

## REZISTENTNÍ A POMALU STRAVITELNÝ ŠKROB

EVŽEN ŠÁRKA<sup>a</sup>, PETRA SMRČKOVÁ<sup>a</sup>  
a LENKA SEILEROVÁ<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Ústav sacharidů a cereálií, <sup>b</sup> Ústav chemie pevných látek,  
Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Technická 5, 166 28 Praha 6  
evzen.sarka@vscht.cz

Došlo 25.2.13, přepracováno 24.6.13, přijato 12.7.13.

Klíčová slova: rezistentní škrob, pomalu stravitelný škrob, stravitelnost škrobu, chemicky modifikované škroby, extruze

### Obsah

1. Úvod
2. Stravitelnost škrobu
3. Rezistentní škrob a možnosti zvýšení jeho obsahu
4. Pomalu stravitelný škrob
5. Využití škrobů s upravenou stravitelností škrobu v potravinářství a ve farmacii

### 1. Úvod

Škrob patří mezi fyziologicky a hospodářsky nejdůležitější polysacharidy. Vyskytuje se v podobě diskretních částic, tzv. škrobových zrn, která se ukládají v zásobních orgánech rostlin. Škrobová zrna jsou unikátní pro rostlinný druh, ze kterého pochází, a liší se vnějším vzhledem, che-

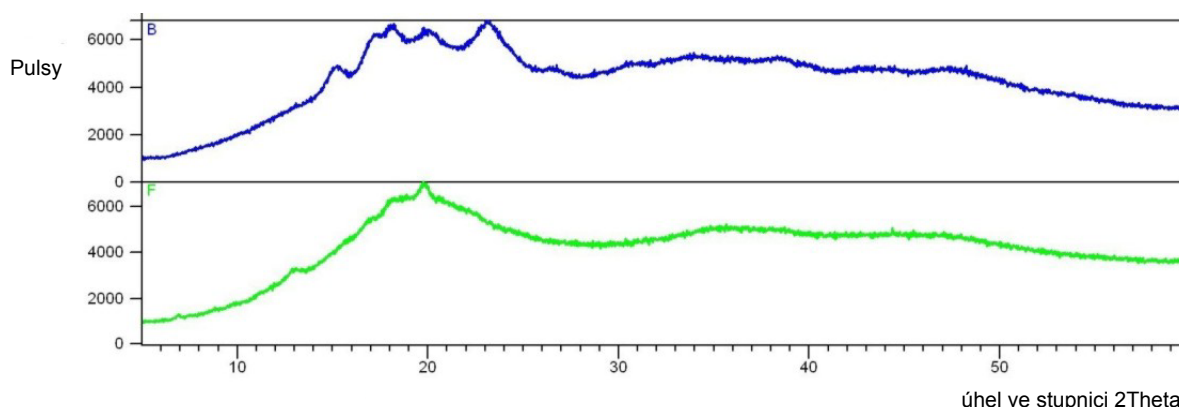
mickou strukturou, vlastnostmi a distribucí velikosti částic.

Škrob je hlavní energetickou složkou lidské potravy a významně ovlivňuje funkční vlastnosti potravin – je využíván k zahušťování potravin a k úpravě jejich textury. Mimo to se škrob využívá v papírenském a textilním průmyslu a při chemických a biochemických aplikacích. Ve farmaceutickém průmyslu je dominantní jeho použití jako excipientu např. jako pojiva, plniva či rozvolňovadla. Je studován i jako pomocná látka v nových formulacích léků s řízeným uvolňováním.

Hlavními složkami škrobu jsou dva  $\alpha$ -D-glukany – lineární amylosa s  $\alpha$ -D(1 $\rightarrow$ 4) vázanými glukosovými jednotkami a větvený amylopektin, obsahující  $\alpha$ -D(1 $\rightarrow$ 4) a  $\alpha$ -D(1 $\rightarrow$ 6) vazby.

Poměr těchto polysacharidů, který se liší u škrobů různého původu, ovlivňuje řadu fyzikálních vlastností. U cereálních škrobu se obsah amylosy pohybuje v rozmezí 25–28 %, přičemž škroby některých modifikovaných genotypů kukuřice, ječmene nebo pšenice mají obsah amylosy zvýšený až na 70 %. Obsah amylosy v bramborách kolísá obvykle v rozmezí 17–21 % (cit.<sup>1</sup>) a rýžový škrob obsahuje 15–20 % amylosy<sup>2</sup>. Luštěninové škroby jsou charakteristické vysokým obsahem amylosy, např. u polního hrachu se uvádí rozmezí 33–50 %, u geneticky modifikovaných odrůd 8–72 %, a v dřeňovém hrachu 61 až 88 % (cit.<sup>3</sup>).

Cereální škroby, konkrétně pšenice, ječmen, žito a tritikale, mají ve srovnání s hlízovými škroby dva typy škrobových zrn – větší zrna A-škrobu a menší zrna B-škrobu. Tyto dvě skupiny škrobových zrn se liší tvarem, chemickým složením, molekulární strukturou amylopektinu, způsobem uložení ve škrobovém znu a dalšími vlastnostmi<sup>4</sup>.



Obr. 1. Rentgenový difraktogram průmyslově vyrobeného pšeničného B-škrobu; B – nativní škrob, F – škrob po zmazovatění a usušení<sup>6</sup>

Škrobová zrna jsou nerozpustná ve studené vodě, ale mohou absorbovat molekuly vody (botnat) a při nahřívání vodné suspenze botnají mnohem energičtěji. Tento proces, tzv. mazovatění (želatinace), je charakteristický fázovým přechodem škrobových zrn z uspořádaného stavu do neuspořádaného<sup>5</sup> působením intenzivních vibrací molekul, které rozštěpí původní inter- a intramolekulární vodíkové vazby, takže se škrob stává amorfním (obr. 1). Molekuly vody pronikají dovnitř zrna současně s uvolňováním molekul amylosy do vodného prostředí. Disperze po ukončení procesu obsahuje zbytky nabídných skeletů škrobových zrn a molekulárně dispergované částice (především amylosy), což se projevuje v tokovém chování.

## 2. Stravitelnost škrobu

Nutriční hodnota škrobu souvisí se strukturou molekuly a s modifikací upravující biologickou dostupnost – mechanickou, tepelnou nebo chemickou. Podle úrovně stravitelnosti může být škrob rozdělen do tří kategorií: rychle stravitelný škrob (rapidly digestible starch – RDS), pomalu stravitelný škrob (slowly digestible starch – SDS) a rezistentní škrob (resistant starch – RS)<sup>7</sup>. RDS úzce souvisí s glykemickým indexem, u kterého se předpokládá, že zvyšuje pravděpodobnost vzniku cukrovky a prediabetes, kardiovaskulárních chorob a obezity<sup>8</sup>.

Amylolýza škrobu je v tenkém střevě realizována  $\alpha$ -amylasou ze slinivky břišní ( $\alpha$ -1,4 glukano-4-glukanohydrolasou, EC 3.2.1.1), hydrolyzující vazby  $\alpha$ -D(1→4). Na rozdíl od hydrolyzy amylosy, která je náhodně štěpena na maltooligosacharidy, působení  $\alpha$ -amylasy na amylopektin není náhodné: jeho výslednými produkty jsou maltosa, maltotriosa a větvené  $\alpha$ -hraniční dextriny obsahující všechny původní vazby  $\alpha$ -D(1→6) a sousední vazby  $\alpha$ -D(1→4). Amylosa je trávena pomaleji a v menší míře než amylopektin. Bylo prokázáno, že glykemická odezva amylosy je menší, než u stejného množství amylopektinu.

Rychle a pomalu stravitelné škroby jsou ve výsledku zcela hydrolyzovány. Tepelně modifikované (předželatinované) škroby jsou tráveny rychleji, ale neliší se energetickou (kalorickou) hodnotou od nativních škrobů s výjimkou rezistentních škrobů. Naproti tomu rezistentní škrob není rozštěpen enzymy v tenkém střevě, ale přechází až do tlustého střeva. RS se tak řadí mezi nevyužitelné polysacharidy, má tedy podobnou funkci jako vláknina, do které bývá i zařazován. V tlustém střevě však může být střevní mikroflórou metabolizován na sekundární produkty.

Na rozdíl od vlákniny nepůsobí tak hrubým chuťovým vjemem. Denní příjem RS není u nás vysoký – asi 3,2 g v porovnání s doporučenou dávkou 5 g. Rezistentní škrob nejenže snižuje energetickou hodnotu stravy, ale může hrát důležitou roli v prevenci kolorektálního karcinomu, jehož výskyt v České republice je značný.

Stravitelnost škrobu ovlivňuje řada faktorů, mezi které patří původ (zdrojová rostlina), velikost škrobových zrn, poměr amylosy a amylopektinu, rozsah molekulárních asociací mezi složkami škrobu, typ a stupeň krystalinity,

délka řetězce amylosy, molekulární struktura amylopektinu a přítomnost amyloso-lipidových komplexů. V úvahu by rovněž měly být brány morfologie a ultrastruktura, jde např. o měrný povrch, kanálky a porozitu škrobových zrn<sup>9</sup>.

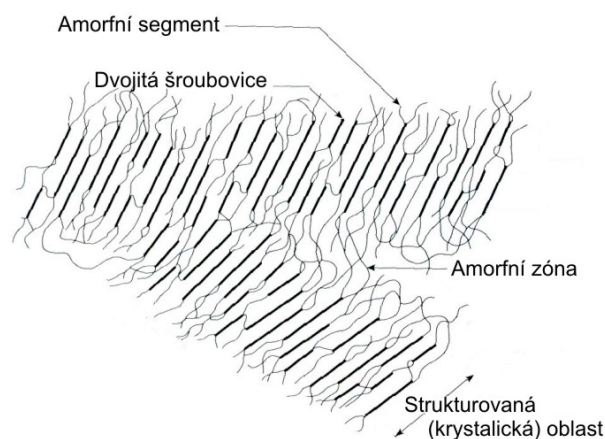
Měrný povrch souvisí s distribucí velikosti částic, která je charakteristická pro danou plodinu<sup>10</sup>, ve škrobářské technologii ji lze jen mírně upravit buď volbou vhodné odrůdy nebo úpravou nastavení separační stanice<sup>11</sup>.

Škrob typu B (podle difrakčních obrazců rentgenového záření)<sup>12</sup> má nejvíce bodů větvení seskupeno v amorfni oblasti, a proto snadněji podléhá enzymové hydrolyze. Oproti tomu banánový škrob typu C je odolný vůči enzymové hydrolyze, vytváří Naegeliho dextrin (se stupněm polymerace přibližně 25) s méně větvenými řetězci než škroby typu A (cit.<sup>13</sup>).

## 3. Rezistentní škrob, zdroje a možnosti zvýšení jeho obsahu

Rezistentní škrob se člení do čtyř primárních kategorií:

- RS1 je fyzikálně nepřístupný škrob, např. škrob v luštěninách, kde je součástí materiálu buněčných stěn nebo proteinové matrice a není přístupný enzymové hydrolyze.
- RS2 je nativní škrob obsažený ve škrobových zrnech s typem krystalinity B nebo C (např. škrob ze syrových nikoliv uvařených brambor, z banánů a vysoceamylosový kukuřičný škrob).
- RS3 je retrogradovaná amylosa. RS3 je škrob nejprve zmazovatělý, amylosa je následkem zmazovatění uvolněna do roztoku jako nahodile uspořádané šroubovice, ty po ochlazení reasociují za vzniku dvojitých šroubovic, stabilizovaných vodíkovými vazbami (obr. 2), kde závit o výšce 20,8 Å obsahuje šest glukosových jednotek<sup>14</sup>. Tyto dvojšroubovice vznikající retrogradací vytvářejí hexagonální krystalickou struk-



Obr. 2. Model retrogradované amylosy, tenčí čáry označují řetězce glukosových jednotek propojených glykosidovou vazbou  $\alpha$ -D(1→4), silné čáry symbolizují dvojité šroubovice<sup>19</sup>

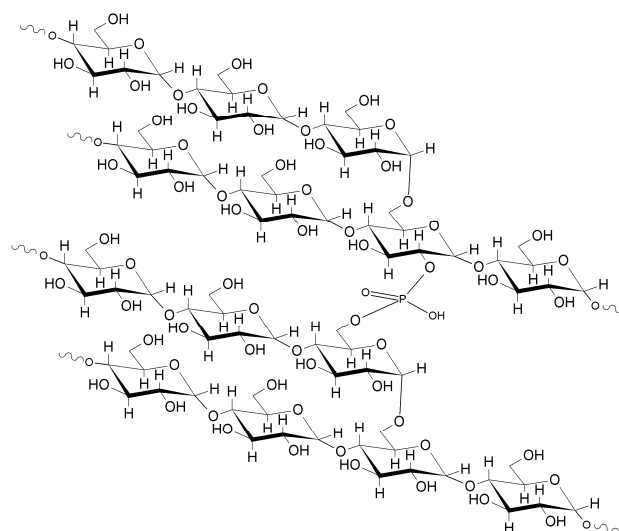
туру, která brání přístupnosti  $\alpha$ -amylasy ke glykosidovým vazbám. Běžná tepelná úprava potravin s obsahem RS3 nezpůsobí disociaci amylosové krystalinity, proto krystalinická amylosa zůstává velmi rezistentní k enzymové hydrolýze.

- RS4 je chemicky modifikovaný škrob.

Škroby RS1 a RS2 jsou po vhodné tepelné úpravě stravy pomalu, ale zcela stravitelné, kdežto škrob RS3 brání trávení úplně. Obsah rezistentního škrobu typu RS2 lze zvýšit např. zahříváním vodné suspenze obsahující vysoceamylosová škrobová zrna v přítomnosti inhibitorů mazovatění<sup>15</sup>, zahříváním s minimálním množstvím vody<sup>16</sup> nebo zahříváním v kyselých vodných roztocích alkoholu<sup>17</sup>.

Obsah rezistentního škrobu RS3 lze zvýšit např. opakovaným náhřevem suspenze v autoklávu a následným chlazením. Buď se využívá škrob s vysokým obsahem amylosy (u amylokukuřičného škrobu se uvádí výtěžek až 48 %) nebo se enzymově rozštěpí vazby  $\alpha$ -D-(1 $\rightarrow$ 6) v amylopektinu (po ukončení hydrolýzy zbývají v roztoku lineární řetězce amylosy, s výtěžkem až 47 %)<sup>18</sup>. Další možností je využít mazovatění škrobu za podmínek velmi vysokého tlaku s předchozím využitím kyselé hydrolýzy nebo extruze škrobu.

Obsah RS4 ve škrobu lze zvýšit např. kyselou hydrolýzou škrobu z amyloječmene a opakovaným náhřevem a chlazením<sup>20</sup>. Chemická modifikace škrobu často předpokládá zesítnění škrobu, např. podle patentu<sup>21</sup> reakcí škrobu s fosforečnanem, druhou možností je reakce s  $\text{POCl}_3$  při násobně vyšší koncentraci činidla než u obvyklého potravinářského fosforečnanového diesteru škrobu (obr. 3).



Obr. 3. Diester škrobu s kyselinou fosforečnou

Lze využít i kombinaci kyselé modifikace, annealingu a zesítnění<sup>22</sup> nebo prostou acetylaci. Hydrofobní acetylovaný škrob s požadovaným stupněm substitute  $> 2$  nalézá uplatnění i při vytváření fólií biodegradabilních kompozitů na bázi škrobu, přičemž zajišťuje možnost jejich využití ve vlhkém prostředí<sup>23</sup>. Řada těchto reakcí může být realizována pomocí extruze za vhodných reakčních podmínek.

Tabulka I

Obsah rezistentního škrobu (RS) v luštěninách a izolovaných škrobech

Zdroj rezistentního škrobu	Obsah RS [% suš.]		Lit.
	v surovém stavu	po tepelném zpracování	
Fazol zahradní ( <i>Phaseolus vulgaris</i> )	2,0 <sup>b</sup>	6,0–6,5 <sup>b</sup>	28
Fazol obecný ( <i>Phaseolus vulgaris</i> )	0,9 <sup>b</sup>	4,3–4,7 <sup>b</sup>	28
<i>Vigna aconitifolia</i>	12,2	3,2–3,9	30
<i>Macrotyloma uniflorum</i>	26,4	5,0–5,2	30
Fazol mořský ( <i>Vigna mungo</i> )	19,7	3,4–3,6	30
Hrách setý ( <i>Pisum sativum</i> )	–	1,7–3,4; 6,1; 5	31,24,29
Hrách setý ( <i>Pisum sativum</i> ) – mutant 33 % amylosy	–	5,1	31
Hrách setý ( <i>Pisum sativum</i> ) – mutant 65 % amylosy	–	9,2–9,6	31
Čočka ( <i>Lens culinaris</i> )	–	8,6 <sup>c</sup>	29
Škrob izolovaný z fazolu zahradního ( <i>Phaseolus vulgaris</i> )	2,3 <sup>a</sup>	19,9 <sup>a</sup>	28
Škrob izolovaný z vigny adzuki ( <i>Vigna angularis</i> )	1,8 <sup>a</sup>	22,3 <sup>a</sup>	28
Škrob izolovaný z fazolu obecného ( <i>Phaseolus vulgaris</i> )	2,1 <sup>a</sup>	32,3 <sup>a</sup>	28
Škrob izolovaný z hrachu ( <i>Pisum sativum</i> )	31,5	–	32

<sup>a</sup> Přepočteno na 95 % suš., <sup>b</sup> přepočteno na 93 % suš.; <sup>c</sup> po uvaření a vychlazení

Jednou ze zajímavých funkcí rezistentního škrobu (s výjimkou některých zvlášť odolných rezistentních škrobů např. ze skupiny RS4) je jeho fermentace mikroorganismy v tlustém střevě na monokarboxylové kyseliny s krátkým alifatickým řetězcem (short chain fatty acids – SCFAs). Tyto kyseliny jsou známy jako hlavní nutriční epitelialních buněk tlustého střeva, přičemž např. nedostatek butyrátů zvyšuje riziko rakoviny. SCFAs mají pozitivní efekt na zlepšenou absorpci hořčíku a vápníku, pravděpodobně díky jejich vyšší rozpustnosti v kyslejší prostředí<sup>24,25</sup>. Mají rovněž příznivý vliv na rovnováhu bakteriálních druhů, tzn. především *Bifidobakterií* a *Laktobacilů*, které zamezují rozvoji patogenních bakterií<sup>26</sup>; což se projevuje zlepšením bakteriálního metabolismu solí žlučových kyselin<sup>27</sup>. Metabolismus SCFAs může přispívat ke zlepšení kontroly glykémie a zlepšení metabolismu lipidů u diabetiků, což souvisí s tím, že rezistentní škrob snižuje postprandiální glukosovou a insulinovou odezvu.

Obsah rezistentního škrobu je vysoký zejména v luštěninách a škrobech izolovaných z nich (tab. I). Po tepelném zpracování obsah rezistentního škrobu u luštěnin

s vysokým obsahem rezistentního škrobu klesá, naopak u luštěnin s nižším obsahem rezistentního škrobu dochází k vysokému nárůstu po tepelné úpravě (např. u fazolu obecného až na 32,3 % suš.), což bude souviset s retrogradací amylosy, na kterou je luštěninový škrob bohatší. Největší nárůst RS po tepelném zpracování byl zjištěn u izolovaného škrobu, což bude souviset s tím, že tento škrob byl již vyčleněn z proteinové matrice. Údaje pro izolované škroby vyžadují ověření, protože např. údaje o obsahu RS v nativním fazolovém škrobu<sup>28</sup> oproti očekávání nekorespondují s údaji o obsahu hrachového škrobu od jiného autora<sup>29</sup>, tzn. ve škrobech podobného typu.

RS je obsažen i v moukách, rýži, bramborách a cereálních výrobcích (tab. II). U cereálních produktů (např. u žitno-pšeničného chleba nebo pečiva) dochází po tepelném zpracování k nárůstu obsahu rezistentního škrobu, což opět souvisí s retrogradací amylosy (viz skladovaný chléb). Rezistence škrobu při trávení může být tedy způsobena i přípravou či skladováním potravin.

Spotřeba rezistentního škrobu se v různých zemích významně liší. Denní příjem v EU je 3 až 6 g, v USA 3 až

Tabulka II

Obsah rezistentního škrobu (RS) v moukách, škrobech, cereálních výrobcích a dalších potravinách

Zdroj rezistentního škrobu	Obsah RS [% suš.]	Lit.	
Pšeničná mouka	0,35–0,45; 2,4	33,29	
Ječná mouka	0,6	33	
Kukuřičná mouka	1,6	33	
Banánová mouka	56	29	
Pšeničný škrob	3,1	32	
Bramborový škrob	60,8	32	
Pšeničné vločky	1,0	33	
Střídky pšeničného chleba	0,6; 2,1	31, 24	
Žitno-pšeničný chléb	2,6–4,2	33	
Pšeničný tmavý	1,5	33	
Chléb s 50% přídavkem vysoceamylosové pšeničné mouky	3,0	34	
Chléb s 50% přídavkem vysoceamylosové pšeničné mouky, po 5 dnech uskladnění	16,8	34	
Bagety, rohlíky, housky	2,3–3,0 <sup>b</sup> ; 1,2–1,8	35	
Přesnídávkové cereálie	0,0–2,3	35	
Krekery	1,2–1,3 <sup>a</sup> ; 1,06	35,33	
Sušenky	0,3–1,8 <sup>a</sup> ; 0,13	35,33	
Knäckebröt	0,82	33	
Brambory	v surovém stavu po tepelné úpravě	70 2,7–3,1; 0,7	29 24,29
Rýže	v surovém stavu po tepelné úpravě	5,8–11,0 1,1–1,9	2 24
Těstoviny po tepelné úpravě	1,2–1,9; 4,7	24,29	

<sup>a</sup> Přepočteno na 97 % suš., <sup>b</sup> přepočteno na 43 % suš.

8 g (tedy mírně vyšší než v ČR), 5–7 g v Austrálii a 10–18 g v Indii a Číně<sup>36</sup>. Chléb přispívá k denní spotřebě RS 21 %, další obilné produkty jako těstoviny 19 % a zelenina (jiná než luštěniny) přispívá 19 % celkového příjmu RS<sup>37</sup>.

Obsah rezistentního škrobu se stanovuje enzymovými metodami *in vitro* – buď přímo<sup>38</sup> nebo nepřímo po odečtení obsahu RS a SDS<sup>7</sup>, další možnosti je sledování *in vivo*.

#### 4. Pomalu stravitelný škrob

SDS je tráven v tenkém střevě člověka za dobu 20 až 120 min (cit.<sup>39</sup>). Předností SDS je pomalý nárůst postprandiální hladiny glukosy v krvi, přičemž její hladinu udržuje na konstantní úrovni. Oproti tomu křivka rychle stravitelného škrobu má vysoké maximum a následný rychlý pokles. Hormonální a metabolické odezvy odpovídají postprandiální glykémii. Pozitivní důsledky SDS se projevují ve fyzické a duševní výkonnosti organismu, v pocitu sytosti a umožňují řízení diabetu.

Maximální obsah SDS 44 % byl zjištěn<sup>40</sup> ve škrobu z voskové (waxy) rýže, tzn. u škrobu s vysokým obsahem amylopektinu, takže svoji roli tedy hraje zvýšení podílu vazeb  $\alpha$ -D(1→6). Podobné hodnoty byly také pozorovány u zmazovatělého škrobu pocházejícího z voskového čiroku, který byl degradován pomocí isoamylasy<sup>41</sup>. Dalšími příklady SDS odlišného původu jsou nativní kukuřičný škrob, škrob s optimalizovanou retrogradací a škrob v optimalizované potravinové matici. U cereálních výrobků ovlivňuje tvorbu SDS stupeň zmazovatění, který závisí na obsahu vlhkosti těsta, době a teplotě tepelného procesu. Např. u sušenek s velmi nízkým obsahem vlhkosti je stupeň zmazovatění snížen, takže škrob obsahuje jak zmazovatělý škrob, tak i nedotčená škrobová zrna, což má za důsledek vyšší obsah SDS v porovnání s běžnými pečáckými výrobky<sup>35</sup>. Oproti tomu je u chleba, kde se k přípravě těsta používá značně vyšší podíl vody, poměr SDS:RDS 1:10, oproti výchozímu poměru 1:1 v mouce<sup>39</sup>.

SDS lze dělit na dva druhy podle odlišné struktury molekuly amylopektinu: amylopektin s vyšším stupněm větvení obsahujícím velmi krátké řetězce, který příliš nepodléhá retrogradaci, a amylopektin s větším podílem vnitřních dlouhých řetězců, který naopak retrogradaci podléhá a je tráven pomaleji.

Obsah pomalu stravitelného škrobu se stanovuje enzymovou metodou<sup>7</sup>.

#### 5. Využití škrobů s upravenou stravitelností v potravinářství a ve farmacii

Rezistentní škroby hrají významnou roli v prevenci různých chorob, např. cukrovky. V Číně je proto doporučována konzumace celých zrn obilovin (hnědé rýže, pšenice, ječmene, pohanky, ovesa, ad.), neboť jsou cenným zdrojem deficitních živinových látek, jako je vláknina, rezistentní škrob, vitaminy skupiny B, vitamin E, zinek, měď,

hořčík, fenolické sloučeniny atd.<sup>42</sup>. Toto platí pro jejich konzumaci v syrovém stavu, při použití moderních potravinářských procesů se rezistentní škrob většinou rozkládá<sup>43</sup>.

V současné době, aby bylo dosaženo pozitivních účinků na zdraví, vzrůstá u spotřebitelů zájem o celozrnné produkty. V nich by mohla být nahrazena (částečně nebo úplně) vláknina rezistentním škrobem odolným vůči tepelnému rozkladu. Na rozdíl od vlákniny RS nevyvolává nepříjemnou příchut', tmavnutí či zmenšení objemu pečiva. Kromě tradičního pečiva byly zkoušky prováděny např. na koláčích, kde se osvědčilo kombinovat přídavek vlákniny a rezistentního škrobu<sup>23</sup>.

Podobně byl zkoušen doplněk rezistentního banánového škrobu do těstovin, s cílem zvýšit jejich nutriční hodnotu (snížit množství využitelné energie). Teprve při překročení obsahu 15 % surovin došlo ke zmenšení průměru uvařených špaget, do této hodnoty si zachovávaly standardní parametry, přičemž se senzorická kvalita dokonce zlepšila<sup>44</sup>.

RS na bázi kukuřice dovážený do České republiky z USA nevyklučuje riziko, že by mohl pocházet z geneticky modifikované plodiny. Pro zajištění bezpečných potravin bude proto vhodné se zabývat výzkumem v této oblasti.

Ačkoliv dosud byly prováděny mnohé zkoušky s rezistentním škrobem jen na zvířatech, zvažuje se zařazení rezistentního škrobu i jako prebiotika<sup>43</sup>. Rezistentní škrob lze tak využít např. v jogurtech<sup>45</sup> jako synbiotikum (probiotická potravina doplněná prebiotiky).

RS může být podáván jako podstatná složka stravy na rozdíl od želírujících látek na bázi polysacharidů (např. guarová guma nebo psyllium).

Při určitém charakteru tepelného zpracování cereálií lze dosáhnout i zvýšení obsahu rezistentního škrobu či pomalu stravitelného škrobu. Jde např. o výrobu přesnídkových (snídaňových) cereálií, u nichž jsou udávány hodnoty glykemického indexu (40–60), tyto výrobky jsou proto nutričně mnohem výhodnější v porovnání s bílým pečivem. Další skupinou potravin jsou sušenky či oplatky, které jsou vyráběny s velmi nízkou vlhkostí těsta. Tradičním extrudovaným výrobkem s vysokým obsahem SDS a RS jsou kukuřičné lupinky, které se využívají jako tzv. přesnídkové (snídaňové) cereálie.

Extruze se v cereálním průmyslu využívá především k výrobě produktů s vysokým obsahem vlákniny<sup>46</sup>, při kterých dochází naopak ke zvýšení stravitelnosti škrobu. Tento proces nabízí mnoho výhod v porovnání s klasickým tepelným zpracováním, např. jde o možnost zajištění velkého sortimentu výrobků, o krátkou dobu technologického zpracování, využití i levnějších surovin a menší energetickou náročnost. Extruze s cílem vyrobí RS nebo SDS z nativního škrobu vyžaduje obvykle teploty < 100 °C při nepříliš vysokém tlaku. Dochází tak k vytvoření tvrdého, křehkého a amorfního materiálu.

Ve farmaceutickém průmyslu se často využívá inkorporace částicového plniva do polymerní matrice léku, čímž se dosahuje zlepšení jeho užitelských vlastností. Biopolymerní matrice na bázi škrobu jsou dostupné, levné, obnovitelné, a také biologicky rozložitelné<sup>47</sup>, ale jsou poměrně

citlivé na vlhkost a společně s některými materiály se rozpouští velmi rychle.

Podle parametrů extruze se liší výsledný disoluční profil léčivé látky z lékové formy. Pokud je extruze aplikována na nativní škroby při vyšších teplotách, škrob přechází do disperze, což může být v některých aplikacích zajímavé. Biologická dostupnost obtížně rozpustných léků tak např. může být zvýšena inkorporací porézního škrobu<sup>48</sup>. Lze připravit extrudáty s již integrovaným léčivem<sup>49,50</sup>.

Rezistentní škrob lze použít i jako filmotvornou látku či jako plnivo do pevných lékových forem, a tím usměrnit rozpad tablety a absorpci léčivé látky až v tlustém střevě. Pomalu stravitelný škrob se hydrolyzuje už v tenkém střevě, což umožňuje postupné uvolňování léčivé látky. Horškovou extruzí lze připravit kulovité granule s řízenou dobou uvolňování<sup>51</sup>. Takovéto pelety připravené z „waxy“ kukuřičného škrobu byly během disolučního experimentu narušovány, zatímco mechanismus uvolňování léčiv z kukuřičného, hrachového a bramborového škrobu na bázi extruze byl primárně založen na botnání.

Návrh materiálů na bázi škrobu pro léčiva je vzhledem k vysoké hydrofililitě škrobu limitován. Vhodnou substitucí hydroxylových skupin lze připravit hydrofobní materiál, např. škrob s vysokým stupněm acetylace, který snižuje rychlost biodegradace<sup>52</sup>.

Disoluční testy léčivé látky z lékové formy se provádějí pomocí trávicích enzymů podle očekávaného místa absorpce lékové formy. Disoluční profil je stanoven jako množství uvolněné látky v závislosti na čase. Tento postup lze využít pro pevné lékové formy i pro extrudáty v tobolkách.

*Přehledný článek byl zpracován v rámci řešení projektu výzkumu a vývoje MZe QJ1310219.*

## LITERATURA

- Pérez S., Bertoft E.: *Starch/Stärke* 62, 389 (2010).
- Benmoussa M., Moldenhauer K. A. K., Hamaker B. R.: *J. Agric. Food Chem.* 55, 1475 (2007).
- Ratnayake W. S., Hoover R., Shahidi F., Perera C., Jane J.: *Food Chem.* 74, 189 (2001).
- Šárka E., Bubník Z.: *Chem. Listy* 104, 318 (2010).
- Babić J., Šubarić D., Miličević B., Ačkar D., Kopjar M., Tiban N. N.: *Czech J. Food Sci.* 27, 151 (2009).
- Šárka E., Koláček J., Sikora A., Hrušková K., Prokopová D., Hrabal R., Maixner J., Bubník Z.: *Proc. 6<sup>th</sup> Int. Conference on Polysaccharides-Glycoscience, Praha, 29.9.-1.10.2010* (Řápková R., Čopíková J., Šárka E., ed.), str. 200.
- Englyst H. N., Kingman S. M., Cummings J. H.: *Eur. J. Clin. Nutr.* 46 (Suppl. 2), S33 (1992).
- Ludwig D. S.: *J. Nutr.* 130, 280 (2000).
- Zhang P., Hamaker B. R.: *Carbohydr. Polym.* 87, 1552 (2012).
- Šárka E., Bubník Z.: *Starch/Stärke* 61, 457 (2009).
- Šárka E.: *Listy cukrov. a řep.* 128, 307 (2012).
- Sarko A., Wu H.-C. H.: *Starch/Stärke* 30, 73 (1978).
- Jane J.-L., Wong K.-S., McPherson A. E.: *Carbohydr. Res.* 300, 219 (1997).
- Hoover R., Zhou Y.: *Carbohydr. Polym.* 54, 401 (2003).
- Chiu C.-W., Shi Y.-C., Sedam M.: US 5 902 410 (1999).
- Shi Y.-C., Trzasko P.T.: EP Appl. 747 397 (1996).
- Binder T. P., McClain J. A.: US 7 744 944 (2010).
- Berry C. S.: *J. Cereal Sci.* 4, 301 (1986).
- Leloup V. M., Colonna P., Ring S. G., Roberts K., Wells B.: *Carbohydr. Polym.* 18, 189 (1992).
- Vasanthan T., Bhatta R. S.: *Starch/Stärke* 50, 286 (1998).
- Seib P. A., Woo K.: US 5 855 946 (1999).
- Lim J. U., Mun S. H., Shin M. S., Song J. Y.: KR 065 072 (2004).
- Kotek J., Kruliš Z., Růžek L., Šárka E.: CZ 303 840 (2011).
- Lopez H. W., Coudray C., Bellanger J., Levrat-Verny M.-A., Demigne C., Rayssiguier Y., Remesy C.: *Nutr. Res.* 20, 141 (2000).
- Yonekura L., Suzuki H.: *Eur. J. Nutrition* 44, 384 (2005).
- Kleessen B., Stoof G., Proll J., Schmiedl D., Noack J., Blaut M.: *J. Animal Sci.* 75, 2453 (1997).
- Haralampu S. G.: *Carbohydr. Polym.* 41, 285 (2000).
- Tovar J., Melito C.: *J. Agric. Food Chem.* 44, 2642 (1996).
- Meuser F., Manners D. J., Seibel W. (ed.): *Plant Polymeric Carbohydrates*. Royal Society of Chemistry, Cambridge 1993.
- Bravo L., Siddhuraju P., Saura-Calixto F.: *J. Agric. Food Chem.* 46, 4667 (1998).
- Skrabanja V., Liljeberg H. G. M., Hedley C. L., Kreft I., Björck I. M. E.: *J. Agric. Food Chem.* 47, 2033 (1999).
- Wronkowska M., Soral-Šmietana M.: *Czech J. Food Sci.* 30, 9 (2012).
- Šípková A., Leitnerová D., Dostálová J., Bouzová M.: *Proc. 7<sup>th</sup> Int. Conference on Polysaccharides-Glycoscience, Praha, 2.11. – 4.11.2011* (Řápková R., Čopíková J., Šárka E., ed.), str. 67.
- van Hung P., Yamamori M., Morita N.: *Cereal Chem.* 82, 690 (2005).
- Englyst K. N., Vinoy S., Englyst H. N., Lang V.: *Br. J. Nutr.* 89, 329 (2003).
- Nugent A. P.: *Nutr. Bull.* 30, 27 (2005).
- Murphy M. M., Douglass S. J., Birkett A.: *J. Am. Diet. Assoc.* 108, 67 (2008).
- Anon.: *Resistant starch assay kit*. Firemní literatura, Megazyme, Irsko (2011).
- Englyst H. N., Hudson G. J.: *Food Chem.* 57, 15 (1996).
- Backer D., Saniez M. H.: US 6861519 (2005).
- Shin S. I., Choi H. J., Chung K. M., Hamaker B., Park K. H., Moon T. W.: *Cereal Chem.* 81, 404 (2004).
- Zeng Y., Pu X., Du J., Yang S., Yang T., Jia P.: *Afr. J. Pharm. Pharmacol.* 6, 2570 (2012).

43. Figueroa-González I., Quijano G., Ramírez G., Cruz-Guerrero A.: *J. Sci. Food Agric.* 91, 1341 (2011).
44. Hernandez-Nava R. G., Berrios J. De J., Pan J., Osorio-Diaz P., Bello-Perez L.A.: *Food Sci. Technol. Int.* 15, 73 (2009).
45. Crittenden R. G., Morris L. F., Harvey M. L., Tran L. R., Mirchell H. L., Playne M. J.: *J. Appl. Microbiol.* 90, 268 (2001).
46. Chang Y. K., Wang S. S. (ed.): *Advances in Extrusion Technology*. Technomic Publishing Company, Lancaster 1999.
47. Sahoo P. K., Rana P. K.: *J. Mater. Sci.* 41, 6470 (2006).
48. Deveswaran R., Sravya M., Bharath S., Basavaraj V., Madhavan V.: *Adv. Appl. Sci. Res.* 3, 162 (2012).
49. Kalivoda A., Fischbach M., Kleinebudde P.: *Int. J. Pharm.* 429, 58 (2012).
50. Nagy Z. K., Sauceau M., Rodier E., Vajna B., Marosi G., Fages J.: *Polym. Adv. Technol.* 23, 909 (2012).
51. Bialleck S., Rein H.: *Starch/Stärke* 64, 408 (2012).
52. Šárka E., Kruliš Z., Kotek J., Růžek L., Korbářová A., Bubník Z., Růžková M.: *Czech J. Food Sci.* 29, 232 (2011).

**E. Šárka<sup>a</sup>, P. Smrčková<sup>a</sup>, and L. Seilerová<sup>b</sup>**  
(<sup>a</sup>*Department of Carbohydrates and Cereals,*  
<sup>b</sup>*Department of Solid State Chemistry, Institute of Chemical Technology, Prague*): **Resistant and Slowly Digestible Starch**

Digestibility of starch has been attributed to many factors, such as starch source, granule size, amylose/amylopectin ratio, crystallinity. Resistant starch (RS) escapes enzymatic digestion in the small intestine and passes into colon. The review is focused on the RS content in foods, nutritional benefits and on methods of increasing the RS/total starch ratio. Slowly digestible starch is absorbed in the small intestine within 20–120 min. RS can be used in treatment of diabetes or in controlled-release drugs.