

Rezistentní škrob – charakteristika, zdroje a vliv na lidské zdraví

doc. Ing. Marcela Sluková, Ph.D., Ing. Lucie Jurkaninová, Ph.D., Ing. Ivan Švec, Ph.D., Ing. Pavel Skřivan, CSc.

Ústav sacharidů a cereálií, Vysoká škola chemicko-technologická v Praze

Rezistentní škrob (RS; typy 1 až 5) je typem škrobu, který není tráven v tenkém střevě člověka a přechází do tlustého střeva, kde je částečně metabolizován přítomnými mikroorganismy. Rezistentní škroby podle původu a způsobu zpracování potravin nebo přípravy pokrmu vykazují zdravotně prospěšné fyziologické účinky na lidský organismus. Typy rezistentního škrobu RS1, RS2, RS3 a RS5 jsou přirozeně přítomné v potravinách, navíc typy RS2, RS3 a RS4 mohou být přidávány do potravin jako funkční složka (přídavná látka). Významným zdrojem rezistentního škrobu jsou tepelně upravené potraviny/pokrm z luštěnin, brambor a obilovin. Vařené a ochlazené (nebo uchovávané) potraviny/pokrm mají vyšší obsahy RS než čerstvě uvařené.

Fyzikálně-chemické vlastnosti-struktura a vlastnosti škrobu

Škrob patří mezi složené sacharidy (polysacharidy) obsahující stovky až tisíce glukózových jednotek spojených glykosidovou vazbou. Škrob se ukládá v zásobních orgánech rostlin (např. v hlízách brambor a tapioky, semenech obilnin, pseudoobilnin a luskovin, nebo také v banánech a dalších plodinách) ve formě škrobových zrn, která nejsou rozpustná ve studené vodě. Tvar, struktura, poměr amylozy a amylopektinu, podíl krystalické a amorfni fáze a velikost škrobových zrn jsou charakteristické pro jednotlivé druhy plodin. Např. obilné škroby vykazují 2 velikostně odlišné frakce škrobu (A-škrob, B-škrob). V rostlinných buňkách slouží škrob jako zásobní složka, jako potenciální zdroj energie ve formě glukózy. Škrob se skládá ze dvou polysacharidových složek – amylozy (lineární řetězec glukóz vázaných glykosidovou vazbou α -1,4) a amylopektinu (rozvětvený řetězec glukóz vázaných vazbami α -1,4 a α -1,6). Luštěninové škroby jsou charakteristické vysokým obsahem amylozy v porovnání se standardními bramborovými nebo obilnými škroby. Jsou však šlechtěny také speciální odrůdy obilovin tzv. *high-amylose* s vyšším podílem amylozy ve škrobu vysokoamylozové kukuřice, pšenice, ječmen, nebo rýže); (*pozn.: normální škrob má podíl amylozy a amylopektinu v poměru 25 : 75, tj. cca 25 % amylozy a 75 % amylopektinu v molekule škrobu*). Z fyzikálních vlastností škrobu jsou nejvýznamnější schopnost bobtnání, mazovatění (želatinizace) a retrogradace.

Nutriční význam škrobu – rozdělení škrobů podle jejich stravitelnosti

Existují různé typy (formy) škrobu a jeho frakcí v závislosti na druhu rostliny, postupech zpracování potravin, postupech přípravy a servírování pokrmů, a na době a teplotě úchovy a skladování potravin a pokrmů. Fyzikální zásahy (zejména působení tepla-vaření, pečení, smažení, restování, extruze aj.) mají zásadní vliv na původní strukturu škrobových zrn. Rozdíly mezi škroby a jejich frakcemi se tak promítají do nutričních, sensorických a texturních vlastností finální potraviny/pokrmu.

Do 80. let minulého století panoval názor, že tepelně upravené škroby jsou stejně tráveny a resorbovány jako glukóza. Z výsledků řady studií a experimentů však vyplynulo, že část škrobu je rezistentní (odolná) vůči trávení v tenkém střevě člověka. Od tohoto momentu byl definován termín „rezistentní škrob“. Na základě rozsahu trávení v gastrointestinálním traktu (GIT) bylo pro škrob navrženo *in vitro* klasifikační schéma. Schéma bylo schváleno a použito (a

stále používáno) k popisu funkčnosti škrobu ve výživě. Bylo zjištěno, že jednotlivé typy škrobu jsou tráveny a absorbovány v tenkém střevě člověka různou rychlostí v závislosti na botanickém původu škrobu a podmínkách zpracování dané potraviny.

Pokud dochází k dezintegraci zrn a semen (proces mletí, drcení apod.), zvyšuje se citlivost škrobu k enzymové hydrolýze. V potravine přítomný rezistentní škrob (původní rezistentní škrob nebo rezistentní škrob vytvořený během zpracování a skladování potravin, anebo jako funkční přídatná látka) má vliv na snížení glykemického indexu potraviny. Potraviny obsahující škrob mohou zvyšovat hladinu glukózy v krvi (glykemii) různou rychlostí. Z hlediska výživy je míra poškození škrobových zrn a typ škrobu úměrný rychlosti resorpce škrobu během trávení, a tím také glykemickému indexu jednotlivých potravin.

Podle úrovně stravitelnosti můžeme škrob rozdělit do tří kategorií: rychle stravitelný škrob (*rapidly digestible starch* – RDS), pomalu stravitelný škrob (*slowly digestible starch* – SDS) a rezistentní škrob (*resistant starch* – RS). Rozdělení škrobů podle jejich stravitelnosti je uvedeno v Tab. I. Rychle stravitelný škrob (RDS) patří mezi využitelné polysacharidy, které jsou štěpeny již v horní části GIT a slouží jako pohotový zdroj energie ve formě glukózy. Při trávení škrobu se uplatňují slinné a pankreatické amylytické enzymy. Větší podíl škrobů v potravinách je tak zcela stráven již v tenkém střevě. Jedná se o škroby v čerstvých uvařených, tepelně upravených škrobnatých potravinách (např. čerstvé pekařské výrobky – světlé pečivo a chléb). Zastoupení RDS úzce souvisí s hodnotou glykemického indexu potraviny. Naopak předností pomalu stravitelného škrobu (SDS) je pomalý nárůst postprandiální hladiny glukózy v krvi. Konzumace potravin obsahujících pomalu stravitelný škrob (SDS) má vliv na zlepšení regulace metabolismu sacharidů a tuků, způsobuje snížení koncentrace sérových triacylglycerolů (cholesterolu) nejen u osob s dyslipidemií. Celkově působí v prevenci kardiovaskulárních onemocnění a udržuje pocit sytosti po delší dobu.

Rezistentní škrob (RS) je definován jako suma škrobu a produktů degradace škrobu, které se neabsorbují v tenkém střevě zdravého jedince, ale může být částečně fermentován mikrobiotou tlustého střeva. Rezistentní škrob tak vykazuje vlastnosti vlákniny a řadíme ho mezi nevyužitelné sacharidy. V tlustém střevě může být rezistentní škrob částečně metabolizován střevní mikrobiotou na monokarboxylové kyseliny s krátkým alifatickým řetězcem (*Short Chain Fatty Acids*, SCFAs). Konkrétně se jedná o octovou, propionovou a máselnou kyselinu, jejichž tvorba vede ke snížení pH v tlustém střevě. Uvedené kyseliny se absorbují do krevního řečiště a mohou ovlivňovat mj. metabolismus glukózy a tuků. Nižší pH ve střevě zajišťuje vhodné prostředí pro růst zdraví prospěšné mikrobioty.

Tradičním extrudovaným výrobkem s vysokým obsahem SDS a RS jsou kukuřičné lupínky (*cornflakes*). Zvýšení obsahu SDS a RS ve snídaňových směsích (*breakfast cereals*) lze docílit při určitých podmínkách jejich výroby (upravené procesní podmínky při extruzi a pufování). Nezanedbatelný podíl RS byl také stanoven u trvanlivého pečiva při použití celozrnných mouk, obilných vloček a různých zrn a semen. Výhodou je také nižší obsah vody v těstě a finálním výrobku tohoto typu. Záleží také na době a teplotě pečení. U některých typů extrudovaných cereálních výrobků došlo sice k navýšení obsahu vlákniny a RS, ale také došlo ke zvýšení stravitelnosti škrobu, a ke zvýšení rozpustnosti vlákniny a škrobu. Je třeba zdůraznit, že velmi záleží na konkrétním technologickém postupu, použitém typu zařízení, receptuře, povaze a složení vstupního materiálu apod. Na druhé straně třeba vzít v úvahu další nutriční složky těchto potravin, množství jejich konzumace v souvislosti s celkovým dopadem na zdraví konzumenta.

Typy rezistentního škrobu

RS je heterogenní skupinou sloučenin na bázi škrobu, které jsou zařazeny do 5 skupin podle jejich odolnosti (rezistence) k trávení tj. podle povahy a vlastností škrobového zrna. Rezistentní škrob typu 1 (RS1) je fyzikálně nepřístupný (nedostupný) škrob, např. škrob v neporušených celých nebo jen částečně narušených zrnech nebo semenech luštěnin a syrových obilných zrnech, kde je škrob součástí buněčných stěn nebo proteinové matrice a není přístupný enzymové hydrolýze amylolytickými enzymy. Fyzikální překážka (zejména obalové vrstvy semen nebo zrn) je příčinou nízkého glykemického indexu příslušné potraviny. Rezistentní škrob typu 2 (RS2) je nativní škrob obsažený ve škrobových zrnech syrových brambor, zelených banánů, luštěnin a vysokoamylózového kukuřičného škrobu. Důvodem rezistence RS2 je nativní konformace škrobového zrna, neboli přítomnost vyššího podílu pevně „zabalené“ krystalické struktury amylozy (v nativní formě nebo jako nezmazovatělé části škrobového zrna). Během vhodné tepelné úpravy potravin typu škrobu RS1 a RS2 podléhají mazovatění a stávají se částečně stravitelnými složkami. Rezistentní škrob typu 3 (RS3) se tvoří v důsledku určitých technologických postupů, působením tepla a vlhkosti na zpracovávaný materiál. Jedná se o formu retrogradovaného škrobu, retrogradované amylozy a amylopektinu. Během mazovatění škrobu (suspenze škrobu ve vodě) dochází k uvolnění řetězců amylozy do roztoku a po ochlazení směsi dochází k opětovnému propojování řetězců (uspořádané dvojité šroubovice stabilizované vodíkovými můstky) amylozy. Jedná se o proces retrogradace amylozy (retrogradace amylozy probíhá daleko rychleji než retrogradace amylopektinu). Vzniklé pevné šroubovice amylozy zabraňují přístupu amylolytických enzymů ke glykosidovým vazbám a tento typ amylozy je rezistentní k enzymové hydrolýze. Retrogradace amylopektinu probíhá daleko pomaleji díky složité struktuře amylopektinu. Typ RS3 (retrogradovaný škrob) se vyskytuje ve větším množství v potravinách jako je starší chléb a pečivo, vychladlé vařené brambory, vychladlé vařené těstoviny, sterilovaný hrášek, sterilované fazole apod. Jednou z možností navýšení obsahu RS3 ve škrobu (v laboratoři nebo v průmyslu) je využít mazovatění škrobu za podmínek vysokého tlaku s předchozím využitím kyselé hydrolýzy nebo extruze škrobu. Rezistentní škrob typu 4 (RS4) je modifikovaný škrob, chemicky nebo fyzikálně modifikovaný škrob, který se nevyskytuje v přírodě. Obsah RS4 ve škrobu lze zvýšit např. kyselou hydrolýzou škrobu izolovaného z vysokoamylózového ječmene a opakovaným záhřevem a ochlazováním směsi (suspenze). Chemická modifikace škrobu spočívá v zesílení škrobu, např. po reakci škrobu s fosforečnanem a dalšími činidly. Rezistentní škrob typu 5 (RS5) je tepelně stabilní frakce škrobu obsahující inkluzní napojení hydrofobní části lipidu do dutiny šroubovice amylozy. Tuky a oleje a monoacylglyceroly používané jako emulgátory tvoří s amylozou inkluzní sloučeniny a zpomalují tak bobtnání škrobu a rozsah mazovatění škrobu je tak nižší.

Je také třeba zmínit, že dalšími faktory, které brání trávení škrobu je přítomnost inhibitorů α -amyláz, vysoký obsah neškrobových polysacharidů (vlákniny) v potravine, vyšší viskozita potraviny apod. V obecném kontextu se jedná o zpomalení přístupu enzymů k substrátu a k vytvoření určité rezistence, bariéry, omezení trávení škrobu.

Zdravotní účinky rezistentního škrobu

Prospěšné nutriční a zdravotní účinky rezistentního škrobu mohou spočívat ve zlepšení glukózové tolerance, inzulínové citlivosti a snížení koncentrace triacylglycerolů v krvi. Některé typy RS mohou ve funkci prebiotika působit jako zdroj energie a substrátu pro rozvoj a růst specifické mikrobioty tlustého střeva (např. *Ruminococcus bromii*, *Eubacterium rectale*, a bifidobakterie) a podporovat tak imunitu organismu. Produkty mikrobiální fermentace RS mají významné funkce: octová kyselina slouží jako zdroj energie pro svalové a mozkové buňky,

propionová kyselina hraje roli jako zdroj energie pro jaterní buňky a v regulaci homeostáze glukózy, a máselná kyselina má vliv na obnovu kolonocytů. Předpokládá se tak snížení rizika vzniku nádorových onemocnění zejména tlustého střeva. Ačkoli se předpokládá určitá významná „fermentovatelnost“ rezistentního škrobu, existují však frakce rezistentního škrobu odolávající i mikrobiálním enzymům střeva a tyto frakce škrobu pak mohou zvyšovat objem stolice (působí podobně jako vláknina z pšeničných otrub, zrn ječmene a ovsa).

Nařízení komise (EU) č. 432/2012, kterým se zřizuje seznam schválených zdravotních tvrzení při označování potravin jiných než tvrzení o snížení rizika onemocnění a o vývoji a zdraví dětí uvádí zdravotní tvrzení týkající se rezistentního škrobu: „Nahrazení stravitelných škrobů rezistentním škrobem v jídle přispívá k omezení nárůstu hladiny glukózy v krvi po tomto jídle. Tvrzení smí být použito pouze u potravin, v nichž byl stravitelný škrob nahrazen rezistentním škrobem tak, že konečný obsah rezistentního škrobu činí nejméně 14 % celkového obsahu škrobu.“

Výzkum v oblasti výživy a trendů zpracování potravin je zaměřen na posouzení vlivu složek bohatých na rezistentní škrob (složky extrahované z přírodních zdrojů nebo zpracované a se zvýšeným podílem RS a vlákniny) na zdraví člověka. Zkoumány jsou zejména škroby z vysokoamylóзовé kukuřice a jejich deriváty.

Zdroje rezistentního škrobu

Průměrný příjem rezistentního škrobu v dietě západního světa se uvádí kolem 5 g (rozmezí hodnot 3,4-9,4 g/d). Většina škrobu je konzumována v tepelně upravených potravinách, kde je škrob plně zmazovatělý a snadno stravitelný. Snížená stravitelnost konzumovaného škrobu je ovlivněna řadou vnitřních a vnějších faktorů (např. typ a složení potraviny, povaha a zdroj škrobu, způsob zpracování potravin, postupy přípravy a servírování pokrmů, fyziologie jednotlivce a další).

Obsah RS v potravinách se pohybuje v širokém rozmezí (od 2 % hm. ve světlém chlebu až do 18 % hm. ve vařených černých fazolích, vztaženo na sušinu potraviny). Průměrné zastoupení rezistentního škrobu v jednotlivých potravinách je uvedeno v Tab. II. Obsah RS nezávisí na obsahu neškrobových polysacharidů (NSP) v potravine a není plně kvantifikován metodami stanovení NSP a vlákniny. Obsah RS se může měnit během skladování potravin, např. v horkých vařených bramborách je 5 % RS a ve vychladlých uvařených bramborách až 10 % RS. Záleží na odrůdě brambor a podmínkách přípravy vařených brambor.

Během tepelného zpracování potravin a skladování může docházet ke snížení obsahu RS nebo naopak ke zvýšení obsahu RS. Tepelná úprava (vaření, pečení, restování) a ochlazení banánů, rýže, fazolí a brambor vedlo ke zvýšení obsahu rezistentního škrobu. Po opakovaném ohřátí a ochlazení těchto potravin (banány, brambory, luštěniny) se obsah RS snižoval. Delší doba a nižší teplota pečení chleba a pečiva měla vliv na zvýšení obsahu RS ve světlém pšeničném chlebu.

Na tomto místě je třeba zmínit také postupy a metody stanovení rezistentního škrobu v potravinách a vzít v úvahu přesnost a opakovatelnost těchto stanovení. Obsah rezistentního škrobu se stanovuje enzymovými metodami *in vitro* – buď přímo, nebo nepřímo. Další možností je sledování obsahu RS metodami *in vivo*. Výsledky stanovení obsahu RS jsou většinou vztaženy na sušinu testované potraviny (*pozn. rozdíl v obsahu RS v suché, syrové a vařené potravine*). Při posuzování obsahu a významu RS ve výživě je tedy třeba komplexně posuzovat všechny uvedené aspekty týkající se stanovení a vyjádření hodnoty RS v dané potravine.

V dnešní době jsou experimentální a komerční zdroje RS1, RS2, RS3 a RS4 vyráběny moderními technologiemi s využitím fyzikálních, chemických a enzymových modifikací, často i jejich kombinacemi. Komerčně se jedná zejména o mouky a produkty z vysokoamylózové kukuřice nebo o výrobky na bázi škrobu z vysokoamylózové kukuřice, dále ječmene a pšenice (RS1); hydrotermicky nebo termomechanicky upravované škroby z kukuřice (RS2); rekrystalizované škroby z kukuřice a tapioky (RS3) a chemicky modifikované škroby pšenice, brambor a kukuřice (zejména fosfáty) (RS4).

Zahraniční zdroje (USA) uvádí, že chléb může přispívat k denní spotřebě RS podílem cca 21 %, další obilné produkty jako těstoviny 19 % a zelenina (jiné druhy než luštěniny) kolem 19 % celkového příjmu RS.

Závěr

Rezistentní škrob jako složka škrobu vykazuje pozitivní zdravotní účinky podobně jako vláknina, a proto se i považuje za její součást. Rezistentní škrob je zastoupen v neupravených i tepelně zpracovávaných potravinách/pokrmách ve značně variabilním podílu. Množství stanoveného rezistentního škrobu závisí nejen na způsobech zpracování potravin, postupech přípravy a servírování pokrmů, na době a teplotě úchovy a skladování potravin a pokrmů, ale také na metodice stanovení a vyjádření rezistentního škrobu v potravine a pokrmu. Žitný chléb, některé celozrnné nebo kvasové chleby, celozrnné běžné pečivo, snídaňové cereálie, různé typy přesnídávek typu „snack foods“, vařené těstoviny, vařená nebo restovaná rýže, vařené luštěniny a brambory a banány mohou být významným zdrojem rezistentního škrobu ve výživě člověka. Jsou šlechtěny také speciální odrůdy brambor a obilovin s vyšším podílem amylózy ve škrobu (některé druhy kukuřice, pšenice a ječmene). Výrobky z těchto surovin tak vykazují po tepelné úpravě vyšší zastoupení rezistentního škrobu. Je také třeba zmínit další nutriční výhody konzumace uvedených potravin. Výrobky z luštěnin, těstoviny, celozrnné cereální výrobky, a výrobky na bázi celých neporušených zrn a semen vyvolávají nižší odezvu glykemie a také mají nižší energetickou hodnotu. V dnešní době s nadbytkem potravin a častou převahou příjmu energie nad výdejem je tedy konzumace těchto výrobků výhodou.

Výživa a potraviny, Zpravodaj pro školní a dietní stravování, 2020, č. 4, str. 53-56

Tabulka I: Klasifikace škrobů podle jejich stravitelnosti

Typ škrobu	Rychlost trávení v tenkém střevě, vliv na glykemii	Zdroj daného typu škrobu
rychle stravitelný (RDS)	využitelný, stravitelný, rychlá odezva	čerstvé vařené potraviny obsahující škrob
pomalou stravitelný škrob (SDS)	využitelný, stravitelný, pomalá odezva	obilné škroby (syrová zrna obilovin), snídaňové směsi
rezistentní škrob RS1, fyzikálně nepřístupný (nedostupný)	rezistentní, nestravitelný	částečně drcená, rozemletá zrna a semena obilovin, pseudoobilovin a luštěnin, některé celozrnné produkty
rezistentní škrob RS2, rezistentní škrobová zrna	rezistentní, nestravitelný	syrové brambory, banány, některé luštěniny (např. čočka), kukuřice (<i>high-amylose corn</i>)
rezistentní škrob RS3, retrogradovaný škrob	rezistentní, nestravitelný	vychladlé uvařené brambory, vychladlé uvařené těstoviny,

		vychladlé uvařené knedlíky, starší chléb, kukuřičné lupínky (<i>cornflakes</i>)
rezistentní škrob RS4, modifikovaný škrob	rezistentní, nestravitelný	chemicky a fyzikálně chemicky modifikované škroby (přidatné látky)
rezistentní škrob RS5, inkluze amylosa-lipid	rezistentní, nestravitelný	pekařské výrobky

Tabulka II: Průměrné obsahy rezistentního škrobu ve vybraných potravinách (sestaveno z různých literárních zdrojů)

Potravina	Obsah RS (g/100 g)
banán, nezralý, syrový	2,8
banán, zralý, syrový	1,8
banán, tepelně upravený	2,0
pšeničná mouka (světlá)	0,4
ječná mouka	0,6
ječná mouka (z vysokoamylózové odrůdy ječmene)	1,6
kukuřičná mouka	1,6
bagety, rohlíky, housky (světlé, běžné pečivo)	0,8-1,2
pšeničný chléb (světlý)	1,0
pšeničný chléb (světlý) po toustování	1,9
celozrnné chleby (různé druhy)	1,2-1,7
žitný chléb	3,0
žitnopšeničný chléb	1-2
kvasové chleby (různé druhy)	0,7-3,3
kukuřičné lupínky	3,0
kukuřičná tortilla	3,6
kukuřice pufovaná	1,4
rýže (záleží na druhu a typu rýže), vařená v páře, vařená ve vodě	0,1-1,4
rýže, vařená, ochlazená	0,4-0,9
rýže, restovaná	1,4-2,2
rýže, restovaná, ochlazená	3,7-4,5

Potravina	Obsah RS (g/100 g)
ovesné vločky	0,3-1,2
ovesná kaše (instantní)	1-2
křehký chléb	1-3
vafle	0,5
muffiny (různé druhy)	0,6-1,0
sušenky	0,2-1,1
kekry	0,3-1,2
těstoviny ze semoliny, vařené	1,2
těstoviny ze semoliny, vařené, ochlazené	1,4
houskové knedlíky, vařené	1,1
houskové knedlíky, vařené, skladované 2 h při teplotě místnosti	1,4
houskové knedlíky, vařené, skladované 2 dny při teplotě 4°C	1,5
houskové knedlíky, vařené, skladované 7 dnů při teplotě 4°C	1,2
bramborové knedlíky	0,4
brambory (vařené, pečené, ošetřené mikrovlnným zářením) (různé odrůdy a typy brambor)	0,5-3,1
brambory, vařené, ochlazené	0,4-5,2
bramborové chipsy smažené	3,1
černé fazole, vařené	2,7
čočka, vařená	2,0
hrášek, vařený	1,4
čočka, vařená, ochlazená, znovu ohřátá	1,6

