících

na trh nebo k přímé konzumaci v domácí kuchyni. V této souvislosti mnozí hovoří o ALARA principu (as low as reasonably achievable – tak nízko jak je rozumně dosažitelné). Jak bylo v přehledu ukázáno, u výrobků z brambor k tomu existují rozmanité možnosti, začínají optimalizací pěstování, pokračují přizpůsobenou technologií výroby včetně optimálního skladování a končí v domácnosti, popř. gastronomii tepelnou úpravou. Přitom je třeba brát ohled na to, že minimalizace zatížení akrylamidem by mohla pozměnit jakostní profily jednotlivých výrobků (např. světlejší barva, o něco hrubší textura). WHO nepovažuje za potřebné vydat v souvislosti s akrylamidem nová zdravotní doporučení. Pro snížení rizik souvisejících s akrylamidem stačí dodržovat běžné zásady zdravé výživy – nepřehánět to s „vypečením“ potravin a jíst rozmanitou stravu, ve které nedominují „riskantní“ potraviny.

Další informace k problému akrylamidu lze nalézt na internetové adrese, např.: www.acrylamid-forum.de

3.4. Těžké kovy

Chemicky se k těžkým kovům řadí ty prvky, jejichž hustota je větší než $5 \text{ g}\cdot\text{ml}^{-1}$ (N á t r, 2002). T o m á š (2000) uvádí, že z hlediska přesnější charakteristiky jsou těžké kovy charakteristické skupiny prvků kovů a polokovů s atomovou hustotou větší než $6 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$. Je mezi nimi řada biogenních mikroprvků, jako Co, Cu, Fe, Mn, Mo, Zn, které se ovšem při vyšších koncentracích v rostlinách stávají toxické. Kromě toho se do skupiny těžkých kovů řadí vysloveně toxické prvky, a to především Cd, Pb, Cr, Co, Hg, Ag a Au. Stanovení koncentrací, kdy tyto látky začínají působit toxicky, jak již bylo uvedeno v úvodu 4. kapitoly, však není jednoduché. Podkladem pro obdobná stanovení jsou většinou pokusy s jednotlivými druhy a odrůdami rostlin v konkrétních hydroponických nebo přírodních podmínkách.

Pro rostliny představuje největší nebezpečí kadmium, olovo, měď, rtuť, zinek, nikl a chrom. Jejich nepříznivé působení se zvyšuje se vzestupem kyselosti mnoha půd, které uvolňují ionty těžkých kovů do roztoku. Velmi podrobně popisují metabolické základy toxicity těžkých kovů pro rostliny B r i a t a L e b r u n (1999).

N i e s (2000) se pokusil o obecnou charakteristiku toxicity těžkých kovů pro živé buňky organismů. Srovnal minimální toxickou koncentraci daného iontu pro buňky *Escherichia coli* s jeho koncentrací v mořské vodě a vyjádřil toxicitu jednotlivých kovů v následující sestupné řadě: Zn^{2+} , Ag^+ , Ni^{2+} , Cu^{2+} , Hg^{2+} , UO_2^{2-} , CO_2^+ , CrO_4^{2-} , Au^{3+} , Cd^{2+} , Mn^{2+} , Pb^{2+} . Bakterie rostoucí na substrátech se zvýšeným obsahem těžkých kovů nazval metalofilní. Významným zástupcem těchto bakterií je *Ralstonia*, která může žít i v silně kontaminovaných půdách. Detoxikaci provádí tak, že indukuje tvorbu systému, který aktivně přenáší příslušný kov z buňky do vnějšího prostředí. Rezistence této bakterie proti všem těžkým kovům je inducibilní a N i e s (2000) navrhuje, aby se tato využila jako biosenzor pro stanovení biologicky významné koncentrace těžkých kovů v prostředí. Vychází přitom z obecně platné zkušenosti, že v závislosti na konkrétních podmínkách je biologická toxicita rozdílná při různém obsahu těžkého kovu. Jeho působení závisí také na faktorech determinovaných daným organismem, takže obecné stanovení biologicky přijatelné koncentrace těžkých kovů je velmi obtížné. Proto vznikl onen návrh, aby biologická dostupnost i ekologická toxicita těžkých kovů byla stanovena biotestem využívajícím vhodný organismus.

Jakmile obsah těžkého kovu překročí jistou velmi nízkou hranici, stane se příslušný prvek pro rostliny toxickým. Tyto prvky vstupují do buněk:

- (1) v důsledku jejich fyzikálněchemických vlastností (např. Cd, Pb), kdy využívají podobnos-ti s biogenními živinami (Ca, Mn, Fe nebo Zn),
- (2) kanály pro příjem vápníku nebo
- (3) širokospektrálními přenašeči kovů.

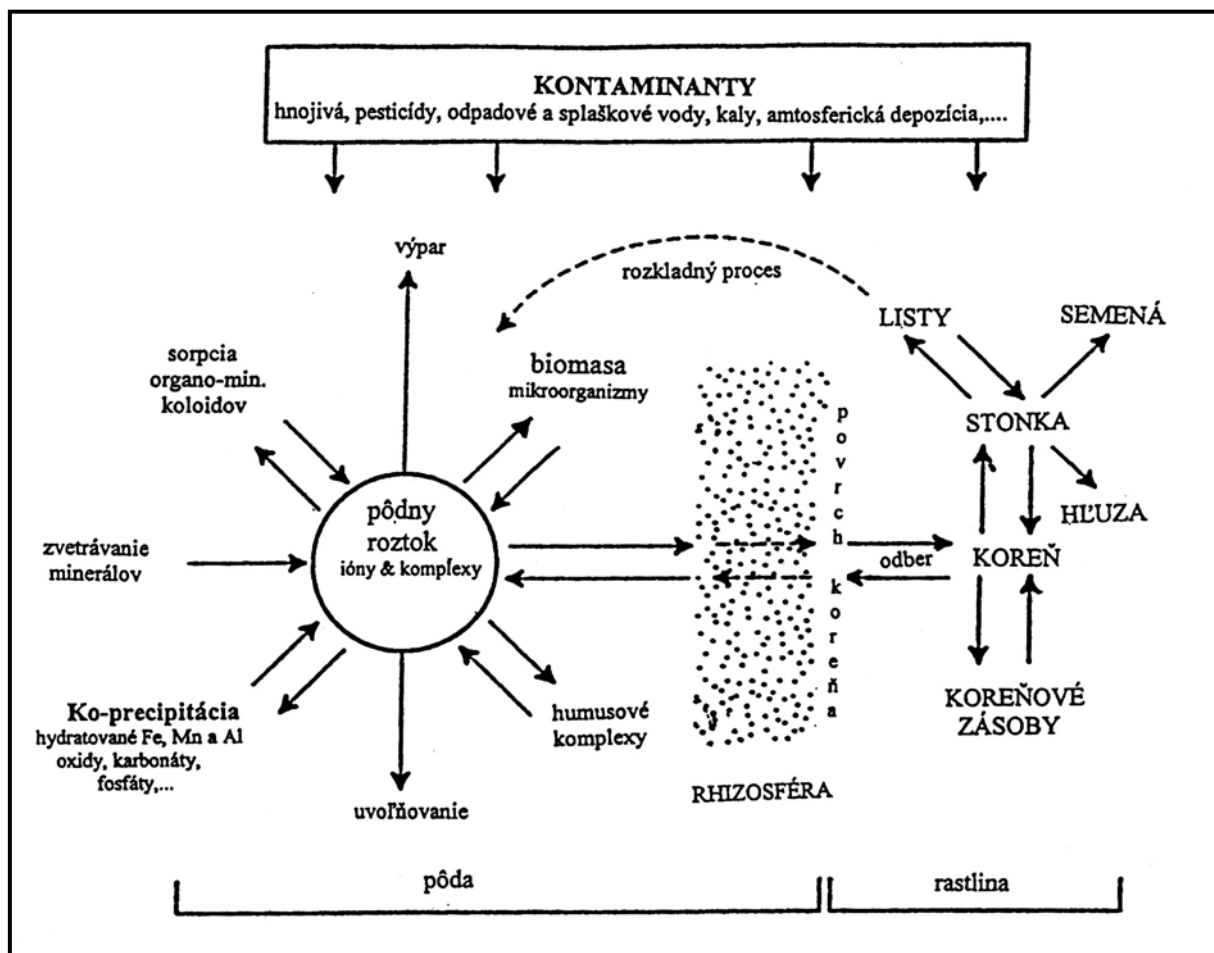
Další podrobnosti o vlivu těžkých kovů na rostliny uvádí N á t r (2002).

Rostlina přijímá téměř všechny své minerální živiny v anorganické podobě jako ionty. Hlavním orgánem příjmu jsou kořeny. Většina organických forem živin v půdě je před absorpcí rozložena na složky anorganické, které difundují nebo jsou neseny hromadným tokem ke kořenům. Menší množství živin v přírodních i zemědělských porostech je absorbováno listy.

Vztah půda – rostlina je otevřený a na tento systém mají vliv různé faktory, jako jsou zdroje kontaminace, např. hnojiva a pesticidy, druh pěstovaných plodin a jejich kultivary, věk rostlin, vyplavování srážkami, eroze, výpar. Uvedený vztah a dynamiku těžkých kovů je možné posoudit z obr. 17.

Rostliny se před toxickým působením těžkých kovů chrání. Při vyjadřování mechanismu odolnosti rostlin se používají dva pojmy, jejichž význam nebývá jednoznačně definován. Proto se často podle Nátr (2002) zaměňují. Již dříve Nátr (1998a) definoval toleranci jako schopnost organismu vyrovnávat se s extrémním působením některého škodlivého činitele. Je to tedy schopnost rostliny snášet přítomnost nepříznivého faktoru a jeho působení ve větším rozsahu.

Obr. 17. Dynamika těžkých kovů v systému půda – rostlina a v něm zúčastněné klíčové komponenty podle Allowaye (1992). Převzato z Tomáše (2000).



Naproti tomu pojem rezistence v sobě zahrnuje schopnost také vzdorovat či nějakým mechanismem omezit až zcela vyloučit možnost působení onoho faktoru na citlivé složky organismu nebo systému.

Je evidentní, že zejména při hodnocení citlivosti různých druhů nebo odrůd rostlin se často nerozlišuje mezi tolerancí a rezistencí. V tomto případě je podstatným kritériem míra

škodlivého účinku daného faktoru. Naproti tomu při analýze větší odolnosti či menší citlivosti genotypů nebo variant vůči danému faktoru může mít, podle Nátra (2002) rozlišení tolerance od rezistence nemalý heuristický (metodicky výzkumný) význam.

Základním mechanismem ochrany rostlin proti těžkým kovům je v podstatě aktivace syntézy fytochelatinů a metalothioneinů, které chelatizují molekuly kovu vstupující do symplastu buněk. Podrobnosti viz Nátr (2002). Kromě toho se rostliny chrání před toxickým působením těžkých kovů několika dalšími mechanismy (Lambert *et al.*, 1998):

1) Vylučováním kovu, přičemž se může jednat o velmi různé procesy

- a) některé půdní mikroorganismy vylučují organické látky, jimiž dojde k vysrážení těžkých kovů,
- b) těžký kov může být chemicky transformován: např. oxidací redukované formy Mn,
- c) navázáním v buněčných stěnách.

2) Absorpcí kovu do buňky, což je zvláště nápadné u tzv. hyperakumulátorů (viz text):

- a) kov se může hromadit ve vakuole nebo v apoplastickém prostoru,
- b) kov se přednostně akumuluje v epidermálních buňkách,
- c) některé kovy jsou hromaděny v trichomech.

V každém případě se tedy jedná o lokalizaci těžkého kovu do metabolicky neaktivních kompartmentů buněk.

Znečištění půd těžkými kovy se stalo významným ekologickým problémem v mnoha oblastech světa. Hlavní riziko spočívá v tom, že rostliny na takových půdách velmi špatně rostou nebo obsahují takové množství těžkých kovů, že se stávají toxické pro zvířata i člověka.

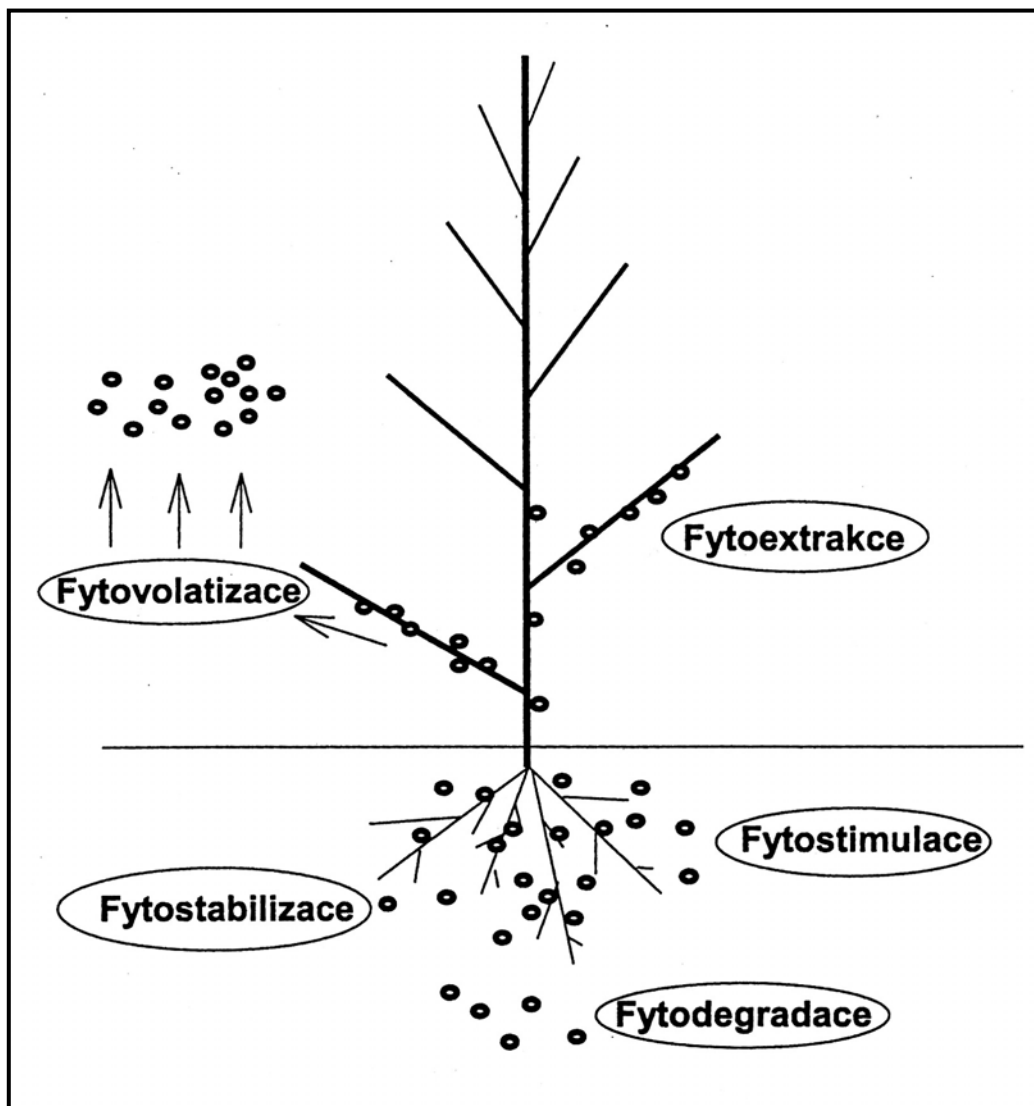
Existují rostliny, hyperakumulátory, které se vyznačují schopností hromadit mimořádně vysoká množství těžkých kovů ve své biomase. Toto množství je úměrné obsahu příslušného kovu v kořenovém substrátu. Kramer (2000) řadí mezi hyperakumulátory ty druhy rostlin, které v kterékoliv části prýtu hromadí v 1 kg hmotnosti sušiny více než 100 mg Cd, 1 000 mg Co, Cr, Cu, Ni, Pb nebo Se a více než 10 000 mg Mn nebo Zn. Je samozřejmé, že vedle praktického významu hyperakumulace těžkých kovů v rostlinách má tento jev i velký teoretický význam, který se projevuje prvními pracemi popisujícími fyziologické charakteristiky hyperakumulátorů. Bližší viz Nátr (2002).

Znečištění půd a mnohde i mokřadů nebo vodních nádrží těžkými kovy představuje jeden z velkých problémů našeho přírodního prostředí. Odhaduje se, že potřeba vyčištění – remediace – takto zamořeného prostředí si vyžádá miliardové náklady. Jedno z řešení představuje tzv. fytoremediace neboli odmoření daného substrátu rostlinami. Tento postup může být až 1 000 x levnější než technologie vytěžení kontaminované zeminy či odčerpání vody s následným fyzikálně chemickým odstraněním polutantů (Pilon-Smits a Pilon, 2000).

Jako fytoremediace se označuje odstranění nebo zneškodnění kontaminací v půdách nebo i ve vodě (Macek *et al.*, 1998). Způsobů, jimiž je fytoremediace realizována, může být několik (obr. 18).

Uvedené způsoby naznačují, že možnosti fytoremediace jsou natolik různorodé, že mohou být využity pro odmoření substrátu velmi rozdílnými postupy a v nejrůznějších podmínkách. A to je třeba k výše uvedeným způsobům přidat využití mikroorganismů především pro čištění vod kontaminovaných těžkými kovy. Jak upozorňuje Ledin (2000), tak mikroorganismy jsou důležité i pro těžké kovy v půdě, kde ovlivňují formu jejich výskytu, dostupnost pro rostliny a mobilitu.

Obr. 18. Znázornění různých postupů při fytoremediaci. (Schéma sestavil Nátr, 2002 v návaznosti na Pilon-Smitsovou a Pilonu, 2000)



Další podrobnosti uvádí Nátr (2002). Stopové prvky a toxické kovy představují důležitý faktor životního prostředí, který se může pozitivně nebo negativně projevit v metabolických dějích v organismu. Kontaminace jednotlivých složek životního prostředí širokým spektrem prvků v důsledku činnosti člověka je hlavní příčinou jejich vstupu do potravinového řetězce člověka (L e n e r , 1984). Ukazuje se, že tento jev nabývá v moderní době na důležitosti a je nutno se s ním stále více zabývat. Proto jsou pravidelně pořádány, např. u nás Výzkumným ústavem pícninářským ve spolupráci s Komisí jakosti rostlinných produktů ORV ČAZV, semináře zabývající se aktuálními poznatky v oblasti jakosti zemědělské a potravinářské produkce, nebo v Německu přednáškové dny Německé společnosti pro kvalitu výzkumu (Deutsche Gesellschaft für Qualitätsforschung – DGQ) zaměřené ke stejnému účelu.

Kontaminace zemědělských půd těžkými kovy a kumulace těchto kovů v rostlinné biomase neovlivňuje pouze konečnou kvalitu a zdravotní nezávadnost potravin, ale působí rovněž na fyziologické projevy rostlin a v konečném důsledku na jejich růst, vývin a výnos (Z r ů s t *et al.*, 2002). Konkrétní rizika pěstování brambor v půdách kontaminovaných těžkými kovy zpracoval v projektu pro Vědecký výbor fytosanitárního a životního prostředí Z r ů s t (2002).

3.5. Stolní a technologická hodnota brambor

Pěstitel bramborů musí respektovat požadavky odběratele a spotřebitele, neboť ty jsou odlišné pro brambory, které se na trhu uplatňují „ve slupce“ (pro přímou spotřebu – ať se jedná o nejranější konzum či další konzum), případně pro „loupání“, od hlíz určených na výrobu „potravinářských výrobků“ z brambor. Znaky kvality hlíz (vnější i vnitřní) jsou v podstatě společné jak pro stolní, tak technologickou kvalitu, ale důraz na jednotlivé vlastnosti je rozdílný. Relativní význam kvalitativních znaků pro stolní a zpracovatelskou kvalitu, na které lze šlechtit, uvádí tab. 12.

Tab. 12. Relativní význam kvalitativních znaků pro stolní a zpracovatelskou kvalitu brambor (dle Vacka, 1997)

Znak	Zpracování	Stolní použití
Vady hlíz	V	V
Mechanické poškození – vnější	S	V
Mechanické poškození – vnitřní	V	S
Glykoalkaloidy	V	V
Zelenání	V	V
Nutriční hodnota	V	V
Tmavnutí po uvaření	S	V
Textura	S	S
Enzymatické tmavnutí	V	S
Obsah cukrů	V	M
Sušina	V	M
Chuť	S	V

Poznámka: V = velký, S = střední, M = malý

Při sensorickém hodnocení potravin se vždy hodnotí vzhled, textura, chuť a vůně. Brambory byly dříve v domácnosti upravovány prakticky pouze vařením. Z tohoto pohledu se i hodnotily a stanovovala se jejich stolní hodnota. Mezinárodní metodu hodnocení stolní hodnoty vypracovala Evropská společnost pro výzkum brambor (EAPR) v r. 1960. Na základě hodnocení textury po uvaření jsou podle ní odrůdy zařazovány do čtyř varných typů A – D. Varný typ, jak již vyplývá z názvu, charakterizuje vhodnost hlíz při kuchyňském zpracování vařením, nikoliv např. smažením.

Při technologickém hodnocení suroviny se musí vycházet z potravinářského výrobku, na který jsou konzumní hlízy určeny. Vedle všeobecných požadavků na kvalitu jako u konzumních hlíz prodávaných ve slupce, musí surovina pro potravinářské zpracování splňovat i některá speciální kritéria, jako jsou přípustný obsah redukcujících cukrů, či požadovaná sušina.

Výrobky z hlíz bramboru, určené k lidské spotřebě, se podle způsobu výroby dělí na:

1. vlhké,
2. smažené,
3. zmrazené
4. sušené a směsi.

Do skupiny vlhkých výrobků náleží především konzervované brambory a loupané syrové brambory. Výroba konzervovaných brambor je poměrně obtížná, v provozu jsou brambory vystaveny delší dobu teplotě až 120 °C, což může vést k poškození jejich kvality. Sterilované brambory jsou součástí řady konzerv nebo jsou vyráběny i samotné. Zpracovávají se oloupané

hlízy celé o velikosti 25 – 35 mm nebo větší dělené na čtvrtky, kostky apod. Aby se nerozvářely, je základním požadavkem nízký obsah sušiny a pokud možno varný typ A. Tento druh výrobků však nedoznal širšího uplatnění, a to zejména z ekonomických důvodů.

Loupané brambory jsou brambory, které byly oloupany buď mechanicky, parou, nebo chemicky a zůstávají v syrovém stavu. Na loupané brambory by měly být použity jen dobré stolní brambory s vhodnou slupkou. Velkým problémem je trvanlivost loupaných brambor. Jejich kvalita může být ovlivněna:

1. enzymatickým zabarvením,
2. mikrobiálním napadením,
3. vyschnutím a ztvrdnutím povrchu.

Smažené výrobky jsou takové výrobky, které se smaží v oleji nebo v tuku. K nim se řadí především hranolky, lupínky nebo slámky, popř. některé výrobky typu „snack“. Zatímco při výrobě před smažených hranolků se odstraňuje z hlíz bramboru jen asi 20 – 30 % vody, jsou lupínky a slámky smaženy na konečný obsah vody 2 – 3 %.

Nejvíce jsou u spotřebitelů oblíbeny hranolky. Jakostními kritérii pro hranolky jsou barva, vůně, chuť, textura na povrchu i uvnitř, obsah tuku. Před smažením hranolky nemají obsahovat více tuku než 8 %. Tyto hranolky se zmrazují. Při dosmažení pak přijímají zhruba totéž množství tuku jako při před smažení.

Lupínky jsou brambory rozkrájené na plátky o tloušťce 1,2 – 2,0 mm, které jsou smaženy v horkém tuku nebo oleji. Jakostními kritérii jsou barva, chuť, textura a obsah tuku. Barva má být zlatožlutá. Chuť je dána především odrudou brambor a druhem a kvalitou oleje na smažení. Obsah tuku v průmyslově vyráběných lupínkách se pohybuje mezi 35 – 40 %. Slámky („sticks“) mají stejná kritéria kvality a stejnou výrobu jako lupínky, pouze tvar je tak změněn, že vznikají proužky o průměru 5 mm a délce 40 – 55 mm. Tuk má být často měněn, protože při delším smažení se výrazně znehodnocuje.

Při zahřívání na smažící teplotu mohou nastat tři chemické reakce, které ovlivní kvalitu tuku: hydrolyzace, oxidace a polymerizace. **Hydrolyza** nastává tehdy, dostává-li se tuk do styku s vodou nebo parou při vysokých teplotách. Protože s lupínky se dostává do horkého tuku voda, je nutno snížit co nejvíce obsah vody v lupíncích před smažením. **Oxidace** tuku přichází v úvahu tehdy, dostává-li se tuk do styku se vzdušným kyslíkem. Při smažení lupínků je tuk chráněn před oxidací, protože vznikající vodní pára odstraňuje kyslík od povrchu tuku. Nebezpečí oxidace nastává pouze při zahřátí a ochlazení, což se uskutečňuje při začátku a na konci smažení. Jsou-li tuky vystaveny delší dobu zvýšeným teplotám, nastávají změny **polymerizací**. Oproti oxidativní polymerizaci nelze tepelně vzniklé polymery poznat změnami v chuti nebo zápachu. Termické polymery mohou působit toxicky. Všechny tyto pochody jsou závislé na době smažení a jak již bylo řečeno teplotě (viz také kap. 4. 3).

Sušené výrobky jsou nejstarší výrobky z brambor. Vznikly na základě požadavku prodloužit skladovatelnost brambor. Sušené stolní brambory jsou syrové brambory rozkrájené na kostičky, proužky nebo plátky, u nichž byla sušením opatrně odstraněna voda na 8 – 13 %. Barva má být světlá, vůně a chuť jsou závislé z největší části na použité surovině. U nás, v porovnání s jinými sušenými výrobky, nedoznaly podstatnějšího rozšíření.

Nejdelší tradici výroby u nás mají sušené bramborové vločky. Používají se jako součást řady směsných výrobků – sušená bramborová kaše, bramborové knedlíky v prášku, různé směsi k přípravě bramboráků, lívanců, škrubánek, polévek aj. Hlavním kvalitativním kritériem suroviny je dostatečná sušina, schopnost vázat vodu, dobrá tvarovatelnost, udržitelnost tvaru, ztráta varem nejvýše 8 % a textura specifická pro produkt a v neposlední řadě i výrazná bramborová chuť. U vloček je důležitá rehydratační schopnost a obsah volného škrobu.

Pro zajištění kvalitních výrobků je nezbytná nejen cílená spolupráce zpracovatelů a pěstitelů, ale i obchodníků a šlechtitelů brambor.

Další podrobnosti o této problematice uvádějí M í č a a V o k á l (1994). Hodnocení kvality hlíz ke zpracování na potravinářské výrobky podrobně rozebírá V a c e k (1993).

V projektu jsou citovány především práce od r. 1990 do současnosti (2004), práce starší se týkají buď domácích autorů, nebo většinou zásadnějších prací o dané problematice.

Poděkování

Je mojí milou povinností poděkovat sl. Helence Součkové z našeho ústavu (VÚB Havl. Brod s.r.o.) za nevšední ochotu při zajišťování odborné literatury a kontrolu mých anglických překladů a Doc. Ing. Františku Kvasničkovi, CSc. z VŠCHT Praha za revizi některých odborných termínů z analytické chemie a poskytnutí přehledu od Birgit Drägerové, Ph.D. týkající se chemie a biologie kalysteginů, které dohodl Ing. Josef Vacek, Ph.D.

4. Literatura

- Adler, G.** Kartoffeln und Kartoffelerzeugnisse, Berlin, 1971.
- Ahvenainen, R. T., Hurme, E. U., Hagg, M., Skytta, E. H., Laurila, E. K.** Shelf-life of prepeeled potato cultivated, stored, and processed by various methods. *J. Food Protec.*, 61 (5): 591-600, 1998.
- Alloway, B. J.** Heavy metals in soils. Blackie Academic & Professional, London, 1992.
- Amrein, T. M., Bachmann, S., Noti, A., Biedermann, M., Barbosa, M. F., Biedermann-Brem, S., Grob, K., Keiser, A., Realini, P., Escher, F., Amado, R.** Potential of acrylamide formation, sugars, and free asparagine in potatoes: A comparison of cultivars and farming systems. *J. Agric. Food Chem.*, 51 (18): 5556-5560, 2003.
- Asano, N., Kato, A., Matsui, K., Watson, A. A., Nash, R. J., Molyneux, R. J., Hackett, L., Topping, J., Winchester, B.** The effects of calystegines isolated from edible fruits and vegetables on mammalian liver glycosidases. *Glycobiology*, 7: 1085-1088, 1997.
- Badenhuizen, N. P.** Struktur und Bildung des Stärkekorns. Paul Parey in Berlin und Hamburg, 1971, 135 s.
- Baghour, M., Moreno, D. A., Villora, G., Lopez-Cantarero, I., Hernandez, J., Castilla, N., Romero, L.** Root-zone temperature influences the distribution of Cu and Zn in potato-plants organs. *J. Agric. Food Chem.*, 50 (1): 140-146, 2002.
- Baier, J., Smetánková, M.** Diagnostika zásobenosti bramborů draslíkem na základě anorganických rozborů rostlin. *Rostl. Výr.*, 24 (4): 419-429, 1978.
- Becalski, A., Lau, B. P. Y., Lewis, D., Seaman, S. W.** Acrylamide in foods: occurrence, sources, and modeling. *J. Agric. Food Chem.*, 51: 802-808, 2003.
- Becalski, A., Lau, B. P. Y., Lewis, D., Seaman, S. W., Hayward, S., Sahagian, M., Ramesh, M., Leclerc, Y.** Acrylamide in french fries: Influence of free amino acids and sugars. *J. Agric. Food Chem.*, 52 (12): 3801-3806, 2004.
- Beecher, G. R.** Nutrient content of tomatoes and tomato products. *Proc. Soc. Exper. Biology Med.*, 218 (2): 98-100, 1998.
- Bencko, V., Cikrt, M.** Mangan. In: Bencko, V., Cikrt, M., Lener, J. (eds.) *Toxické kovy v pracovním a životním prostředí člověka*. Avicenum / zdravotnické nakladatelství, Praha, 1984: 145-156.
- Bettelheim, F. A., Sterling, C.** Factors associated with potato texture. II. Pectic substances. *Food Res.*, 20: 118-129, 1955.
- Biedermann-Brem, S., Noti, A., Grob, K., Imhof, D., Bazzocco, D., Pfefferle, A.** How much reducing sugar may potatoes contain to avoid excessive acrylamide formation during roasting and baking? *Eur. Food Res. Techn.*, 217 (5): 369-373, 2003.
- Bittner, K.** Erste Ergebnisse von Untersuchungen zur Schwarzfleckigkeitsneigung von Kartoffeln. *Agrartechnik*, 41 (4): 180-182, 1991.
- Brajesh-Singh** Nutritional losses during preparation of solar dehydrated potato chips and cubes. In: Manju-Rani, Ezekiel, R., Rani, M., Pandey, S. K. (ed.) *Special Issue for a symposium on 'Potato research towards national food and nutritional security'*, and birth centenary celebrations of late Dr. S. Ramanujam, Founder Director, CPRI, 2. – 3. October, 2003. *J. Indian Potato Ass.*, 30 (1-2): 179-180, 2003.
- Briat, J. F., Lebrun, M.** Plant responses to metal toxicity. *C. R. Acad. Sci. Paris, Sciences de la Vie/Life Sciences* 322: 43-54, 1999.
- Buri, R. C.** Über das vorkommen von Nukleotiden in Kartoffeln und ihre Bedeutung für den Flavor. *Diss. Ridg. techn. Hochschule, Zürich*, 1971, 59 s.

Burton, W.G. The Potato. – 3rd ed. Longman Scientific & Technical. Copublished in the United States with John Wiley & Sons, Inc., New York, 1989, 742 s.

Burton, W.G., Es, A. van, Hartmans, K. J. The physics and physiology of storage. In: Harris, P. M. (ed.): The Potato Crop: the scientific basis for improvement. 2nd ed. 1992: 608-727.

Buttery, R. G. Some usual volatile carbonyl components of potato chips. J. Agric. Food Chem., 21 (1): 31-33, 1973.

Castanera, P., Steffens, J. C., Tingey, W. M. Biological performance of Colorado potato beetle larvae on potato genotypes with differing levels of polyphenol oxidase. J. Chem. Ecol., 22 (1): 91-101, 1996.

Celba, J., Perlín, C., Skalička, J. Aktuální pohled na jakost potravinářských surovin a výrobků. In: Badalíková, B. (ed.): Aktuální poznatky v oblasti jakosti zemědělské a potravinářské produkce. Sborník referátů z konference s mezinárodní účastí konané 7. – 8. 11. 2001, Brno, 2001: 15 – 22. ISBN 80-902436-6-5

Cikrt, M. Zinek. In: Bencko, V., Cikrt, M., Lener, J. (eds.) Toxické kovy v pracovním a životním prostředí člověka. Avicenum / zdravotnické nakladatelství, Praha, 1984: 253-264.

Corsini, D. L., Pavek, J. J., Dean, B. Differences in free and protein-bound tyrosine among potato genotypes and the relationships to internal blackspot resistance. Amer. Potato J., 69 (7): 423-435, 1992.

Cutler, R. G. Antioxidants and aging. Amer. J. Clin. Nutr., 53: 373-380, 1991.

Čepl, J. Analýza vlivu draselného a hořečnatého hnojení na vybrané ukazatele výnosu a kvality brambor. Rostl. Výr., 40 (10): 899-905, 1994.

Čepl, J. Výživa a hnojení. In: Vokál, B. a kolektiv: Pěstování brambor. Agrospoj, Praha, 2004: 58-75.

Čížek, M. Ekonomika výroby brambor. In: Vokál, B. a kol. Pěstování brambor. Agrospoj, Praha, 2004, s. 243-248.

Dao, L., Friedman, M. Chlorogenic acid content of fresh and processed potatoes determined by ultraviolet spectrophotometry. J. Agric. Food Chem., 40 (11): 2152-2156, 1992.

Dean, B. B., Jackowiack, N., Munck, S. Tyrosine synthesis in potato tuber tissue from blackspot-susceptible and resistant genotypes. Potato res., 35 (1): 49-53, 1992.

Dean, B. B., Jackowiack, N., Nagle, M., Pavek, J. J., Corsini, D. L. Blackspot pigment development of resistant and susceptible *Solanum tuberosum* L. genotypes at harvest and during storage measured by three methods of evaluation. Amer. Potato J., 70 (3): 201-217, 1993.

Dijk, C. van, Beekhuizen, J. G., Gibcens, T., Boeriu, C., Fischer, M., Stolle-Smits, T. Texture of cooked potatoes (*Solanum tuberosum*). 2. Changes in pectin composition during storage of potatoes. J. Agric. Food Chem., 50 (18): 5089-5097, 2002a.

Dijk, C. van, Fischer, M., Beekhuizen, J. G., Boeriu, C., Stolle-Smits, T. Texture of cooked potatoes (*Solanum tuberosum*). 3. Preheating and the consequences for the texture and cell wall chemistry. J. Agric. Food Chem., 50 (18): 5098-5106, 2002b.

Djujić, I., Djujić, B., Trajković, L. Dietary intake of selenium in Serbia: results for 1991. In: Conf. Selenium, Nauc. Skup. Srp. Akad. nauk. Umet., 6: 81-87, 1995.

Dobiáš, K., Míča, B. Vliv odrůdy a místa pěstování na obsah sušiny u brambor. Rostl. Výr., 31 (1): 69-76, 1985.

Domkářová, J., Vokál, B. Vlastnosti rozhodující o kvalitě konzumních brambor. Bramborářství, 10 (3): 4-8, 2002.

Dräger, B. Identification and quantification of calystegines, polyhydroxyl nortropane alkaloids. Phytochem. Anal., 6: 31-37, 1995.

Dräger, B. Chemistry and biology of calystegines. Nat. Prod. Rep., 21: 211-223, 2004

Dräger, B., Funck, C., Höhler, A., Mrachatz, G., Nahrstedt, A., Portsteffen, A., Schaal, A., Schidt, R. Calystegines as a new group of tropane alkaloids in *Solanaceae*. *Plant Cell Tiss. Org. Cult.*, 38: 235-240, 1994.

Dräger, B., Almsick, A. van, Mrachatz, G. Distribution of calystegines in several *Solanaceae*. *Planta Med.* 61: 577-579, 1995.

Dugo, G., La Pera, L., Lo Turco, V., Giuffrida, D., Restuccia, S. Determination of copper, zinc, selenium, lead and cadmium in potatoes (*Solanum tuberosum* L.) using potentiometric stripping methods. *Food Additives and Contaminants*, 21 (7): 649-657, 2004.

Duke, J. A. Handbook of phytochemical constituents of grass herbs and other economic plants. Boca Raton, CRC Press, 1992a.

Duke, J. A. Handbook of biologically active phytochemicals and their activities. Boca Raton, CRC Press, 1992b.

Edelman, J. Physiological and biochemical aspects of carbohydrate metabolism during tuber growth. In: Ivins, J. D., Milthorpe, F. L. (Eds.): *The Growth of the Potato*. London, Butterworths, 1963: 135-147.

Effmert, B. Die Stossempfindlichkeit von Kartoffelknollen und ihre Gehalte an Kalium und Calcium. *Der Kartoffelbau*, 43 (2): 78-81, 1992.

Eldredge, E. P., Holmes, Z. A. Mosley, A. R., Shock, C. C., Stieber, T. D. Effects of transitory water stress on potato tuber stem-end reducing sugar and fry color. *Amer. Potato J.*, 73 (11): 517-530, 1996.

Esposito, F., Fogliano, V., Cardi, T., Carputo, D., Filippone, E. Glycoalkaloid content and chemical composition of potatoes improved with nonconventional breeding approaches. *J. Agric. Food Chem.*, 50 (6): 1553-1561, 2002.

Fangmeier, A., Temmerman, L. de, Black, C., Persson, K., Vorne, V. Effects of elevated CO₂ and/or ozone on nutrient concentrations and nutrient uptake of potatoes. *Eur. J. Agronomy*, 17 (4): 353-368, 2002.

Fellows, L. E., Kite, G. C., Nash, R. J., Simmonds, M. S. J., Scofield, A. M. Distribution and biological activity of alkaloidal glycosidase inhibitors (AGI) from plants. In: Mengel, K., Pilbeam, D. J. (Eds.) *Nitrogen Metabolism of Plants*. In: *Proceedings of the Phytochemical Society of Europe*, Vol. 33, Clarendon Press, Oxford, 1992, pp. 271-282.

Fillion, L., Henry, C. J. K. Nutrient losses and gains during frying: a review. *Internat. J. Food Sci. Nutrit.*, 49 (2): 157-168, 1998.

Fischler, F. Kvalita v zemědělství. (Překlad vystoupení Evropského komisaře na jednání ministrů zemědělství EU dne 13. 5. 2003 na Korfu). *Bramborářství*, 11 (5): 10-11, 2003.

Fjelkner-Modig, S., Bengtsson, H., Stegmark, R., Nystrom, S. The influence of organic and integrated production on nutritional, sensory and agricultural aspects of vegetable raw materials for food production. *Acta Agric. Scandinavica Section B Soil Plant Sci.*, 50 (3-4): 102-113, 2001.

Friedman, M. Composition and safety evaluation of potato berries, potato and tomato seeds, potatoes and potato alkaloids. In: Finley, J. W., Robinson, S. F., Armstrong, A. (Eds.) *Assessment of Food Safety*. American Chemical Society, Washington, D. C., 1992, ACS Symposium Series, 484, 429-462.

Friedman, M. Chemistry, biochemistry, and dietary role of potato polyphenols. A review. *J. Agric. Food Chem.*, 45 (5): 1523-1540, 1997.

Friedman, M. Chemistry, biochemistry, and safety of acrylamide. A review. *J. Agric. Food Chem.*, 51 (16): 4504-4526, 2003.

Friedman, M. and McDonald, G. M. Potato glycoalkaloids: Chemistry, analysis, safety, and plant physiology. *Crit. Rev. Plant Sci.*, 16 (1): 55-132, 1997.

Friedman, M., Roitman, J. N., Kozukue, N. Glycoalkaloid and calystegine contents of eight potato cultivars. *J. Agric. Food Chem.*, 51: 2964-2973, 2003.

Furudate, A., Senda, K., Meguro, T. Rangers of protein, phosphorus and vitamin C contents in potato cultivars. Bull. Hokkaido Pref. Agric. Exper. Stations, č. 75: 15-19, 1998. Převzato z Potato Abstracts, 24 (2): 114 (č. 863), 1999.

Gaffield, W., Keeler, R. F., Baker, D. C. Solanum glycoalkaloids: plant toxins possessing disparate physiological active structural entities. In: Keeler, R. F., Wu, A. T. (Eds.) Handbook of Natural Toxins. Marcel Dekker, New York, 1991, Vol. 6, 135-158.

Granado, F., Olmedilla, B., Blanco, I., Rojas-Hidalgo, E. Carotenoid composition in raw and cooked Spanish vegetables. J. Agric. Fd. Chem., 40: 2135-2140, 1992.

Greenwood, C. T. Physical and chemical characteristics of potato starch. Proc. Plant Sci. Symp., Campbell Inst. Agric. Res., Camden, NJ, 1966: 41-62.

Grob, K., Biedermann, M., Biedermann-Brem, S., Noti, A., Imhof, D., Amrein, T., Pfefferle, A., Bazzocco, D. French fries with less than 100 µg/kg acrylamide. A collaboration between cooks and analysts. Eur. Food Res. Technol., 217 (3): 185-194, 2003.

Griffiths, D. W., Baine, H., Dale, M. F. B. Development of a rapid colorimetric method for the determination of chlorogenic acid in freeze-dried potato tubers. J. Sci. Food Agric., 58 (1): 41-48, 1992.

Gutsche, B., Weisshaar, R., Buhlert, J. Acrylamide in food – Screening results from food control in Baden-Württemberg. Deutsche Lebensmit.-Rundschau, 98 (12): 437-443, 2002.

Guziur, J., Schulzová, V., Hajšlová, J. Vliv lokality a způsobu pěstování na chemické složení hlíz brambor. Bramborářství, 8 (1): 6-7, 2000.

Haase, N. U. Veränderungen der Inhaltstoffe von Speisekartoffeln durch Lagerung und Verarbeitung. In: Kartoffeltrends 2002. Qualität von Speisekartoffeln. Bergen/Dumme, Agrimedia, 2002, s. 18-23.

Haase, N. U., Matthäus, B., Vosmann, K. Acrylamid in Kartoffelerzeugnissen. Wie entsteht Acrylamid? Wie gross ist das Risiko? Kartoffelbau, 54 (1/2): 58-61, 2003a.

Haase, N. U., Matthäus, B., Vosmann, K. Acrylamide formation in foodstuffs – Minimising strategies for potato crisps. Deutsche Lebensmit.-Rundschau, 99 (3): 87-90, 2003b.

Habib, A., Donnelly, D. J. Calcium translocation and accumulation into potato tubers. Potato Res., 45 (1): 17-24, 2002.

Hagg, M., Hakkinen, U., Kumpulainen, J., Ahvenainen, R., Hurme, E. Effects of preparation procedures, packing and storage on nutrient retention in peeled potatoes. J. Sci. Food Agric., 77 (4): 519-526, 1998.

Hamner, K. C. Minor elements and vitamin content of plants. Soil Sci., 60: 165-171, 1945.

Hamouz, K., Lachman, J., Pivec, V., Orsák, M. Vliv podmínek pěstování na obsah polyfenolických látek v bramborách u odrůd Agria a Karin. Rostl. Vyr., 43 (11): 541-546, 1997.

Hamouz, K., Lachman, J., Orsák, M., Pivec, V., Dvořák, P. Brambory jako antioxidanty. Agromagazín, 5 (8): 28-29, 2004.

Harris, P. (ed.): The Potato Crop. The scientific basis for improvement. 2nd ed. Chapman & Hall, London, 1992, 909 s.

Heinonen, M. I., Haila, K., Lampi, A. M., Piironen, V. Inhibition of oxidation in 10 % oil-in-water emulsions by beta-carotene with alpha- and gamma-tocopherols. J. Amer. Oil Chem. Soc., 74: 1047-1052, 1997.

Hertog, M. G. L., Hollman, P. C. H., Katan, M. B., Kromhout, D. Intake of potentially anticarcinogenic flavonoids and their determinants in adults in the Netherlands. Nutr. Canc., 20: 21-29, 1993.

Horneburg, B., Wirsing, F. Zur Schwarzfleckigkeitsneigung der Kartoffelknolle. Einfluss der Sorte auf die Ausprägung von Schwarzfleckigkeit. Kartoffelbau, 46 (7): 288-291, 1995a.

Horneburg, B., Wirsing, F. Zur Schwarzfleckigkeitsneigung der Kartoffelknolle. Einfluss von Düngung und Beregnung auf die Ausprägung von Schwarzfleckigkeit. Teil 2. Kartoffelbau, 46 (8): 318-320, 1995b.

Hunnius, W. Welche Faktoren beeinflussen Stärkebildung und Stärkegehalt der Kartoffel? Stärkekartoffel, 17 (1): 1-4, 1972.

ILO, Occupational Exposure Limits, 2nd (revised) Edition, Occupational Safety and Health Series, 37, ILO Geneva 1980.

Ivins, J. D., Milthorpe, F. L. (Eds.): The Growth of the Potato. London, Butterworths, 1963: 328 s.

Jadhav, S. J., Kumar, A., Chavan, J. K. Glycoalkaloids. In: Salunkhe, D. K., Kadam, S. S., Jadhav, S. J. (Eds.) Potato: Production, Processing, Products. CRC Press, Boca Raton, FL, 1991, 203 – 245.

Kagan, V. E., Serbinova, E. A., Forte, T., Scita, G., Packer, L. Recycling of vitamin E in human low density lipoproteins. J. Lipid. Res., 33: 385-397, 1993.

Keiner, R., Nakajima, K., Hashimoto, T., Dräger, B. Accumulation and biosynthesis of calystegines in potato. Secondary plant compounds. Proceedings of a symposium held at the Biological-Pharmaceutical Faculty, Friedrich-Schiller University, Jena, Germany, 30 September to 2 October, 1999. J. Appl. Botany, 74 (3-4): 122-125, 2000.

Keiner, R., Dräger, B. Calystegine distribution in potato (*Solanum tuberosum*) tubers and plants. Plant Sci., 150: 171-179, 2000.

Keiner, R., Kaiser, H., Nakajima, K., Hashimoto, T., Dräger, B. Molecular cloning, expression and characterization of tropinone reductase II, an enzyme of the SDR family in *Solanum tuberosum* (L.). Plant Mol. Biol., 48 (3): 299-308, 2002.

Khurana, P. S. M., Minhas, J. S., Pandey, S. K. The Potato. Production and Utilization in Sub-Tropics. Mehta Publishers, New Delhi, 2003, 446 s.

Kita, A. The influence of potato chemical composition on crisp texture. Food Chem., 76 (2): 173-179, 2002.

Kolbe, H. Einflussfaktoren auf die Inhaltsstoffe der Kartoffel. Teil III. Rohprotein. Fortsetzung von Ausgabe 1-2/1996, S. 35. Kartoffelbau, 47 (5): 176-181, 1996.

Kolbe, H. Einflussfaktoren auf die Inhaltsstoffe der Kartoffel. Teil VII. Vitamine. Kartoffelbau, 48 (1/2): 34-39, 1997.

Koljadko, O. M., Kozlova, L. N. Vlijanije uslovij viraščivanja na biohimičeskij sostav klubnej kartofelja. Kartofelevodstvo. Sbornik naučnych trudov, vyp. 11. BeNIK 2002. Minsk, Merlit 2002, s. 129-135.

Konings, E. J. M., Baars, A. J., Klaveren, J. D. van, Spanjer, M. C., Rensen, P. M., Hiemstra, M., Kooij, J. A. van, Peters, P. W. J. Acrylamide exposure from foods of the Dutch population and an assessment of the consequent risks. Food Chem. Toxicol., 41 (11): 1569-1579, 2003.

Koštíř, J. Biochemie známá i neznámá. Avicenum, zdravotnické nakladatelství, Praha 1980, 384 s.

Kourek, R., Koutník, V., Kračmar, S. Vliv půdní aplikace selenu na spektrum aminokyselin u bramborových hlíz. Bramborářství, 4 (5): 8-10, 1996.

Koutník, V. Vliv selenu na tvorbu biomasy ovsa. Úroda, 41 (7-8): 262-263, 1993.

Koutník, V., Kráčmar, S., Kourek, R., Zeman, L. The effects of foliar application of Selenium on the amino acid spectrum in potato tubers. Acta univ. agric et silvic. Mendel. Brun. (Brno), 45 (1): 39-45, 1997.

Kramer, U. Cadmium for all meals – plants with an unusual appetite. New Phytol., 145: 1-5, 2000.

Křišťůfek, V., Hausvater, E. Strupovitost brambor a *Streptomyces scabies*. Úroda, 41 (7-8): 271-272, 1993

Křišťůfek, V., Pelikánová, L., Diviš, J. Obsah polyfenolických látek ve slupce hlíz brambor ve vztahu k výskytu strupovitosti. *Bramborářství*, 9 (5): 4-7, 2001.

Kuhn, R. and Löw, I. Die Konstitution des Solanins. *Angew. Chem.*, 66: 639-640, 1954.

Lachman, J., Hamouz, K., Orsák, M., Pivec, V. Potato tubers as a significant source of antioxidants in human nutrition. *Rostl. Výr.*, 46 (5): 231-236, 2000.

Lachman, J., Hamouz, K., Orsák, M., Pivec, V. Polyfenoly, askorbová kyselina a karotenoidy – významné antioxidanty v hlízách brambor. *Bramborářství*, 9 (2): 6-8, 2001.

Lachman, J., Hamouz, K., Orsák, M., Pivec, V. Potato glycoalkaloids and their significance in plant protection and human nutrition – review. *Rostl. Výr.*, 47 (4): 181-191, 2001.

Lachman, J., Hamouz, K. Anthokyany v hlízách brambor s červeně až modře zbarvenou dužninou – významný zdroj antioxidantů ve výživě. *Bramborářství*, 12 (2): 12-15, 2004.

Lambers, H., Chapin III F. S., Pons, T. L. *Plant Physiological Ecology*. Springer-Verlag New York Inc., 1998.

Lampitt, L. H., Goldenberg, N. The composition of the potato. *Chem. and Ind.*, 59: 748-761, 1940 (Cit. dle Burtona, 1989).

Laanest, L., Tohver, A., Palm, E. Soluble phenolics and alicyclic acids in aging potato tuber slices. *Eesti Tead. Akad. Toim. Biol.*, 44 (1-2): 1-10, 1995.

Ledin, M. Accumulation of metals by microorganisms – processes and importance for soil systems. *Earth – Science Rev.*, 51: 1-31, 2000.

Lefort, J. F., Durance, T. D., Upadhyaya, M. K. Effects of tuber storage and cultivar on the quality of vacuum microwave-dried potato chips. *J Food Sci.*, 68 (2): 690-696, 2003.

Lener, J. Esenciální a toxické prvky v potravinovém řetězci. In: Bencko, V., Cikrt, M., Lener, J. (eds.) *Toxické kovy v pracovním a životním prostředí člověka*. Avicenum - zdravotnické nakladatelství, Praha, 1984: 19-25.

Lener, J. Molybden. In: Bencko, V., Cikrt, M., Lener, J. (eds.) *Toxické kovy v pracovním a životním prostředí člověka*. Avicenum - zdravotnické nakladatelství, Praha, 1984: 170-187.

Leppack, E. Weniger innere Verfärbung der Kartoffeln durch Anwärmen. *Kartoffelbau*, 46 (1): 4-8, 1995a.

Leppack, E. Zur Schwarzfleckigkeit von Kartoffelknollen. *Kartoffelbau*, 46 (6): 236-241, 1995b.

Leung, K. S., Lin, A., Tsang, C. K., Yeung, S. T. K. Acrylamide in Asian foods in Hong Kong. *Food Additives and Contaminants*, 20 (12): 1105-1113, 2003.

Li, P. H. *Potato physiology*. Academic Press, Inc., 1985, 586 s.

Lin, S., Sattelmacher, B., Kutzmutz, E., Muhling, K. H., Dittert, K. Influence of nitrogen nutrition on tuber quality of potato with special reference to the pathway of nitrate transport into tubers. *J. Plant Nutr.*, 27 (2): 341-350, 2004.

Macek, T., Macková, M., Burkhard, J., Demnerová, K. Introduction of green plants for the control of metals and organics in environmental remediation. In: Holm, F. W. (ed.): *Effluents from Alternative Demilitarization Technologies*. Kluwer Academic Publishers. Printed in the Netherlands, 1998: s. 71-84.

Mader, P. Karotenoidy v hlízách brambor vybraných odrůd českého sortimentu. In: Sbor. Ref. XXIX. Symposium o nových směrech výroby a hodnocení potravin. Skalský dvůr, 1998.

Mader, P., Vodičková, H. Karotenoidy v hlízách brambor vybraných odrůd českého sortimentu. [Závěrečná zpráva.] ČZU Praha, 1996.

Maga, J. A. Potato glycoalkaloids. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*, 12: 371-405, 1980.

Maga, J. A. Glycoalkaloids in *Solanaceae*. *Food Rev. Inter.*, 10 (4): 385-418, 1994.

Marwaha, R. S. Processing of potatoes: Current status, need, future potential and suitability of Indian varieties. A critical appraisal. *J. Food Sci. Technol. Mysore*, 34 (6): 457-471, 1997.

Marwaha, R. S., Sandhu, S. K. Yield, sensory and nutritional qualities of potato flours prepared from low and high dry matter cultivars stored at different temperatures. *J. Food Sci. Technol. Mysore*, 40 (6): 638-641, 2003.

Matheis, G. Polyphenol oxidase and enzymatic browning of potatoes (*Solanum tuberosum*). *Chem. Mikrobiol. Technol. Lebensm.*, 11 (1): 5-12, 1987a.

Matheis, G. Polyphenol oxidase and enzymatic browning of potatoes (*Solanum tuberosum*). II. Enzymatic browning and potato constituents. *Chem. Mikrobiol. Technol. Lebensm.*, 11 (2): 33-41, 1987b.

Matheis, G. Polyphenol oxidase and enzymatic browning of potatoes (*Solanum tuberosum*). III. Recent progress. *Chem. Mikrobiol. Technol. Lebensm.*, 12 (12): 86-95, 1989.

Matula, J. Kationtová výměnná kapacita půdy a její využití ke hnojení. *Agrochémia*, 24 (11): 333-337, 1984.

Mensink, G. B. M., Beitz, R. Food and nutrient intake in East and West Germany, 8 years after the reunification – The German Nutrition Survey 1998. *Eur. J. Clinical Nutr.*, 58 (7): 1000-1010, 2004.

Míča, B. Studium struktury a změny barvy hlíz po uvaření. Záv. zpráva VŠÚB Havl. Brod, 1979, 47 s.

Míča, B. Výskyt dusičnanů v konzumních bramborách. In: Sledování výskytu cizorodých látek v potravinovém řetězci. Hradec Králové, 1986, s. 1-24.

Míča, B. Využití brambor a jejich produktů. In: Rybáček, V. (ed.) a kol. Brambory. Státní zemědělské nakladatelství, Praha, 1988: 11-34.

Míča, B. Draslík a kvalita stolních a průmyslových brambor. In: Draslík ve výživě brambor, Sborník referátů KVŠÚB Havlíčkův Brod, 1989: 37-54.

Míča, B. Změny barvy syrových a tepelně upravených brambor. *Výživa*, 47 (1): 10-12, 1992.

Míča, B. Vápník a kvalita brambor. *Úroda*, 41 (7-8): 273-274, 1993.

Míča, B. Kritéria kvality průmyslových brambor a jejich ovlivnění. *Úroda*, 42 (10): 38-39, 1994.

Míča, B. Neenergetické a senzoricky aktivní látky v hlízách brambor. *Výživa a Potraviny*, 50 (5): 130-131, 1995.

Míča, B., Vokál, B. Brambory jako potravinářská surovina. *Bramborářství*, 2 (4): 10-12, 1994.

Míča, B., Vokál, B. Chemické a fyziologické příčiny černání syrových hlíz, zbarvení syrové třenky a černání vařených brambor. *Bramborářství*, 3 (1): 3-6, 1995a.

Míča, B., Vokál, B. Draslík ve výživě brambor. *Bramborářství*, 3 (3): 10-12, 1995b.

Míča, B., Vokál, B. Bramborový škrob, jeho význam a podmínky tvorby v hlízách. *Bramborářství*, 3 (4): 11-14, 1995c.

Míča, B., Vokál, B. Fosfor ve výživě brambor. *Bramborářství*, 3 (1): 9-11, 1995d.

Míča, B., Vokál, B. Dusíkaté látky a jejich vztah ke kvalitě brambor. *Bramborářství*, 5 (1): 5-8, 1997a.

Míča, B., Vokál, B. Pohyb draslíku v půdě a jeho odběr bramborami během vegetace. *Bramborářství*, 5 (4): 5-6, 1997b.

Milacic, R., Kralj, B. Determination of Zn, Cu, Cd, Pb, Ni and Cr in some Slovenian foodstuffs. *European Food Res. Techn.*, 217 (3): 211-214, 2003.

Molyneux, R. J., Nash, R. J., Asano, N. The chemistry and biological activity of calystegines and related nortropane alkaloids. In: Pelletier, S. W. (Ed.) *Alkaloids: chemical and biological perspectives*. Vol. 11: 303-343, 1996.

Mottram, D. S., Wedzicha, B. L., Dodson, A. T. Acrylamide is formed in the Maillard reaction. *Nature*, 419: 448-449, 2002.

Mullin, W. J., Smith, J. M., Nadeau, L., Collins, Z. P. V. Levels of vitamin C (ascorbic acid) and some other nutrients in raw and French-fried potatoes. *J. Canadian Diet. Ass.*, 50 (3): 161-165, 1989.

Munzert, M., Hege, U. Zur Höhe der Kalidüngung und zur Frage eines sortenspezifischen Kalibedarfs der Kartoffel auf gut versorgten Boden. *Bayer. Landwirtsch.*, 62 (3): 354-364, 1985.

Müller, S. D. Ernährungsmedizinische Empfehlungen zur Acrylamidproblematik. *Ernährung and Medizin*, 17 (4): 199-202, 2002.

Nakajima, K., Hashimoto, T., Yamada, Y. Two tropinone reductases with different stereospecificities are short-chain dehydrogenases evolved from a common ancestor. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.*, 90: 9591-9595, 1993.

Nash, R. J., Rothschild, M., Porter, E. A., Watson, A. A., Waigh, R. D., Waterman, P.G. Calystegines in *Solanum* and *Datura* species and the death's-head hawk-moth (*Acherontia atropus*). *Phytochemistry*, 34: 1281-1283, 1993.

Nátr, L. Minerální výživa. In: Procházka, S., Macháčková, I., Krekule, J., Šebánek, J. a kolektiv: *Fyziologie rostlin*. Academia Praha, 1998, s. 89-123.

Nátr, L. Fotosyntéza. In: Procházka, S., Macháčková, I., Krekule, J., Šebánek, J. a kolektiv: *Fyziologie rostlin*. Academia Praha, 1998a, s. 124-173.

Nátr, L. Fotosyntetická produkce a výživa lidstva. ISV nakladatelství, Praha 2002, 423 s.

Nedělník, J. Kontaminace zemědělských a potravinářských produktů mykotoxiny. In: *Aktuální poznatky v oblasti jakosti zemědělské a potravinářské produkce*. Brno 7. – 8. 11. 2001: 155-158. ISBN 80-902436-6-5

Neuberger, A., Sanger, F. The nitrogen of the potato. *Biochem. J.*, 36: 662-671, 1942.

Nies, D. H. Heavy metal-resistant bacteria as extremophiles: molecular physiology and biotechnological use of *Ralstonia* sp. CH34. *Extremophiles*, 4: 00-00, 2000. (Cit. dle Nátra, 2002).

Noti, A., Biedermann-Brem, S., Biedermann, M., Grob, K., Albisser, P., Realini, P. Storage of potatoes at low temperature should be avoided to prevent increased acrylamide formation during frying or roasting. *Mitt. Lebensmit. Hygiene*, 94 (3): 167-180, 2003.

Ong, A. S. H., Tee, E. S. Natural sources of carotenoids from plants and oils. *Meth. Enzymol.*, 213: 142, 1992.

Ostrý, V. Systém zajištění zdravotní nezávadnosti (bezpečnosti) potravinářských surovin a potravin. In: Prugar, J., Sýkorová, S. (eds.) *Jakost surovin a potravin rostlinného původu. Přehled aktivit v ČR*. VÚRV Praha-Ruzyně, odd. poradenství, 2003: s. 3-7.

Oyarzun, M. T., Uauy, R., Olivares, S. Food based approaches to improve vitamin and mineral nutritional adequacy (originál ve španělštině). *Archivos Latinoamericanos de Nutricion*, 51 (1): 7-18, 2001.

Packer, L. Vitamin E is nature's master antioxidant. *Sci. & Med.*: 54-63, 1994.

Packer, L., Witt, E. H., Tritschler, H. J. Alpha-lipoic acid as a biological antioxidant. *Free Radic. Biol. Med.*, 19: 227-250, 1995.

Pavek, J. J., Brown, C. R., Martin, M. W., Corsini, D. L. Inheritance of blackspot bruise resistance in potato. *Amer. Potato J.*, 70 (1): 43-48, 1993.

Petr, J. Kde se bere akrylamid. *Zemědělec*, 10 (44): 19, 2002 (ze dne 29. 10.).

Pilon-Smits, E., Pilon, M. Breeding mercury-breathing plants for environmental cleanup. *Trends Plant Sci.*, 5: 235-236, 2000.

Pollien, P., Lindinger, C., Yeretjian, C., Blank, I. Proton transfer reaction mass spectrometry, a tool for on-line monitoring of acrylamide formation in the headspace of Maillard reaction systems and processed food. *Anal. Chem.*, 75 (20): 5488-5494, 2003.

Poppr, J., Holá, Z. Hodnocení dynamiky cukrů v období skladování hlíz brambor. *Záv. zpráva za úkol C 01-329-808-18*, VÚB Havl. Brod, 1995, 20 s. + přílohy

Portsteffen, A., Dräger, B., Nahrstedt, A. The reduction of tropinone in *D. stramonium* root cultures by two specific reductases. *Phytochemistry*, 37: 391-400, 1994.

Pots, A. M., Gruppen, H., Hessing, M. Isolation and characterization of patatin isoforms. *J. Agric. Food Chem.*, 47 (11): 4587-4592, 1999. [Převzato z *Potato Abstracts*, 25 (1): 37 (č. 266), 2000].

Prugar, J. Jak je to s kvalitou bioproduktů? *Úroda*, 42 (10): 20-21, 1994.

Prugar, J. Současný pohled na kvalitu potravin. Sborník referátů z konference s mezinárodní účastí "Výživa rostlin, kvalita produkce a zpracovatelské využití." MZLU Brno 29. - 30. 6. 1999: s. 32-35.

Prugar, J. Na prahu vstupu do EU: Uplatníme se jen s kvalitními produkty. Úvod. In: Prugar, J., Sýkorová, S. (eds.) *Jakost surovin a potravin rostlinného původu. Přehled aktivit v ČR.* VÚRV Praha-Ruzyně, odd. poradenství, 2003: s. 1-2.

Prugar, J., Hrubý, J. Význam kvality v současné rostlinné produkci. Sborník referátů z konference s mezinárodní účastí „Aktuální poznatky v oblasti jakosti zemědělské a potravinářské produkce.“ Hotel Kozák, Brno 7. – 8. 11. 2001: s. 9-14.

Pulvirenti, A., Gormley, T. R. Effect of cultivar, freezing method and dairy ingredients on the quality of frozen mashed potato. *Farm and Food*, 8 (4): 34-36, 1998.

Putz, B. Derzeitiger Wissensstand zu Blau- und Schwarzfleckigkeit bzw. Beschädigungen. *Kartoffelbau*, 46 (7): 284-286, 1995.

Puzina, T. I. Effect of zinc sulfate and boric acid on the hormonal status of potato plants in relation to tuberization. *Russian J. Plant Physiol.*, 51 (2): 209-214, 2004.

Reyes, L. F., Miller, J. C., Cisneros-Zevallos, L. Environmental conditions influence the content and yield of anthocyanins and total phenolics in purple- and red-flesh potatoes during tuber development. *Amer. J. Potato Res.*, 81 (3): 187-193, 2004.

Rivero, R. C., Hernandez, P. S., Rodriguez, E. M. R., Martin, J. D., Romero, C. D. Mineral concentrations in cultivars of potatoes. *Food Chem.*, 83 (2): 247-253, 2003.

Roinila, P., Vaisanen, J., Granstedt, A., Kunttu, S. Effects of different organic fertilization practices and mineral fertilization on potato quality. *Biol. Agric. & Hortic.*, 21 (2): 165-194, 2003.

Rosen, J., Hellenas, K. E. Analysis of acrylamide in cooked foods by liquid chromatography tandem mass spectrometry. *Analyst*, 127 (7): 880-882, 2002.

Rubanov, V. S., Vojtova, A. S. Dějstvije magnijevych udobrenij na urožaj i kačestvo kartofelja. *Chim. Sel. Choz.*, (8): 11-13, 1970.

Ruttinger, H.H., Dräger, B. Pulsed amperometric detection of calystegines separated by capillary electrophoresis. *J. Chromatogr.*, 925: 291-296, 2001.

Satué, M. T., Heinonen, M. I., Frankel, E. N. Anthocyanins as antioxidants in human low-density lipoprotein and lecithin-liposome systems. *J. Agric. Fd. Chem.*, 45: 3362-3367, 1997.

Seppanen, M., Turakainen, M., Hartikainen, H. Selenium effects on oxidative stress in potato. *Free Radical Res.*, 37: 46-46 Suppl. 2, 2003.

Shekhar, V. C., Iritani, W. M., Arteca, R. Changes in ascorbic acid content during growth and short-term storage of potato tubers (*Solanum tuberosum* L.). *Amer. Potato J.*, 55: 663-670, 1978.

Schick, R., Klinkowski, M. Die Kartoffel. Band I., II. VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag Berlin, 1961, 1962, 2112 s..

Scholl, Y., Asano, N., Dräger, B. Automated multiple development thin layer chromatography for calystegines and their biosynthetic precursors. *J. Chromatogr.*, 928: 217-224, 2001.

Somorowska, K. Wplyw nawożenia dawkami soli potasowej i navadniania na niektore cechy jakosci bulw ziemniaka. *Bul. Inst. Ziemn.*, 35: 61-75, 1983.

Sotillo, R. D. de, Hadley, M., Holm, E. T. Potato peel waste: stability and antioxidant activity of a freeze-dried extract. *J. Food Sci.*, 59 (5): 1031-1033, 1994.

Stadler, R. H., Blank, I., Varga, N., Robert, F., Hau, J., Guy, P. A., Robert, M. C., Riediker, S. Acrylamide from Maillard reaction products. *Nature*, 419: 449-450, 2002.

Stark, J. C., Love, S. L. Potato production systems. University of Idaho, Extension, 2003, 426 s.

Storey, R. M. J., Davies, H. V. Tuber quality. In: Harris, P. M. (ed.): *The Potato Crop: the scientific basis for improvement*. 2nd ed. 1992: 507-569.

Suhaj, M., Kováč, M. Přírodné toxikanty a antinutričné látky v potravinách. Výskumný ústav potravinársky, Bratislava a Slovenská poľnohospodárska a potravinárska komora. Bratislava, 1996, 140 s.

Svensson, K., Abramsson, L., Becker, W., Glynn, A., Hellenas, K.E., Lind, Y., Rosen, J. Dietary intake of acrylamide in Sweden. *Food Chem. Toxicol.*, 41 (11): 1581-1586, 2003.

Tareke, E., Rydberg, P., Karlsson, P., Eriksson, S., Toernqvist, M. Acrylamide: a cooking carcinogen? *Chem. res. Toxicol.*, 13: 517-522, 2000.

Tareke, E., Rydberg, P., Karlsson, P., Eriksson, S., Toernqvist, M. Analysis of acrylamide, a carcinogen formed in heated foodstuffs. *J. Agric. Food Chem.*, 50: 4998-5006, 2002.

Tepfer, D., Goldmann, A., Pamboukdjian, N., Maille, M., Lepingle, A., Chevalier, D., Dénarie, J., Rosenberg, C. A Plasmid of *Rhizobium meliloti* 41 encodes catabolism of two compounds from root exudate of *Calystegia sepium*. *J. Bacteriol.*, 170: 1153-1161, 1988.

Tomáš, J. Stopové prvky v životnom prostredí. In: *Cudzorodé látky v životnom prostredí*. Zborník z III. medzinárodnej konferencie. Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre, September 2000, Nitra s. 10-18. ISBN 80-7137-745-7

Tourneau, D. Le. Carbohydrate components of the potato tuber. *J. Agric. Food Chem.*, 4: 543-545, 1956.

Turakainen, M., Hartikainen, H., Seppanen, M. M. Effects of selenium treatments on potato (*Solanum tuberosum* L.) growth and concentrations of soluble sugars and starch. *J. Agric. Food Chem.*, 52 (17): 5378-5382, 2004.

Ulbricht, G. Qualität von Speisekartoffeln. In: *Kartoffeltrends 2002*. Bergen/Dumme, Agrimedia 2002, s. 8-11.

Vacek, J. Hodnocení kvality hlíz ke zpracování na potravinářské výrobky. *Bramborářství*, 1 (2): 6-7, 1993.

Vacek, J. Stolní a technologická hodnota brambor. *Úroda*, 45 (10): 17, 1997.

Vacek, J. Skladování hlíz a studium jejich vybraných vlastností. Dis. práce, ČZU Praha, 1999, 112 s.

van Gelder, W. M. J. Chemistry, toxicology, and occurrence of steroidal glycoalkaloids: potential contaminants of the potato (*Solanum tuberosum* L.). In: Rizk, A.-F. M. (Ed.) *Poisonous Plants Contaminating Edible Plants*. CRC Press, Boca Raton, Florida, 1990, 117-156.

Velíšek, J. and Hajšlová, J. Alkaloids. In: Davídek, J. (Ed.) *Natural Toxic Compounds of Foods – Formation and Changes During Processing and Storage*. CRC Press, Boca Raton, Florida, 1995, 15-44.

Verschoore, R., Duquesne, F. Beschädigung von Kartoffeln bei der Aufbereitung – Ergebnisse aus Belgien. *Kartoffelbau*, 46 (9): 370-372, 1995.

Vokál, B. Optimalizace výživy brambor draslíkem. In: *Draslík ve výživě brambor*. Sborník referátů, KVŠÚB Havlíčkův Brod, 1989: 54-62.

Vokál, B. Kvalita brambor jako podmínka konkurenceschopnosti. *Úroda*, 52 (9): 22-23, 2004.

Voldřich, M., Žáčková, J., Votavová, L., Vacek, J., Kvasnička, F. Barevné změny během zpracování brambor. *Potr. Vědy*, 14 (1): 71-77, 1996.

Vyskot, B. Genetická podmíněnost fyziologických procesů. In: Procházka, S., Macháčková, I., Krekule, J., Šebánek, J. a kolektiv: Fyziologie rostlin. Academia Praha, 1998, s. 432-458.

Weber, J. Erhöhte Fäuleabwehr und Schwarzfleckigkeitsneigung der Kartoffelknollen durch autolytische Zelltod-Reaktion. In: Kartoffelforschung aktuell 1991, Gross Lüsewitz, IfK 1991, s. 7-14.

Weisshaar, R., Gutsche, B. Formation of acrylamide in heated potato products – Model experiments pointing to asparagine as precursor. Deutsche Lebensmittel-Rundschau, 98 (11): 397-400, 2002.

Westermann, D. T., James, D. W., Tindall, T. A., Hurst, R. L. Nitrogen and potassium fertilization of potatoes: sugars and starch. Amer. Potato J., 71 (7): 433-453, 1994.

Wills, R. B. H., Silalahi, J. Effects of storage temperature on loss of vitamin C in potato crisps. J. Sci. Food Agric., 53 (2): 275-278, 1990.

Wills, R. B. H., Suthilucksanavanish, K. Seasonal variation in vitamin C and nutrient composition of processed potato products. Food Australia, 43 (1): 19-24, 1991.

Wirths, W. Neuere Entwicklung der Kartoffelverwertung mit speziellem Hinweis auf ernährungsphysiologischen Wert. Der Kartoffelbau, 14 (10): 236-238, 1963.

Woolfe, J. A. The potato in the human diet. Cambridge University Press, Cambridge, 1987.

Yaylayan, V. A., Wnorowski, A., Perez Locas, C. Why asparagine needs carbohydrates to generate acrylamide. J. Agric. Food Chem., 51: 1753-1757, 2003.

Yoshida, M., Ono, H., Ohnishi-Kameyama, M., Chuda, Y., Yada, H., Kobayashi, H., Ishizaka, M. Determination of acrylamide in processed foodstuffs in Japan. J. Japanese Soc. Food Sci. Technol.-Nippon Shokuhin Kagaku Kogaku Kaishi, 49 (12): 822-825, 2002. (japonsky)

Zavoral, M. Rakovina tlustého střeva. Všeobecná ZP ČR, č. 12, 2000, 13 s.

Ziegler, R. Vegetables, fruits, and carotenoids and the risk of cancer. Amer. J. Clin. Nutr., 53: 251-265, 1991.

Zrůst, J. Vliv vegetační doby, roků a modifikovaného prostředí na škrobnatost hlíz brambor. Rost. Výr., 34 (10): 1103-1110, 1988.

Zrůst, J. Riziko pěstování brambor v půdách kontaminovaných těžkými kovy. Podklady pro Vědecký výbor fyto-sanitárního a životního prostředí. VÚB Havlíčkův Brod, prosinec 2002, 35 s.

Zrůst, J. Glykoalkaloidy u bramboru a ostatních komodit. Podklady pro Vědecký výbor fyto-sanitárního a životního prostředí. VÚB Havlíčkův Brod, říjen 2003, 60 s.

Zrůst, J., Hlušek, J., Jůzl, M. Rizikové prvky u bramboru. Agromagazín, 3 (9): 36-38, 2002.

Zwenger, C. and Kind, A. Über das Solanin und dessen Spaltungs Producte. Ann. Chem. Pharm., 118: 129-151, 1861.

Zyzak, D. V. Acrylamide formation mechanism in heated food. JIFSAN/NCFST Acrylamide in Food Workshop

http://www.jifsan.umd.edu/Acrylamide/acrylamide_workshop.html, 2002.