

# Posúdenie potenciálu repkového proteínu produkovaného z repkových šrotov ako doplnku do cereálnych výrobkov a produktov s vyšším obsahom proteínov

**Valentína Kafková<sup>1</sup>, Vladimír Krasňan<sup>2</sup>, Anna Procházková<sup>3</sup>, Ján Janošovský<sup>2</sup>, Zlatica Kohajdová<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Slovenská technická univerzita v Bratislave, Fakulta chemickej a potravinárskej technológie, Ústav potravinárstva a výživy, Oddelenie potravinárskej technológie, Radlinského 9, 8123 37 Bratislava; [valentina.kafkova@stuba.sk](mailto:valentina.kafkova@stuba.sk)

<sup>2</sup>Centrum výskumu a vývoja, s.r.o., Trnavská cesta 1033/7, 920 41 Leopoldov, Slovensko

<sup>3</sup>ENVIRAL, a.s., Trnavská cesta 1033/7, 920 41 Leopoldov, Slovensko

## Abstrakt

Repkový šrot, vedľajší produkt vznikajúci pri výrobe repkového oleja, obsahuje približne 35 % proteínov, čo ho robí atraktívnym a ekonomicky výhodným zdrojom pre izoláciu proteínov. Repkový proteín, získaný z repkových šrotov, predstavuje významný zdroj proteínov s vysokou výživovou hodnotou a potenciálom pre široké uplatnenie v potravinárskom priemysle. Navyše, využitie repkového proteínu v potravinárskych produktoch podporuje udržateľnosť a ekonomickú efektívnosť, keďže umožňuje zhodnotenie vedľajšieho produktu priemyselnej výroby. Práca sa zameriava na hodnotenie potenciálu repkového proteínu ako doplnku do potravinárskych výrobkov, najmä cereálnych výrobkov a produktov s vyšším obsahom proteínov.

**Kľúčové slová:** repkový šrot, repkový proteín, potravinárske produkty, cereálne výrobky, produkty s vyšším obsahom proteínov

## Úvod

Repka je v Európe dominantnou olejninou produkovanou na výrobu repkového oleja používaného najmä pre potravinársky, krmovinársky a biopalivový priemysel. Ako vedľajší produkt výroby repkového oleja vznikajú repkové výlisky alebo repkové šroty v závislosti od spôsobu spracovania repky; aktuálne využívané ako zložka krmiva bohatá na proteíny a vláknu. Di Lena a kol. (2021) uvádzajú, že repkové šroty (RŠ) obsahujú 31-34 % proteínov, 32-40 % vláknu, 6-13 % sacharidov, 5-7 % minerálnych látok a 1,4-3,3 % lipidov [1]. Vďaka vysokému obsahu proteínov v RŠ, by sa tieto mohli použiť pre výrobu produktov s vyššou pridanou hodnotou, čím by sa plne využil ich nutričný a funkčný potenciál [1,2].

V semenách repky sú zastúpené najmä dva hlavné zásobné proteíny, a to kruciferín (12S globulín s veľkosťou 300-310 kDa, pI 7,2) a napín (2S albumín s veľkosťou 12,5-14,5 kDa, pI 9 – 12); pričom však pI izolátu repkových proteínov sa nachádza v širokom rozmedzí 3 – 9 [3,4]. Medzi ďalšie významné proteíny nachádzajúce sa v repkovom semene patria lipofilné proteíny, oleozíny (18 – 25 kDa). Získavanie proteínov z repkových semien, RŠ alebo repkových výliskov sa uskutočňuje ich izoláciou (proteínové izoláty sú definované obsahom proteínov  $\geq 80$  %, niektoré literárne zdroje uvádzajú nutný obsah až  $\geq 90$  %) alebo koncentráciou (proteínové koncentráty sú definované obsahom proteínov  $\geq 65$  %) z daných surovín. V závislosti od použitej metódy sa získavajú kruciferíny a napíny v rôznych pomeroch a čistote [5,6]. Jednotlivé izolačné kroky vplyvujú na finálne nutričné a funkčné vlastnosti proteínových izolátov a koncentrátov (napr. koncentrácia proteínov v produkte, stupeň denaturácie a pod.), preto je celkový proces výroby veľmi dôležitý [7].

Na trhu s alternatívnymi proteínmi existuje niekoľko producentov repkových proteínov, akými sú napr. DSM, Burcon, BioExx [4], pričom každý z ich produktov je možné využiť v rôznych potravinách. Cieľom tejto práce je zhodnotiť možné stratégie pre dosiahnutie výroby funkčného výživového doplnku ako aj možnosti aplikácie tohto doplnku do potravín s cieľom zvýšenia ich nutričnej hodnoty.

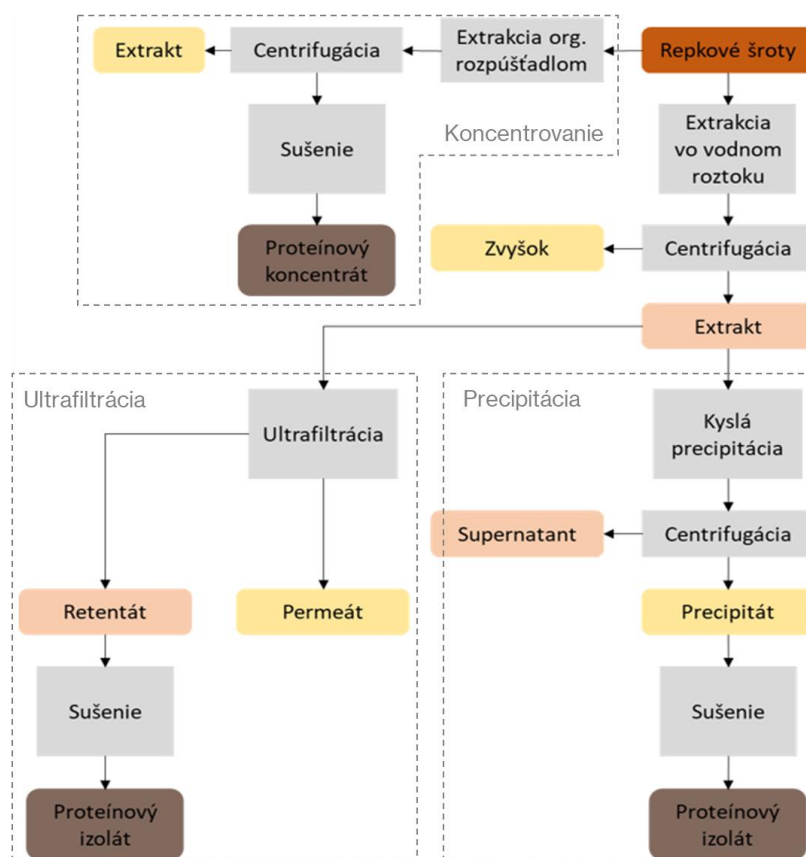
## Možnosti produkcie repkového proteínu z repkových šrotov

Najbežnejší postup na prípravu proteínových izolátov zahŕňa alkalickú extrakciu proteínov s NaOH a následnú izoelektrickú precipitáciu s purifikačnými metódami, ako je zrážanie alebo ultrafiltrácia. V závislosti od typu použitej suroviny, hodnoty pH, koncentrácie solí a teploty sa získajú proteínové

extrakty rôzneho zloženia. Repkové proteínové izoláty (RPI) sa vyznačujú relatívne vyváženým zložením aminokyselín a výhodnými funkčnými vlastnosťami, vďaka ktorým sú považované za alternatívy k rastlinným proteínovým zložkám, ktoré sa v súčasnosti využívajú v potravinárskom priemysle [7,8].

Dôležitou charakteristikou pre aplikáciu proteínových produktov je aj čistota a zloženie produktu. Nižšia čistota proteínových produktov môže byť spôsobená prítomnosťou vlákniny a antinutričných látok, najmä polyfenolov. Antinutričné látky môžu vo finálnom produkte negatívne ovplyvniť nutričnú kvalitu produktu a jeho funkčné vlastnosti. Úprava vodným roztokom etanolu je jedným z najpoužívanejších spôsobov predúpravy repkových šrotov využívaných pre zníženie obsahu fenolov a glukozinolátov vo výslednom produkte, a to aj v potravinárskom priemysle [9]. Zvyšovanie obsahu proteínov, resp. čistoty produktu nie je žiadúce len kvôli nutričnej hodnote produktu, ale aj jeho cene. Zvýšením obsahu proteínov v produktoch na úroveň proteínových koncentrátov sa zvyšuje cena 3-5-násobne v porovnaní s repkovými šrotmi a v prípade proteínových izolátov viac ako 10-násobne [10].

Väčšina globálnych spoločností, ktoré produkujú repkové proteínové izoláty majú výrobu týchto produktov využiteľných v potravinách založenú najmä na produkcii z repkových výliskov vznikajúcich po lisovaní repky za studena [4]. Na Slovensku sa spoločnosť ENVIRAL, a.s. zaoberá pilotnou výrobou proteínového izolátu z RŠ prostredníctvom chemickej separácie – alkalického extrakcie a kyslej precipitácie repkových šrotov [2]. Na Obr. 1 sú znázornené a v ďalších podkapitolách bližšie špecifikované možnosti produkcie repkových proteínových koncentrátov a izolátov.



**Obrázok 1: Možnosti produkcie repkových proteínových koncentrátov a izolátov [7].**

### **Produkcia proteínových koncentrátov**

Pomocou koncentrácie proteínov možno dosiahnuť obsahy proteínov 55-60 %. Koncentrácia proteínov za účelom zvýšenia obsahu proteínov v produkte sa zvyčajne vykonáva aplikáciou techník, ktoré v prvom stupni zahŕňajú extrakciu neproteínového materiálu, najmä sacharidov, a v ďalšom kroku pomocou vodných zmesí organických rozpúšťadiel [7, 11]. Techniky extrakcie neproteínového materiálu zahŕňajú použitie vodných roztokov alkoholov (60-80 %) a kyslej vody s pH 4,5 (na minimalizáciu straty rozpustnej proteínovej frakcie). Takto získané proteínové koncentráty si zachovávajú väčšinu obsahu vlákniny [12]. Repkové proteínové koncentráty pripravené extrakciou rozpúšťadlom však vykazujú

obmedzené techno-funkčné vlastnosti spôsobené denaturáciou, ako je znížená rozpustnosť a stabilita emulzie, preto sú procesy využívajúce organické rozpúšťadlá málo využívané na výrobu koncentrátov repkového proteínu [7].

Jednoduchým procesom najmä na výrobu krmovín s vyšším obsahom proteínov je tiež koncentrovanie, ktoré okrem extrakčných procesov používa rôzne typy zariadení na báze odstredivej sily – dekantéry, sedikantéry, odstredivky, podľa typu vstupujúceho média a žiadúcej efektivity separácie. Týmto spôsobom je možné dosiahnuť obsah proteínov viac ako 50 %, pričom na trhu existuje niekoľko spoločností s vyvinutými procesmi pre koncentrovanie proteínov vo výslednom produkte – krmive (ICM [13], FluidQuip Technologies [14], Harvesting Technology [15] a i.).

Okrem toho boli opísané techniky suchej frakcionácie pre koncentráciu repkových proteínov ako ekonomicky priaznivý proces bez rozpúšťadiel. Jednou z metód na zvýšenie obsahu proteínov v šrote a odstránenie horkých zložiek obalu semien je patentovo-chránený proces lúpania repkového semena. Ďalšou možnosťou je ultrajemné mletie repkového šrotu s následnou frakcionáciou pomocou vzduchového triedenia alebo elektrostatickej separácie, kde sa dosiahli koncentrácie proteínov v produkte na úrovni 53,8 % a 44,7 % s veľmi nízkymi výťažkami pri elektrostatickej separácii (9,2 %) v porovnaní so 40,7 % pri použití vzduchového triedenia. Suchá frakcionácia sa preukázala ako potenciálna metóda na výrobu koncentrátov repkových proteínov, avšak pre dosiahnutie komerčnej produkcie je potrebná ešte vysoká miera vylepšení a optimalizácie, pokiaľ ide o získaný obsah proteínu a regeneráciu [7].

Extrakcia a produkcia proteínových koncentrátov môže byť vedená aj pri kyslom pH. Extrakcia proteínu bohatého na kruciferín z repkového šrotu bola dosiahnutá pri pH 2, použitím patentovaného postupu separácie troch frakcií – repkových šupiek, nerozpustnej proteínovej frakcie a rozpustnej proteínovej frakcie prostredníctvom procesu dekantácie a membránovej filtrácie. Repkový šrot obsahoval 27 % proteínov a 22 µg/kg glukozinolátov, pričom po extrakcii sa obsah proteínov zvýšil v nerozpustných frakciách (42 %) aj rozpustných frakciách (58 %), a koncentrácia glukozinolátov sa znížila na 1 µg/kg a 3 µg/kg [16, 17].

### **Produkcia proteínových izolátov**

Výroba proteínových izolátov je žiadúca najmä v potravinárskom priemysle. Repkový proteín je možné produkovať inovatívnymi filtračnými metódami, najviac používanými precipitačnými metódami alebo kombináciou týchto procesov. Produkcia proteínových izolátov zahŕňa niekoľko fyzikálno-chemických procesov. Ich výber a zaradenie do produkcie ovplyvňuje nutričnú hodnotu a funkčné vlastnosti finálneho produktu a to v prípade potravinárskych aj nepotravinárskych aplikácií.

Dôležitým krokom pri príprave proteínových izolátov a zároveň pre zabezpečenie vyššej efektivity procesu je solubilizácia proteínov pri pH vzdialenom od ich izoelektrického bodu pl. Nasledujúcim krokom je koncentrácia prostredníctvom ultrafiltračných a diafiltračných membrán alebo zrážaním v prostredí, kde pH je blízke izoelektrickému bodu solubilizovaných proteínov. Pre solubilizáciu repkového proteínu je typické použitie zásaditého roztoku s pH 9,5 – 12 a s pomerom RŠ:roztok 1-15%, najčastejšie 5-10 %. Na výťažok procesu vplyva najmä kombinácia pH a teplota. So znižujúcim sa pH sa znižuje výťažok proteínov v procese. Bolo zistené, že aplikácia nižšej teploty prispieva k zvýšeniu výťažku proteínov a podporuje solubilizáciu pri nižšom pH, avšak iba do 55-60 °C; použitie vyššej teploty má za následok denaturáciu proteínov a výťažok znovu klesá. Z tohto dôvodu prevláda prednostné použitie izbovej teploty alebo mierne vyššej teploty. Pokiaľ ide o čas extrakcie, pohybuje sa medzi 10 a 60 minútami. Výťažok tiež ovplyvňuje prídanie NaCl do kroku solubilizácie. Dôvodom je, že repkové proteíny sú vo väčšine vo forme globulínov, kruciferínov, ktoré sú rozpustné v prítomnosti solí [12,18,19].

Niekoľko štúdií sa zaoberá aj spracovaním repkových šrotov enzymatickými technikami. Sari a kol. (2015) poukázali na to, že konvenčná alkalická extrakcia proteínov môže dosiahnuť lepšie výsledky s použitím proteáz, a to vďaka zníženiu veľkosti proteínov v dôsledku proteolýzy, čo zjednodušuje extrakciu. Najvyšší dosiahnutý výťažok proteínov s využitím proteáz pri silne zásaditých podmienkach (pH 11-12) bol 59,5 % [20].

Nasledujúcim krokom po solubilizácii proteínov môže byť precipitácia proteínov alebo ich koncentrovanie pomocou membránových procesov (Obr. 1). Precipitáciu proteínov možno dosiahnuť znížením teploty, úpravou pH na pl, prídanim nepolárnych rozpúšťadiel, zmenou iónovej sily (znížením koncentrácie soli) alebo tepelnou denaturáciou. Všetky tieto techniky majú za cieľ znížiť rozpustnosť proteínov. Následne je potrebná aplikácia separácie tuhej zložky od kvapaliny, a to odstredovaním alebo

filtráciou. Precipitáciu proteínov je možné dosiahnuť použitím kyslých roztokov s pH upraveným roztokmi HCl, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> až na hodnotu nižšiu ako je pH v izoelektrickom bode proteínov v roztoku, pričom táto sa uvádza v rozmedzí 3,5 a 7,5. Terciárna štruktúra proteínov, ktorá poskytuje funkčné vlastnosti, je často narušená počas extrakcie a separácie, čo znižuje ich potenciálne aplikácie v potravinárskom priemysle. Okrem toho, môžu vykazovať zníženú biologickú dostupnosť, čo negatívne ovplyvňuje ich hodnotu v sektore krmív pre zvieratá alebo funkčných potravín [12].

Membránové technológie boli úspešne použité pri získavaní solubilizovaných proteínov z niekoľkých rastlinných zdrojov, vrátane repkového šrotu. Standardne sa aplikuje ultrafiltrácia alebo priamo diafiltrácia, čo umožňuje získať proteínové koncentráty alebo izoláty s malými koncentraciami rozpustných pevných látok. Táto vlastnosť je dôležitá, pretože môže viesť k významnému zníženiu zlúčenín (ako sú glukozinoláty, fytáty a polyfenoly) zodpovedných za ekonomické a nutričné znehodnotenie produktu [12]. Výhodou filtračných metód je aj to, že neovplyvňujú na denaturáciu proteínov, avšak sú náročné na prevádzku a údržbu, z dôvodu možného upchávania a kontaminácie.

Nevýhodou postupov zahrňujúcich precipitáciu je, že minoritná proteínová časť repkových šrotov – napíny, sú obsiahnuté vo vedľajších produktoch, čo znižuje efektívnosť separácie proteínov z repkových šrotov. Napíny sú síce vo vode rozpustné, avšak ich izoelektrický bod je blízky podmienkam alkalického extrakcie (pH 9-12) [12]. Macias Aragonés a kol. (2023) hodnotili 3 možnosti produkcie repkových proteínov z repkových šrotov z pohľadu niekoľkých aspektov pomocou MCDA (viackriteriálna rozhodovacia analýza), pričom ako najlepší proces z ekonomického a technického aspektu bol vyhodnotený proces alkalického extrakcie a kyslej precipitácie.

Niektoré laboratórne postupy produkcie repkového izolátu zahŕňajú ešte pred alkalickou extrakciou zníženie obsahu antinutrientov (najmä polyfenolov) organickým rozpúšťadlom, najčastejšie etanolom. Tento proces sa však nepreniesol do priemyselnej praxe, pravdepodobne kvôli nedostatočným benefitom spojeným s aplikáciou tohto postupu. Použitie organických rozpúšťadiel môže tiež zhoršiť následnú izoláciu proteínu znížením rozpustnosti proteínu v dôsledku denaturácie alebo zvyškového rozpúšťadla a navyše si vyžaduje špeciálne bezpečnostné opatrenia [22]. Zároveň sa však po premytí etanolom, extrakcií v alkalickom roztoku a ultrafiltrácii (veľkosť pórov <10 kDa) získal proteínový izolát s vysokou čistotou (92 % obsahu proteínov) [23].

Vo všeobecnosti sa ako najlepší postup pre produkciu repkového proteínového izolátu uvádza mletie repkového šrotu, premytie šrotov 60 % etanolom, centrifugácia, následná alkalická extrakcia proteínov v slanom roztoku, oddelenie nerozpustného zvyšku a ultrafiltrácia supernatantu cez membránu na odstránenie zlúčenín s nízkou molekulovou hmotnosťou [23]. Posledným krokom je sprejové sušenie proteínového izolátu. Pilotná produkcia repkového proteínu v spoločnosti ENVIRAL sa skladá z procesu predúpravy suroviny mletím, pre zmenšenie častíc RŠ a zvýšenie efektivity následnej alkalického extrakcie proteínov, ktoré sa oddeľujú na dekantéri. Kvapalný proteínový extrakt postupuje do precipitácie, ďalej do centrifugácie, ktorou sa oddelí nerozpustný proteín od rozpustných proteínov a polyfenolov. Soli sa následne odstránia v ultrafiltračnom zariadení v podobe permeátu, pričom retentát (repkový proteín) sa suší pre dosiahnutie 4-5 % vlhkosti výsledného produktu. Týmto procesom sa dá dosiahnuť produkcia izolátu s koncentraciou proteínov > 85 % [2]. Je potrebné povedať, že každý jeden proces, hodnoty pH, koncentrácie solí, teploty, môžu ovplyvniť zloženie a funkčné vlastnosti výsledného repkového proteínu, preto optimalizácia procesu je kľúčovým parametrom produkcie.

## Repkový proteín a jeho vlastnosti

Repkový proteínový izolát (RPI) obsahuje proteíny s dobre vyváženým zložením aminokyselín, čo sa premieta do vysokej biologickej hodnoty [1]. Aminokyselinové zloženie repkových proteínov je podobné tomu, ktoré sa vyskytuje v iných rastlinách. Repkové proteíny sú bohaté na kyselinu glutámovú, asparágovú, leucín a prolinázu, a obsahujú značné množstvo všetkých esenciálnych aminokyselín, fenylalanínu, izoleucínu, leucínu a tryptofánu [12]. Dva hlavné proteíny, kruciferíny a napíny, tvoria spolu 80-90 % celkového obsahu proteínov v repke a majú odlišné fyzikálno-chemické a funkčné vlastnosti [1], napr. kruciferíny majú dobré emulgačné vlastnosti, zatiaľ čo napíny majú dobré penotvorné vlastnosti, pričom sa uvádza, že prevyšujú aj penotvorné vlastnosti vaječného albumínu [24]. Podľa použitého procesu separácie RPI sa mení aj zastúpenie kruciferínov a napínov vo finálnom produkte, a tým aj funkčné vlastnosti izolátu a možnosti využitia produktu.

Napriek veľkému nutričnému potenciálu je použitie repkového šrotu v potravinárskom a krmovinárskom sektore obmedzené prítomnosťou antinutričných látok, najmä polyfenolov [1]. Di Lena

a kol. (2021) uvádza, že repkový šrot obsahuje približne 400 mg polyfenolov na 1 kg repkového šrotu (rozsah hodnôt zistených v rôznych šaržiach 395 – 437 mg/kg), pričom najrozšírenejšou fenolovou zlúčeninou repkového šrotu bola kyselina sinapová, ktorá predstavovala viac ako 85 % všetkých kvantifikovaných fenolových zlúčenín. Vysoká prítomnosť fenolických látok v repkových šrotoch (asi 5-krát vyššia ako u sójovej múčky) obmedzuje stráviteľnosť proteínov a biologickú dostupnosť pri použití v krmivách pre zvieratá. Množstvo polyfenolov je možné znížiť predúpravou suroviny na produkciu RPI [1]. Štúdia [16] preukázala, že extrakcia 60 % etanolom alebo izopropanolom ako predúprava repkových šrotov nielenže zvýšila koncentráciu proteínov z 53 na 63 g/100 g sušiny, ale tiež odstránila až 97 % polyfenolov a 99 % glukozinolátov [16].

Hlavnou limitáciou využitia repkového proteínu pre komerčné aplikácie v potravinárskom ale aj krmovinárskom sektore je limitovaná rozpustnosť proteínov v dôsledku denaturácie proteínov pri spracovaní repky na olej [16]. Takisto, proces izoelektrickej precipitácie v kyslom prostredí, kde proteíny vykazujú najnižšiu rozpustnosť, obmedzuje funkčnosť proteínových izolátov a ich následnú aplikáciu do potravín [25]. Rozpustnosť proteínov je rozhodujúcou funkčnou vlastnosťou s pridanou hodnotou pre potravinársky, poľnohospodársky a farmaceutický priemysel [25,26]. Rozpustnosť proteínov môže byť ovplyvnená spôsobom spracovania a produkcie proteínových produktov [24], koncentráciou proteínov v produkte (zvýšenou agregáciou proteínov pri vysokej koncentrácii [27]), a tiež prítomnosťou antinutričných látok [26].

### **Rozpustnosť repkového proteínového izolátu**

Spôsob spracovania a produkcie proteínových produktov má silný vplyv na charakteristiky rozpustnosti konečného produktu. Pri tradične využívanej kombinácii alkalického extrakcie a kyslej precipitácie vykazovali repkové proteíny zníženú rozpustnosť okolo pH, ktoré sa použilo na získanie proteínu, teda pH 3-5 v závislosti od procesu. Hydrolýza takýchto proteínových produktov s Alcalase 2,4 L (*Bacillus licheniformis* proteáza s endopeptidázovou aktivitou od Novozymes) zlepšila rozpustnosť proteínov v širokom rozsahu pH (70 % pri pH 2, 90 % pri pH 5, 100 % pri pH 6). Superteín (tvorený najmä albumínovou zložkou repkových proteínov – napínom) je rozpustný v širokom rozsahu pH. Napín z repky vykazuje hodnoty rozpustnosti až 90 % v rozsahu pH 2-10, čo je jedinečná charakteristika rastlinného proteínu [24]. Wanasundara a kol. (2012) preukázali, že v silne kyslých podmienkach sú napíny rozpustné na rozdiel od kruciferínov, zatiaľ čo v silne alkalických roztokoch zostávajú oba proteíny v roztoku. Čo sa týka kruciferínov, rozpustnosť bola najvyššia pri pH 3,0 – približne 91 %. Pri pH 5,0 a 7,0 vykazovali kruciferíny najnižšiu rozpustnosť (10,7 % a 15,7 %). Tiež sa zistilo, že prídavkom NaCl sa výrazne zvýšila rozpustnosť kruciferínov pri danom pH. Pri pH 5 a 7 bola rozpustnosť zvýšená pri prídavku 50 mM NaCl na 77,4 % a 86,6 % a pri 100 mM na 88,2 % a 90,4 %. Účinok prídania soli na rozpustnosť možno vysvetliť zvýšenými interakciami medzi proteínom a vodou sprostredkovanými kationmi sodíka. Taktiež sa zdôrazňuje, že pri pridaní NaCl nad 100 mM sa pozoruje zasolenie, keď sa pH udržiava pod izoelektrickým bodom proteínu, zatiaľ čo pri hodnotách pH nad izoelektrickým bodom môže spôsobiť vysolenie proteínu. V práci sa poukázalo tiež na to, že koncentrácia proteínov má vplyv na rozpustnosť – nižšiu rozpustnosť možno pravdepodobne pripísať vyššej koncentrácii proteínu. Tento jav možno vysvetliť zvýšenou agregáciou proteínov pri vysokej koncentrácii [27, 28].

### **Emulgačné vlastnosti repkových proteínov**

Rôzne štúdie uvádzajú využitie repkových proteínov pri stabilizácii a charakterizácii emulzie olej-vode (O/V), napr. 20 % hm. O/V emulzie stabilizované pomocou RPI a zistili, že emulzie boli najstabilnejšie pri pH 9 v porovnaní s pH 4 a 7 [29]. RPI pripravené alkalickou extrakciou a kyslou precipitáciou majú vo všeobecnosti obmedzenú emulgačnú schopnosť a sú porovnateľné s izolátmi sójového proteínu. Štúdie ukázali, že globulínové frakcie izolátu repkového proteínu (kruciferín) vykazujú lepšie emulgačné vlastnosti ako frakcia repkového albumínu (napín) alebo sójový proteín. Napínový izolát tiež ukázal slabú emulgačnú kapacitu a stabilitu emulzie v porovnaní s komerčným srvátkovým proteínovým izolátom (Davisco, USA) alebo sójovým proteínovým koncentrátom (ADM, Co., USA). Hydrofilná povaha a nižšia flexibilita v dôsledku vnútorných S-S väzieb môže prispievať k neúčinnosti napínu ako aktívnej molekuly na rozhraní olej-voda. Emulgačné vlastnosti repkového izolátu bohatého na kruciferín sa môžu zlepšiť, keď sú v médiu prítomné hydrokoloidy, ako je guarová guma a k-karagénan pri vysokých hodnotách pH [24].

Tan a kol. (2014) sledovali parametre ovplyvňujúce stabilitu emulzií repkových proteínov pri rôznych pH. Emulgačná kapacita (EC) RPI bola najnižšia pri pH 4, 7 aj 9, avšak pri pH 9 sa priblížila EC albumínovej frakcii. Tento výsledok demonštruje nevhodnosť RPI ako emulgátora v porovnaní s frakciami repkových proteínov alebo v porovnaní so sójovým proteínovým izolátom. RPI bol obmedzene rozpustný a mohol byť pozorovaný v emulziách, ako aj v oddelených vodných a olejových vrstvách, najmä pri pH 4. Zaujímavým zistením je, že relatívne konštantná a výrazne vyššia EC pri pH 4, 7 aj 9 globulínovej frakcie repkového proteínu naznačuje, že frakcia môže byť užitočným emulgátorom so širšou aplikáciou v potravinách [30]. Priemerná veľkosť kvapiek v emulziách s repkovým proteínovým izolátom bola najväčšia v porovnaní so všetkými ostatnými emulziami bez ohľadu na pH, a to aj napriek tomu, že sa pri zvyšovaní pH znižovala priemerná veľkosť kvapiek emulzie s RPI. To opäť demonštruje nízke emulgačné vlastnosti RPI a možnú koalescenciu hneď po vytvorení emulzií. Pri pH 4, izoelektrickom bode RPI, je pravdepodobná príťažlivosť medzi opačnými nábojmi, čo vedie k vnútorným soľným mostíkom, čo spôsobuje kompaktnejšiu konformáciu proteínu, čo vo všeobecnosti znižuje rozpustnosť a tak vytvára veľké kvapôčky emulzie [30]. Zaujímavosťou vo výsledku bolo, že emulzia s RPI pri pH 9 bola ako jediná vzorka, ktorá po 24 hodinách nevykazovala žiadne známky fyzikálnej separácie. To by mohlo byť pravdepodobne spôsobené vysokou viskozitou emulzie vytvorenej pri pH 9, čím sa bráni mechanickej separácii fáz. To naznačuje, že hoci RPI mal nízku emulgačnú schopnosť (nízke EC), bol schopný vytvárať emulzie, ktoré odolávali separácii fáz. Všetky emulzie s albumínovou alebo globulínovou frakciou sa po 24 hodinách úplne rozdelili [30].

### Využitie repkového proteínu ako doplnku do potravinárskych produktov

Na trhu je niekoľko producentov repkového proteínu, akými sú napr. DSM, Burcon, BioExx [4], ktorý pridávajú repkové proteíny do rôznych potravinárskych produktov. RPI bol vyhlásený za bezpečný na použitie v potravinárskych výrobkoch v podobných koncentráciách a na účely podobné ako sójové proteínové izoláty [17]. Repkové proteínové produkty boli opísané ako vhodné pre celý rad potravinárskych výrobkov, vrátane pekárenských výrobkov, nápojov, mäsových produktov a výrobkov podobných syrom [8]. Repkový proteín je zaradený do zoznamu tzv. nových potravín a musí spĺňať viaceré parametre produkcie a kvality [31]. Každý výrobca proteínu má určené možnosti využitia repkového proteínu vo finálnych potravinárskych produktoch (Tab. 1).

**Tabuľka 1 Maximálne koncentrácie repkových proteínov vo finálnych výrobkoch podľa GRAS**

Komerčné názvy repkových proteínov	Maximálna koncentrácia produktu vo finálnych výrobkoch (%)		
	Puratein/Supertein [32]	Isolexx [33]	CanolaPro [34]
Sušené vajcia, náhrady vajec	60	-	-
Mliečne produkty	5	4	5
Sušené mliečne nápoje (milkshake) a proteínové nápoje	-	9	-
Nápoje, polievky, nutričné nápoje	-	5	-
Ovocné a zeleninové džúsy a nápoje	10	-	5
Polotovary (ready-to-eat snacky, cestoviny, polievky, a i.)	-	-	10
Cereálne produkty	2	-	-
Pekárenské produkty	-	3	5
Snacky	-	20	30
Spracované mäso	2	2	-
Vegetariánske potraviny a náhrady mäsa	-	20	30
Šalátové dresingy	2	-	-
Doplnok stravy/nutričné tyčinky	50	30	30
Proteínové doplnky práškové	95	-	-
Výživa pre športovcov	-	-	10
Klinická výživa	-	-	10
Výživa pre starších ľudí	-	-	10

S cieľom zlepšiť nutričnú hodnotu a funkčné vlastnosti repkového proteínu sa od roku 1970 publikujú štúdie o pridávaní proteínových izolátov do potravín ako náhrady existujúcich proteínov, najmä živočíšnych proteínov [8]. Výhody použitia repkových proteínov v potravinových formuláciách sú spojené s ich schopnosťou zadržiavať vodu, schopnosťou tvoriť gély a emulgačnými vlastnosťami [2]. Existujú možnosti rozšírenia použitia repkového proteínu, pričom regenerovaný repkový proteín môže byť použitý ako rastlinná zložka s emulgačným účinkom, ktorá znižuje účinok oxidácie. Repkový izolát produkoval emulzie s podobnou stabilitou ako sójový lecitín a vyššou stabilitou v porovnaní s BSA (bovine serum albumin). Repkové proteínové produkty mali výrazne vyššiu schopnosť spomalenia oxidácie v porovnaní so sójovým lecitínom [35].

Di Lena a kol. (2023) uviedli, že proteíny získané z RŠ predstavujú sľubný komponent pre formuláciu nových potravín, kde je žiadúce zvýšiť obsah proteínov vo finálnom produkte, upraviť reologické vlastnosti alebo nahradiť živočíšne proteíny. Výsledky ukazujú, že úprava textúry potravín v kombinácii s prídavkom repkového proteínového izolátu (do 5 hm. %) má pozitívny vplyv na nutričný a sensorický profil potravín, napr. v prípade využitia kuracích prísad a chleba ako matrice vykazovali finálne produkty nezmenené alebo zlepšené sensorické vlastnosti a vyššiu nutričnú hodnotu, najmä s ohľadom na proteíny (+20 – 40 %) a minerály (+10 – 16 %) [2]. Wanasundara a kol. (2011) sumarizovali niekoľko možností využitia repkového izolátu alebo koncentráту v pekárenských produktoch, nápojoch, mäsových produktoch, šalátových dresingoch, omáčkach alebo ako náhradu za mliečne a vaječné produkty [8].

Z hľadiska pekárenských/cereálnych výrobkov izolát a koncentrát repkového proteínu možno pridať v množstve 18 % do chlebového cesta bez nepriaznivých účinkov na vlastnosti bochníka a cesta [8]. Repkové proteíny spoločnosti Burcon (Puratein, Supertein) je možné využívať v pekárenských produktoch vrátane chleba, koláčov, sušienok, croissantov, muffinov, vaflí a i. do koncentrácie 2 % [8]. Repkové proteínové koncentráty a izoláty môžu byť použité ako náhrada ryžovej múky v bezlepkových sušienkach [36]. Salah a kol. (2019) preukázali, že repkové proteíny môžu byť pridané do chleba z ryžovej múky ako prísada, ktorá môže napodobňovať funkčné vlastnosti lepku v koncentráciách až 6 %, pričom na tejto úrovni suplementácie sa zaznamenalo zlepšenie technologických vlastností cesta a výsledného chleba. Okrem toho začlenenie repkového proteínu do bezlepkových formulácií malo pozitívny vplyv na nutričnú hodnotu konečného produktu, reologické vlastnosti cesta a kvalitatívne vlastnosti chleba. Tieto výsledky tiež ukázali, že prídanie vyššieho podielu repkového proteínu do bezlepkového chleba na báze ryžovej múky viedlo k významnému zvýšeniu indexu hnednutia výrobkov, čo bolo spôsobené tmavou farbou repkového proteínového izolátu vo vodnom prostredí [37], pričom farba repkových proteínových produktov závisí od pH použitého počas spracovania a teploty použitej pri sušení konečného produktu, a môže sa pohybovať od svetlohnedej až po tmavohnedú [8]. Zistilo sa tiež, že je možné nahradiť vajcia vo výrobkoch zo šľahaných hmôt dokonca až do 100 % repkovým proteínovým koncentrátom, avšak získané produkty môžu mať trochu tmavšiu farbu v porovnaní s komerčnými produktami. Ďalej bolo preukázané, že prídavok repkového koncentrátu nemal vplyv na objem výrobkov [11].

## Záver

Prezentovaná analýza vedeckých štúdií a produktových dokumentácií dokazuje, že repkový proteín je výhodný zdroj pre lokálny, udržateľný, geneticky nemodifikovaný proteín s nízkou alergénnosťou a vysokou nutričnou hodnotou. Môže slúžiť ako nový proteínový zdroj reagujúci na zvyšujúci sa trhoví dopyt po rastlinných proteínoch.

Produkcija repkového proteínu z repkových šrotov zahŕňa niekoľko kľúčových metód, ktoré umožňujú extrakciu a purifikáciu proteínov z tohto vedľajšieho produktu spracovania repky olejnej. Každá metóda má svoje výhody a nevýhody, a voľba konkrétnej technológie závisí od požadovaného konečného produktu a jeho aplikácie. Kombinácia týchto metód môže viesť k získaniu vysoko kvalitného proteínového produktu s minimálnym obsahom antinutričných látok a optimalizovanými funkčnými vlastnosťami pre rôzne priemyselné aplikácie.

Repkový proteín má sľubný nutričný potenciál vďaka vysokému obsahu esenciálnych aminokyselín a priaznivým funkčným vlastnostiam, ako je emulgačná schopnosť alebo penotvorné vlastnosti. Hlavnou výzvou pre jeho širšie využitie v potravinárskom a krmovinárskom priemysle je prítomnosť antinutričných látok, ako polyfenoly, ktoré obmedzujú jeho stráviteľnosť. Spracovacie techniky, vrátane predúpravy etanolom alebo izopropanolom, dokážu výrazne znížiť množstvo týchto látok a zlepšiť funkčnosť

repkového proteínu. Výskumy poukázali na to, že tento produkt je možné využiť ako alternatívnu surovinu pri výrobe potravín, čo z neho robí cenný rastlinný zdroj pre budúcnosť potravinárstva.

## Zdroje

- [1] Di Lena, G.; Sanchez del Pulgar, J.; Lucarini, M.; et al. *Molecules* 2021, 26, 6787.
- [2] Di Lena, G.; Schwarze, A.-K.; Lucarini, M.; et al. *Foods* 2023, 12, 1326.
- [3] Tang, Y.R.; Ghosh, S. *Food Hydrocolloids* 2021, 113, 106399.
- [4] Ottens, M.; Chilamkurthi, S. In *Separation, Extraction and Concentration Processes in the Food, Beverage and Nutraceutical Industries*; Rizvi, S.S.H., Ed.; Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition; Woodhead Publishing, 2013; 109–147.
- [5] Wanasundara, J.P.D. *Crit Rev Food Sci Nutr* 2011, 51, 635–677.
- [6] Bárta, J.; Bártová, V.; Jarošová, M.; Švajner, J. *Chemické listy* 2021, 115, 472–480.
- [7] Fetzner, A.; Müller, K.; Schmid, M.; Eisner, P.: *Ind. Crops Prod.* 2020, 158, 112986.
- [8] Wanasundara, J. P. D.; McIntosh, T. C.; Perera, S. P.; Withana-Gamage, T. S.; Mitra, P.: *OCL* 2016, 23 (4), D407.
- [9] Kalaydzhiev, H.; Ivanova, P.; Silva, C. L. M.; Chalova, V. I.: *Pol. J. Food Nutr. Sci.* 2019, 69 (2), 129–136.
- [10] Chico, F.: *Techno-Economic Evaluation for Producing suitable animal feed protein from Jatropha curcas press cake.* 2013
- [11] Von der Haar, D., Müller, K., Bader-Mittermaier, S., Eisner, P., *OCL* 2014, 21, D104.
- [12] Rodrigues, I.M.; Coelho, J.F.J.; Carvalho, M.G. V.S.: *Journal of Food Engineering* 2012, 109, 337-346.
- [13] ICM Inc.; dostupné online: <https://icminc.com/>
- [14] Fluid Quip Technologies; dostupné online: <https://fluidquiptechnologies.com/>
- [15] Harvesting Technology LLC; dostupné online <https://harvestingtech.com/>
- [16] Baker, P.W.; Charlton, A.: *Innov Food Sci Emerg Technol* 2020, 59, 102239.
- [17] Rehder, A., Sulewska, A. M., Markedal, K. E., Sørensen, S., Sørensen, J. C.: *International Journal of Food Science and Technology-Mysore* 2017, 52, 1653–1659.
- [18] Pedroche, J., Yust, M., Megías, C., Lqari, H., Alaiz, M., Girón-Calle, J., Millán, F., Vioque, J.: *Grasas y Aceites* 2004, 55, 354–358.
- [19] Ghodsvali, A., Khodaparast, M.H.H., Vosoughi, M., Diosady, L.L.: *Food Research International* 2005, 38, 223–231.
- [20] Sari, Y.W., Mulder, W.J., Sanders, J.P.M. and Bruins, M.E.: *Biotechnology Journal* 2015, 10, 1138-1157.
- [21] Macias Aragonés, M.; Ondrejčková, P.; Ugarte Lodeiro, R.; Arroyo Torralvo, F.: *Energies* 2023, 16, 176.
- [22] Pickardt, C.; Eisner, P.; Kammerer, D.R.; Carle, R.: *Food Hydrocolloids* 2015, 44, 208-219.
- [23] Zinchenko, D.V., Muranova, T.A., Melanyina, L.A. et al. *Appl Biochem Microbiol* 2018, 54, 294–300.
- [24] Wanasundara, J.P.D.; Tan, S.; Alashi, A.M.; Pudel, F.; Blanchard, C. In *Sustainable Protein Sources*; Nadathur, S.R., Wanasundara, J.P.D., Scanlin, L., Eds.; Academic Press: San Diego, 2017; 285–304.
- [25] Georgiev, R.; Kalaydzhiev, H.; Ivanova, P.; Silva, C. L. M.; Chalova, V. I.: *Foods* 2022, 11 (4), 541.
- [26] Kalaydzhiev, H.; Georgiev, R.; Ivanova, P.; Stoyanova, M.; Silva, C. L. M.; Chalova, V. I.: *Foods* 2020, 9 (6), 703.
- [27] Chmielewska, A.; Kozłowska, M.; Rachwał, D.; Wnukowski, P.; Amarowicz, R.; Nebesny, E.; Rosicka-Kaczmarek, J. *Crit Rev Food Sci Nutr* 2021, 61, 3836–3856.
- [28] Wanasundara, J.P.D.; Abeysekara, S.J.; McIntosh, T.C.; Falk, K.C. *Journal of the American Oil Chemists' Society* 2012, 89, 869–881.
- [29] Tang, Y.R.; Ghosh, S. *Food Hydrocolloids* 2021, 113, 106399.
- [30] Tan, S.H.; Mailer, R.J.; Blanchard, C.L.; Agboola, S.O. *LWT - Food Science and Technology* 2014, 57, 376–382.
- [31] Úradný vestník Európskej únie; dostupné online: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SK/TXT/PDF/?uri=CELEX:32014D0424>
- [32] GRAS Notices ADM, dostupné online: [GRAS Notice](#).
- [33] GRAS Notices BioExx, dostupné online: [GRAS Notice](#).
- [34] GRAS Notices DSM, dostupné online: [GRAS Notice](#).
- [35] Ostbring, K.; Tullberg, .; Burri, S.; Malmqvist, E.; Rayner, M.: *Foods* 2019, 8, 627.
- [36] Gerzhova, A. 2016. Extraction of canola proteins by aqueous electro-activated solutions. optimization of conditions and study of their techno-functional properties. Doctoral thesis, October 31, 2019. <https://corpus.ulaval.ca/jspui/handle/20.500.11794/26694?locale=en>.
- [37] Salah, K.; Olkhovtov, E. A.; Aïder, M.: *Journal of Food Science and Technology* 2019, 56, 3744–53.