

THE INFLUENCE OF HEAT MOISTURE TREATMAN ON THE FORMATION OF RESISTANT STARCH IN FOOD FROM VEGETABLE ORIGIN

Eleonora Delinikolova

Faculty of Technology and Technical Sciences Veles, “St. Kliment Ohridski” University - Bitola,
Republic of North Macedonia, eleonora.delinikolova@uklo.edu.mk

Tatjana Kalevska

Faculty of Technology and Technical Sciences Veles, “St. Kliment Ohridski” University - Bitola,
Republic of North Macedonia, tatjana.kalevska@uklo.edu.mk

Viktorija Stamatovska

Faculty of Technology and Technical Sciences Veles, “St. Kliment Ohridski” University - Bitola,
Republic of North Macedonia, viktorija.stamatovska@uklo.edu.mk

Vezirka Jankuloska

Faculty of Technology and Technical Sciences Veles, “St. Kliment Ohridski” University - Bitola,
Republic of North Macedonia, vezirka.jankuloska@uklo.edu.mk

Abstract: Carbohydrates are one of the main macronutrients in the human diet and serve as a source of energy. Their share in nutrition has a key role in maintaining glucose homeostasis and overall health. Among them, starch is the most common digestible polysaccharide. It is found in the fruits, seeds, roots, nodules and leaves of plants, as well as in other ingredients prepared from them, which are then incorporated into a certain food product. Its structural components are amylose and amylopectin. Amylose constitutes 15% to 20% of total starch and is a linear polymer, in which α -D-glucose molecules are linked by α -D-(1-4). Amylopectin is the main component of starch. The amylopectin molecule is branched and in it α -D-glucose molecules are linked by α -D-(1-4) and α -D-(1-6) bonds. Their ratio varies depending on botanical source and strongly influences the functional characteristics of the starch. In the digestion process, starch is broken down into monosaccharides and is mostly absorbed through the villi of the small intestine, on which the glycemic index of starchy food depends. According to the degree of digestion, it is divided into rapidly digestible starch (RDS), slowly digestible starch (SDS) and resistant starch (RS). RS is defined as the fraction of dietary starch that is not digested in the small intestine and passes unchanged into the large intestine, where it is fermented. This form of starch exhibits physiological characteristics similar to dietary fiber and has numerous health benefits. In cereals, whole grains, legumes, potatoes and fruits, RS is naturally present. However, the method of preparation, storage temperature, type and density affect the amount of RS in this food. In order to improve the physico-chemical and nutritional properties of natural starch, as well as to expand its application in the food industry, procedures with physical modifications are applied. Thermal processing of starch can affect the utilization of nutrients, increase the content of RS and improve the overall nutritional profile of the food. The development of products with a modified amylose-amylopectin ratio can increase the level of RS in food. In this literature review, available scientific knowledge is summarized, with special attention on impact of heat moisture treatment (HMT) on starch, as a procedure to obtain products with increased content of resistant starch and improved and modified nutritional properties.

Keywords: Resistant starch, dietary fiber, heat-moisture treatment

ВЛИЈАНИЕТО НА ТРЕТМАНОТ НА ТОПЛИНА СО ВЛАГА ВРЗ ФОРМИРАЊЕТО НА ОТПОРЕН СКРОБ ВО ХРАНА ОД РАСТИТЕЛНО ПОТЕКЛО

Елеонора Делиниколова

Технолошко-технички факултет Велес, Универзитет “Св. Климент Охридски” Битола, Република Северна Македонија, eleonora.delinikolova@uklo.edu.mk

Татјана Калевска

Технолошко-технички факултет Велес, Универзитет “Св. Климент Охридски” Битола, Република Северна Македонија, tatjana.kalevska@uklo.edu.mk

Викторија Стаматовска

Технолошко-технички факултет Велес, Универзитет “Св. Климент Охридски” Битола, Република Северна Македонија, viktorija.stamatovska@uklo.edu.mk

Везирка Јанкулоска

Технолошко-технички факултет Велес, Универзитет “Св. Климент Охридски” Битола, Република Северна Македонија, vezirka.jankuloska@uklo.edu.mk

Резиме: Јаглехидратите се едни од главните макронутриенти во исхраната на луѓето и служат како извор на енергија. Нивниот удел во исхраната има клучна улога во одржување на гликозната хомеостаза и вкупното здравје. Меѓу нив, скробот е најзастапен сварлив полисахарид. Тој се наоѓа во плодовите, семките, корењата, груките и листовите на растенија, како и во други состојки подготвени од нив, кои потоа се инкорпорирани во одреден прехранбен производ. Негови структурни компоненти се амилозата и амилопектинот. Амилозата сочинува 15% до 20% од вкупниот скроб и претставува линеарен полимер, во кој молекулите на α -D-глукоза се поврзани со α -D-(1-4) врски. Амилопектинот е главната компонента на скробот. Молекулата на амилопектинот е разгранета и во неа молекулите на α -D-глукоза се поврзани со α -D-(1-4) и α -D-(1-6) врски. Нивниот сооднос варира зависно од ботаничкиот извор и силно влијае врз функционалните карактеристики на скробот. Во процесот на дигестија, скробот се разградува до моносахариди и во најголем дел се апсорбира преку ресичките на тенкото црево, од што зависи и гликемскиот индекс на скробната храна. Според степенот на дигестија, поделен е на: брзо сварлив скроб (RDS), бавно сварлив скроб (SDS) и отпорен или резистентен скроб (RS). RS се дефинира како дел од диететскиот скроб, кој не се дигестира во тенкото црево и непроменет поминува во дебелото црево, каде што се ферментира. Оваа форма на скроб, покажува физиолошки карактеристики слични на диететските влакна и има бројни здравствени придобивки. Во житарките, целите зрна, мешунките, компирот и овошјето, RS е природно присутен. Меѓутоа, начинот на подготовка, температурата на складирање, видот и густината, влијаат на количината на RS во оваа храна. Со цел да се подобрат физичко-хемиските и нутритивните својства на природниот скроб, како и да се прошири неговата примена во прехранбената индустрија, се применуваат постапки со физички модификации. Термичката обработка на скробот може да влијае на искористеноста на хранливите материи, зголемување на содржината на RS и подобрување на вкупниот нутритивен профил на храната. Развојот на производи со модифициран сооднос на амилоза-амилопектин, може да го зголеми нивото на RS во храната. Во овој преглед на литература сумирани се достапни научни сознанија, во кои посебно внимание е посветено на влијанието на третманот на топлина со влага (НМТ) на скробот, како постапка за добивање на производи со зголемена содржина на отпорен скроб и подобрени и модифицирани нутритивни својства.

Клучни зборови: Отпорен скроб, диететски влакна, третман на топлина со влага

1. ВОВЕД

Јаглехидратите се група на хемиски дефинирани супстанции со специфични физички и физиолошки својства и здравствени придобивки. Примарната класификација на јаглехидратите во исхраната се заснова на хемиската структура, карактеристиките на поединечните мономери, степенот на полимеризација (DP) и типот на поврзаност (α или β врски) (Cummins et al., 2007). Скробот е полисахарид, составени од голем број моносахариди или молекули на шеќер (гликоза) поврзани со α -D-(1-4) и/или α -D-(1-6) врски. (Sajilata et al., 2006). Скробот е природен полимер кој се наоѓа во сите органи на растенијата и е една од главните форми на јаглехидрати во исхраната (Raigond et al., 2014). Претставува важен извор на енергија и функционална состојка на храната, која ги обезбедува посакуваните физико-хемиски и сензорни атрибути, како што се текстурата, вкусот и изгледот (Wang et al., 2021). Амилозата и амилопектинот се главни составни делови на

скробот, депонирани во гранули со различни големини, во облик на дискови или сферични, организирани во полукристални и аморфни концентрични слоеви (Cornejo-Ramírez et al., 2018). Амилозата има просечен степен на полимеризација (DP) помеѓу 900 и 3300, молекуларна тежина од $\sim 1 \cdot 10^5$ до 10^6 . Секој синцир на амилоза содржи ~ 200 до 700 остатоци од гликоза (Hoover, 2010; Vamadevan, & Bertoft, 2014). Амилозата во раствор, лесно кристализира (ретроградира) во лева (L) форма од двојни и паралелно поставени спирали, формирајќи А- или Б-тип аломорфи. Амилозата, исто така, формира комплекси со лигандите, особено со јодот, масните киселини и алкохолите (Vamadevan, & Bertoft, 2014). Бројот на синцири на амилоза и степенот на полимеризација (DP), варираат во зависност од ботаничкиот извор и може значително да ги променат функционалните својства на скробот (Ottenhof & Farhat, 2004). Молекуларната структура на амилопектинот е значително покомплексна и тој е многу поголема молекула од амилозата, со молекуларна тежина од $1 \cdot 10^7$ до $1 \cdot 10^9$. Неговиот степен на полимеризација се движи од 9600 до 15900 единици на гликоза (Vamadevan & Bertoft, 2014; Wang et al., 2023). Структурата на страничниот ланец на амилопектинот се карактеризира како тип А, Б или Ц зависно од неговата должина и поврзување (Tester et al., 2004).

Во нутритивни цели, скробот е класифициран во брзо сварлив скроб (RDS), бавно сварлив скроб (SDS) и отпорен или резистентен скроб (RS) (Zhang & Namaker, 2009). Отпорниот скроб, природно се наоѓа во храната од растително потекло (зеленчук, житарки, мешунки и овошје), кои имаат и висока содржина на диететски влакна (растворливи и нерастворливи). Најгуста непреработена храна со RS се незрелите банани, а содржината на RS во брашно од зелена банана се движи од 40,9% до 58,5%. Компирираниот скроб има најголема концентрација на RS (65,20% - 95,32%) како процент од вкупниот. (Karunaratna et al., 2023). RS е нискокалорична функционална прехранбена состојка со физиолошки карактеристики на диететски влакна. Неговата енергетската вредност, изнесува приближно 8 kJ/g (2 kcal/g), додека енергетската вредност за целосно сварливиот скробот е 15 kJ/g (4,2 kcal/g) (Raigond et al., 2014). Здравствени придобивки од RS, вклучуваат намалување на гликемскиот и инсулинскиот одговор при внесување на јаглехидратите, намалување на ризикот од колоректален карцином, намалување на концентрациите на холестерол и триглицериди во плазмата, ја подобрува апсорпцијата на витамини и минерали и делуваат како пребиотик (Aravind et al., 2013; Koh & Rowling, 2017). RS дејствува како подлога за микробна ферментација, го модулира растот на микроорганизмите и влијае на здравјето на дебелото црево. RS делува како пребиотик и на тој начин влијае на гликемскиот индекс (GI) на храната, овозможувајќи пониска интестинална апсорпција на гликоза (Cione et al., 2021). RS придонесува за метаболизмот на липидите и холестеролот. Исхраната богата на RS, го подобрува празнењето на дебелото црево и на тој начин влијае и на намалувањето на производството на мутагени соединенија, намалување на рН на колонот и нивоата на амонијак, и подобрување на липидниот профил во серумот (Iuga & Mironeasa, 2020).

2. ВИДОВИ И ДОБИВАЊЕ НА ОТПОРЕН СКРОБ

Отпорноста на хидролизата од дигестивните ензими во гастроинтестиналниот тракт, зависи од карактеристиките на скробот, кој може да биде физички недостапен, ретрограден или хемиски изменет. Поради тоа, RS е поделен на 5 класи: RS1, RS2, RS3, RS4 и RS5. RS1 е физички заробен скроб, кај кого гранулите од природен скроб обично се инкапсулирани во растителните компоненти, формирајќи физички градбен скроб, кој главно се наоѓа во цели или делумно мелени зрна, семиња или мешунки. RS2 е природна, нежелатинизирана гранула од суров скроб со висока густина и кристална структура. RS2 може да се спротивстави на хидролизата предизвикана од дигестивните ензими само до одреден степен. Најзастанеп е во суровиот компир, зелени банани, некои мешунки, пченка со висока амилоза. RS3 може да се произведе за време на обработката на храната. Се сретнува во варен и изладен компир, леб, корнфлекс и генерално храна или производи со повторена влажна термичка обработка. RS4 претставува класа на хемиски модифицирани скробови, кои се отпорни на дигестивни ензими и неговите оригинални функционални групи се хемиски модифицирани или воведени се нови функционални групи. Идентификуван е и RS5, кој може да се формира кога долгите синцири на амилоза или амилопектин се комбинирани со масни киселини, при што се генерира масно-киселински-скробен комплекс кој не може да се пробие со вода или амилаза (Ma & Boye, 2018; Wang et al., 2023; Baptista et al., 2024).

RS се произведува од природниот скроб во неколку фази. Во првата фаза, желатинизација, доаѓа до нарушување на зрнестата структура на скробот, при загревање со вишок вода. Втората фаза, ретроградација, вклучува бавна рекристализација на молекулите, кои се губат при ладење или дехидрација на скробот. Финално, отпорната фракција, може да се изолира со делумно ензимско варење на аморфната фаза (Zabar et al., 2008). Физичките методи третман со топлина со влага (HMT), автоклавирање и жарење, високиот хидростатички притисок, микробранова печка, истиснување и соникација се корисни и ефикасни методи за зголемување содржината на RS од различни видови скроб (Jiang et al., 2020).

Брзината и степенот на желатинација и ретроградација зависат од многу фактори вклучувајќи го потеклото, типот и концентрацијата на скроб, температурата, брзината и времетраењето на загревање, големината на силите на смолкнување, брзината и времето за ладење. Интеракциите помеѓу скробот и другите компоненти на храната, исто така, може да влијаат на желатинизацијата и ретроградацијата (Wang et al., 2020).

Температурата на желатинизацијата за повеќето видови на скроб е помеѓу 60°C и 80°C. Постои негативна врска помеѓу содржината на амилоза во скробот, температурата на желатинизирање и максималната вискозност. Со ладење на скробната паста, вискозноста се зголемува и се формира гел. Во геловите кои содржат околу 25% амилоза, молекулите на скроб формираат мрежа што резултира во цврст гел, за разлика од восочните скробни гелови, кои се меки и содржат агрегати, но немаат мрежа. Ретроградацијата е тековен процес кој се случува во подолг период. Амилозата се ретроградира во текот на неколку минути до часови, а амилопектинот во текот на неколку часа до денови, во зависност од способноста на разгранетите синцири да формираат асоцијации (Copeland et al., 2009). Преодните температури во овој процес се: стартна температура (T_s), почетната температура (T_o), максималната температура (T_p), завршната температура (T_c) и крајната температура (T_e). Промената на енталпијата (ΔH) е дефинирана како област под нацртаната линија, од почетната температура до крајната температура (Wang & Copeland, 2013).

3. ВЛИЈАНИЕ НА ТРЕТМАНОТ СО ТОПЛИНА СО ВЛАГА (НТМ)

Третманот со топлина со влага (НМТ) на скроб е дефиниран како физичка модификација која вклучува третман на гранули од скроб (<35% влага) за одреден временски период (15 мин–16 часа) и на температура (84–120°C) над температурата на стаклена транзиција (T_g), но под температурата на желатинација (Hoover, 2010). Овој третман претставува физичка метода на модификација, која ги подобрува функционалните и физичко-хемиските својства на скробот, без да го менува неговиот молекуларен состав (Punia et al., 2020).

При третман со НТМ, кај житарките, коренестите и мешункастите растенија, забележани се промени во моделот на X-зраци и кристалноста, интеракциите помеѓу синцирите на скроб, бабрењето на гранулите и истекувањето на амилозата. Исто така, констатирани се и промени во вискозитетот, параметрите на желатинизација и ретроградација, подложноста кон киселини и хидролиза на α -амилаза (Hoover, 2010).

Загревањето доведува до промени во својствата на скробот, односно промени во структурата и својствата на амилозата и амилопектинот, предизвикани од термичко дејство. Освен соодносот на влага, промената на својствата на скробот за време на изложеност на топлина зависи и од релативната содржина на амилоза и амилопектин (Chao et al., 2024). Повисокото ниво на влага применето за време на НМТ може да ја зголеми подвижноста на амилозните синцири, што дополнително ја зголемува достапноста на АМ (амилоза) и АР (амилопектин) за АР-АР и АМ-АР интеракција, што се потврдува со зголемената вредност на T_p при повисоко ниво на влага. Придружено со зголемено време на загревање, повисок е и степенот на нарушување на интер- и интра-молекуларните водородни врски кои ги стабилизираат двојните спирали во гранулите на скроб (Ma et al., 2020). Импликацијата на процесот НМТ и зголемена содржина на RS кај скробот од мунг грав е поврзана со содржината на влага (20%) при загревање (Li et al., 2011).

Ефектот на НТМ врз физичко-хемиските својства, морфологијата и својствата на скробот со различна содржина на амилоза и амилопектин се следени од страна на Mathobo et al., (2021). Истражуван е скроб од природен ориз (21,72% амилоза), восочен ориз (1,64% амилоза), природна пченка (25,19% амилоза), восочна пченка (2,06% амилоза), природен компир (28,97% амилоза) и восочен компир (3,92% амилоза) после термичка обработка на 100°C во времетраење за 16 часа, при содржина на влага од 25%. Резултатите од различните ефекти на НМТ врз параметрите на желатинизација на природниот и восочниот скроб ја поддржале улогата на амилозата во нивниот состав. Brahma & Sit (2020), кај компиров скроб подложен на третман со НМТ, при различни температури (100 °C и 12 °C) и различна содржина на влага (30% и 35%) забележале зголемување на содржината на RS и злучиле дека бабрењето, растворливоста, бистрината и стабилноста при замрзнување-одмрзнување на НМТ третираните скробовите зависат и од температурата и од содржината на влага. Во *in vitro* следена дигестија кај НТМ третиран скроб од различни типови на брашно од пченица во споредба со нетретиран скроб, Su et al. (2020) констатирале намалена релативна кристалност, вискозност и бабрење, зголемена растворливост, температура на желатинизација и температура на транзиција на желатинизација. При влажната термичка обработка на пченично брашно од страна на Chen et al. (2015) е утврдено дека максималниот вискозитет се намалува и температурата на желатинизација се зголемува. Третманот со НМТ значително ја променил кристалната структура и степенот на кристализација на пченичното брашно.

Zhang et al. (2023) кај скроб од ориз, третиран со НМТ забележале зголемување на содржината на RS. Овој ефект бил поизразен по додавањето на хидрофилен колоид, предизвикувајќи дополнително зголемување на содржината на RS од $8,42 \pm 0,39\%$ на $38,36 \pm 3,69\%$. Во истражувањето Khunae et al. (2007), користеле скроб

од неколку видови на ориз (леплив ориз, Jasmine ориз и Chiang ориз), со различна содржина на амилоза (1.4%, 15% и 20,2%), кои при различна содржина на влага (18%, 21%, 24% и 27%) биле третирани на 100°C во период од 16 часа. НМТ не направил промени на големината, обликот или површинските карактеристики на гранулите на скроб, но сепак, влијаел на својствата на кристалинизација и желатинизација со варијации во зависност од содржината на амилоза и влага. Третирање со топлина и влага врз зрната ориз пред да се варат е спроведено во студијата на Arns et al., (2014). Различното времетраење на третманот со НМТ (10, 30 и 60 минути) на 120°C, влијаело на топлинските и лепливи својства на оризот, што доведува до промени во температурите на желатинизација, вискозоста и карактеристиките на готвењето. Односно, подолго времетраење на НМТ (60 минути) го намалуваат приносот на оризот (HRY) и го зголемува времето за варење на оризот.

Повторени третмани со топлина-влага (RHMT) ја зголемуваат механичката и термичката стабилност на оризовиот скроб и го промовира зајакнувањето на врски кои формираат постабилна структура (Arns et al., 2015). Според Huang et al. (2016), повторените третмани со топлина-влага (RHMT) покажуваат зголемување на содржината на SDS во примероците на скроб од сладок компир. Дигестибилноста следена *in vitro* покажала дека содржината на SDS во примероците од скроб постепено се зголемува и достигнува максимум после 3 повторени циклуси на RHTM и при содржина на влага од 19,61%. Зголемувањето на ензимската сварливост на нормалните скрбови третирани со НМТ било повисоко, отколку на восочниот скроб.

Во истражувањето на Wang et al. (2016), следени се ефектите на НМТ врз сварливоста на скробот кај регуларни и високо амилозни пченкарни скрбови. Индуцирано од НМТ забележани се молекуларни преуредувања кои водат до трансформација на брзо сварливиот скроб (RDS) во споро сварлив скроб (SDS) и отпорен скроб (RS), во двата случаја. Особено, третираниот скроб со висока содржина на амилоза и со 30% содржина на влага покажал висока содржина на SDS и RS. Влијанието на НМТ врз физичко-хемиските својства и *in vitro* дигестијата на комплексите од пченкарен скроб-гуар, со различна содржина на амилоза се следени и од страна на Xie et al. (2017). При тоа користени се: восочен пченкарен скроб, нормален пченкарен скроб и Nylon V (пченкарен скроб со висока содржина на амилоза), заедно со гуар гума. Утврдена е намалена релативна кристалност и хигроскопност на примероците од скроб-гуар и зголемена сварливост кај примероците со поголема содржина на амилоза. *In vitro* дигестијата покажала спротивен тренд на зголемување на содржината на амилоза и стабилна кристална структура кај комплексот скроб-гуар со висока содржина на амилоза. Заклучено е дека НМТ влијае на температурата на желатинизација и енталпијата на примероците, со варијации во зависност од содржината на амилоза.

Улогата на содржината на влага врз структурата и својствата на скроб од јачмен, третиран со НМТ е следено од страна на Liu et al. (2019). Зголемувањето на содржината на влага до 25%, постепено индуцирал молекуларна деградација, намалување на молекуларната тежина (моларна маса), зголемени молекуларни врски и зголемена содржината на амилоза и полиморфите од тип-V. Дополнителното зголемување на влагата (до 30%) допринело за исчезнување на ламеларниот распоред. Структурните промени настанати од НМТ, трансформирале дел од брзо сварливиот скроб во бавно сварливи и/или отпорни форми.

4. ПРИМЕНА НА RS

RS има физиолошка функција на диететски влакна и други предности што не ги поседуваат диететските влакна. Неговите основни карактеристики се слични на обичниот скроб и не влијаат на вкусот и сензорните карактеристики на храната во која се додава. Поради уникатните функционални својства, благиот вкус, белузлавата боја, добрата вискозна стабилност и реолошките својства, како и малата моќност на задржување вода, RS наоѓа широка примена во прехранбената индустрија (Jiang et al., 2020).

Скробот и брашното обработени со НМТ, може да се применат при производството на различни прехранбени производи, особено доколку треба да се постигне стабилност и цврста текстура, кога се изложени на загревање/ладење. Така, скрбовите модифицирани со НМТ може да се додаваат во тестенини, производи за печење, замрзната храна, конзервирана храна, јадливи филмови и други. Употребата на НМТ-скроб во производството на тестенини може да ја подобри цврстата текстура и квалитетот на готвењето (Subroto et al., 2022). Се покажало дека кај тестенините од ориз, ретроградацијата предизвикува благотворно дејство на понизок гликемски индекс. Високо амилозниот скробен гел е силно ретрограден, создавајќи поеластични и цврсти нишки од ориз при пониска температура на готвење (Denchai et al., 2019). Исто така, НМТ-скробот е способен да ја одржува вискозната стабилност на сосот од домати за време на загревањето. НМТ-брашното/скробот е во состојба да го одржува и квалитетот на тестото и својствата на лебот, споредено со оние произведени со нетретираното. (Subroto et al., 2022). За некои производи, ефектите од ретроградацијата на скробот можат да бидат позитивни, како на пример во производството на двопек, но за

печивата овие ефекти предизвикуваат зголемување на цврстината, што ги прави овие производи непривлечни за потрошувачите (Ottenhof et al., 2004).

Скробот игра важна улога во преработката на храната базирана на овес. Здравата храна, како што се нискокалоричните производи, производите со ниска масленост, производите со висока содржина на диететски влакна се развиваат со користење на овес и RS од овес. Овесниот скроб и покрај тоа што е сличен со другите комерцијални скробови, сепак има некои уникатни својства. Тој може да се додаде во различни прехранбени и непрехранбени производи, како замена на масти, во супи, сосови, десертни производи, хартиени и картонски производи, средства за обложување, производи за капење/сапуни и др. Со замена на пченичниот скроб со овесен скроб во формулација за леб, произведените лебовите во свежа состојба и при складирање поради поголема отпорност на силата на смолкнување при кинење имале еластична кора и жолто затемнета средина (Punia et al., 2020)

Брашното или скробот од банана наоѓа широка примена во многу различни производи. Брашното од банана може да се примени како замена за пченично брашно во тестенини и пекарски производи (тестенини, колачи, леб, колачиња и бисквити), а скорбот од банана може да се примени како згуснувач, заменувајќи го маснотии, како додаток во намази, итн. Поради високата содржина на RS, скорбот од банана се препорачува како функционален прехранбен производ за пациенти со дијабетес. Со примена на НМТ на скорбот од банана се зголемува неговата термостабилност, а се намалува обемот и растворливоста при бабрење. (Marta et al., 2022).

5. ЗАКЛУЧОК

Отпорниот скроб (RS) има својства слични на диететските влакната и покажува физиолошки здравствени придобивки кај луѓето. Храната која содржи високо ниво на RS има помалку калории и пониски гликемиски оптоварувања, што е значајно за лицата кои имаат дијабетес или за оние кои сакаат да намалат телесна маса. Зголемување на содржината на RS во храната, може да се постигне со менување на условите за обработка како рН вредноста, топлината, температурата и времето, бројот на фази на греење и ладење, замрзнување и сушење.

Термичките третмани се ефикасна техника за менување на физиохемиските својства на скробот и значително влијае на структурата и функционалноста на скробот. При желатинизацијата, кристалната структура на гранулите на скроб се распаѓа, овозможувајќи водата да се апсорбира и да се создаде конзистентност слична на паста. Овој процес ја подобрува сварливоста на скробот и доведува до формирање на отпорен скроб. Отпорниот скроб е помалку сварлива форма на скроб која обезбедува различни здравствени придобивки, вклучувајќи подобра контрола на шеќерот во крвта, зголемена ситост и потенцијални заштитни ефекти против одредени болести. Термичката обработка на скробот може да влијае на достапноста на хранливите материи, а формирањето на отпорен скроб може да го подобри целокупниот нутритивен профил на храната. Термичката обработка ја менува текстурата и вкусот на скробната храна, што ги прави повкусни и попријатни. Ова може да поттикне поздрави навики во исхраната кога се конзумираат целосни прехранбени извори на скроб. Генерално, термичката обработка е клучен фактор во одредувањето на здравствените придобивки и употребливоста на скробот во исхраната. Разбирањето на овие ефекти е значајно во добивањето на функционална храна, која ги подобрува општите услови на телото и може да го намали ризикот од некои болести.

ЛИТЕРАТУРА

- Aravind, N., Sissons, M., Fellows, C. M., Blazek, J., & Gilbert, E. P. (2013). Optimisation of resistant starch II and III levels in durum wheat pasta to reduce in vitro digestibility while maintaining processing and sensory characteristics. *Food Chemistry*, 136(2), 1100–1109.
- Arns, B., Bartz, J., Radunz, M., Evangelho, J. A. do, Pinto, V. Z., Zavareze, E. da R., & Dias, A. R. G. (2015). Impact of heat-moisture treatment on rice starch, applied directly in grain paddy rice or in isolated starch. *LWT - Food Science and Technology*, 60(2), 708.
- Arns, B., Paraginski, R. T., Bartz, J., de Almeida Schiavon, R., Elias, M. C., da Rosa Zavareze, E., & Dias, A. R. G. (2014). The effects of heat-moisture treatment of rice grains before parboiling on viscosity profile and physicochemical properties. *International Journal of Food Science & Technology*, 49(8), 1939–1945.
- Baptista, N. T., Dessalles, R., Illner, A. K., Ville, P., Ribet, L., Anton, P. M., & Durand-Dubief, M. (2024). Harnessing the power of resistant starch: a narrative review of its health impact and processing challenges. *Frontiers in nutrition*, 11, 1369950.
- Brahma, B. & Sit, N. (2020). Physicochemical Properties and Digestibility of Heat Moisture–Treated Potato Starches for Different Treatment Conditions. *Potato Res.* 63, 367–383.

- Chao, C., Liang, S., Zhang, Z., Gidley, M. J., Liu, Y., & Wang, S. (2024). New Insight into the Effects of Endogenous Protein and Lipids on the Enzymatic Digestion of Starch in Sorghum Flour. *Foods (Basel, Switzerland)*, 13(5), 663.
- Chen, X., He, X., Fu, X., & Huang, Q. (2015). In vitro digestion and physicochemical properties of wheat starch/flour modified by heat-moisture treatment. *Journal of Cereal Science*, 63, 109–115.
- Cione, E., Fazio, A., Curcio, R., Tucci, P., Lauria, G., Cappello, A. R., & Dolce, V. (2021). Resistant Starches and Non-Communicable Disease: A focus on Mediterranean Diet. *Foods*, 10(9), 2062.
- Copeland, L., Blazek, J., Salman, H., & Tang, M. C. (2009). Form and functionality of starch. *Food Hydrocolloids*, 23(6), 1527–1534.
- Cornejo-Ramírez, Y. I., Martínez-Cruz, O., Del Toro-Sánchez, C. L., Wong-Corral, F. J., Borboa-Flores, J., & Cinco-Moroyoqui, F. J. (2018). The structural characteristics of starches and their functional properties. *CyTA - Journal of Food*, 16(1), 1003–1017.
- Cummings, J. H., & Stephen, A. M. (2007). Carbohydrate terminology and classification. *European journal of clinical nutrition*, 61 Suppl 1, 5–18.
- Denchai, N., Suwannaporn, P., Lin, J., Soontaranon, S., Kiatpongarp, W., & Huang, T. C. (2019). Retrogradation and Digestibility of Rice Starch Gels: The Joint Effect of Degree of Gelatinization and Storage. *Journal of food science*, 84(6), 1400–1410.
- Hoover, R. (2010). The Impact of Heat-Moisture Treatment on Molecular Structures and Properties of Starches Isolated from Different Botanical Sources. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 50(9), 835–847.
- Huang, T., Zhou, D., Jin, Z., Xu, X., & Chen, H. (2016). Effect of repeated heat-moisture treatments on digestibility, physicochemical and structural properties of sweet potato starch. *Food Hydrocolloids*, 54, 202–210.
- Iuga, M., & Mironeasa, S. (2020). A review of the hydrothermal treatments impact on starch-based systems properties. *Critical reviews in food science and nutrition*, 60(22), 3890–3915.
- Jiang, F., Du, C., Jiang, W., Wang, L., & Du, S. K. (2020). The preparation, formation, fermentability, and applications of resistant starch. *International journal of biological macromolecules*, 150, 1155–1161.
- Karunaratna, S., Wickramasinghe, I., Truong, T., Brennan, C., Navaratne, S., & Chandrapala, J. (2023). Development of Low-Calorie Food Products with Resistant Starch-Rich Sources. – a Review. *Food Reviews International*, 40(2), 814–831.
- Khunae, P., Tran, T., & Sirivongpaisal, P. (2007). Effect of Heat-Moisture treatment on structural and thermal properties of rice starches differing in amylose content. *Starch - Stärke*, 59(12), 593–599.
- Koh, G. Y., & Rowling, M. J. (2017). Resistant starch as a novel dietary strategy to maintain kidney health in diabetes mellitus. *Nutrition Reviews*, 75(5), 350–360.
- Li, S., Ward, R., & Gao, Q. (2011). Effect of heat-moisture treatment on the formation and physicochemical properties of resistant starch from mung bean (*Phaseolus radiatus*) starch. *Food Hydrocolloids*, 25(7), 1702–1709.
- Liu, K., Zhang, B., Chen, L., Li, X., & Zheng, B. (2019a). Hierarchical structure and physicochemical properties of highland barley starch following heat moisture treatment. *Food Chemistry*, 271, 102–108.
- Ma, Z., & Boye, J. I. (2018). Research advances on structural characterization of resistant starch and its structure-physiological function relationship: A review. *Critical reviews in food science and nutrition*, 58(7), 1059–1083.
- Ma, Z., Hu, X., & Boye, J. I. (2020). Research advances on the formation mechanism of resistant starch type III: A review. *Critical reviews in food science and nutrition*, 60(2), 276–297.
- Marta, H., Cahyana, Y., Djali, M., & Pramafisi, G. (2022). The Properties, Modification, and Application of Banana Starch. *Polymers*, 14(15), 3092.
- Mathobo, V. M., Silungwe, H., Ramashia, S. E., & Anyasi, T. A. (2021). Effects of heat-moisture treatment on the thermal, functional properties and composition of cereal, legume and tuber starches-a review. *Journal of food science and technology*, 58(2), 412–426.
- Ottenhof, M. A., & Farhat, I. A. (2004). Starch retrogradation. *Biotechnology & genetic engineering reviews*, 21, 215–228.
- Punia, S., Sandhu, K. S., Dhull, S. B., Siroha, A. K., Purewal, S. S., Kaur, M., & Kidwai, M. K. (2020). Oat starch: Physico-chemical, morphological, rheological characteristics and its applications - A review. *International journal of biological macromolecules*, 154, 493–498.
- Raigond, P., Ezekiel, R., & Raigond, B. (2014). Resistant starch in food: a review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 95(10), 1968–1978.
- Sajilata, M. G., Singhal, R. S., & Kulkarni, P. R. (2006). Resistant Starch-A Review. *Comprehensive reviews in food science and food safety*, 5(1), 1–17.

- Su, C., Zhao, K., Zhang, B., Liu, Y., Jing, L., Wu, H., Gou, M., Jiang, H., Zhang, G., & Li, W. (2020). The molecular mechanism for morphological, crystal, physicochemical and digestible property modification of wheat starch after repeated versus continuous heat-moisture treatment. *LWT*, 129, 109399.
- Subroto, E., Mahani, M., Indiarso, R., Yarlina, V. P., & Izzati, A. N. (2022). A mini review of physicochemical properties of starch and flour by using hydrothermal treatment. *Polymers*, 14(24), 5447.
- Tester, R. F., Karkalas, J., & Qi, X. (2004). Starch—composition, fine structure and architecture. *Journal of Cereal Science*, 39(2), 151–165.
- Vamadevan, V., & Bertoft, E. (2014). Structure-function relationships of starch components. *Starch - Stärke*, 67(1–2), 55–68.
- Wang, H., Zhang, B., Chen, L., & Li, X. (2016). Understanding the structure and digestibility of heat-moisture treated starch. *International journal of biological macromolecules*, 88, 1–8.
- Wang, S., Chao, C., Huang, S., & Yu, J. (2020). Phase transitions of starch and molecular mechanisms. In *Springer eBooks* (pp. 77–120).
- Wang, Y., Chen, L., Yang, T., Ma, Y., McClements, D. J., Ren, F., Tian, Y., & Jin, Z. (2021). A review of structural transformations and properties changes in starch during thermal processing of foods. *Food Hydrocolloids*, 113, 106543.
- Wang, Z., Wang, S., Xu, Q., Kong, Q., Li, F., Lu, L., Xu, Y., & Wei, Y. (2023). Synthesis and Functions of Resistant Starch. *Advances in nutrition* (Bethesda, Md.), 14 (5), 1131–1144.
- Wang, S., & Copeland, L. (2013). Molecular disassembly of starch granules during gelatinization and its effect on starch digestibility: a review. *Food & Function*, 4(11), 1564. <https://doi.org/10.1039/c3fo60258c>
- Xie, H., Gao, J., Xiong, X., & Gao, Q. (2018). Effect of heat-moisture treatment on the physicochemical properties and in vitro digestibility of the starch-guar complex of maize starch with varying amylose content. *Food Hydrocolloids*, 83, 213–221.
- Zabar, S., Shimoni, E., & Bianco-Peled, H. (2008). Development of Nanostructure in Resistant Starch Type III during Thermal Treatments and Cycling. *Macromolecular Bioscience*, 8(2), 163–170.
- Zhang, G., & Hamaker, B. R. (2009). Slowly Digestible Starch: Concept, mechanism, and proposed extended glycemic Index. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 49(10), 852–867.
- Zhang, Y., Dou, B., Jia, J., Liu, Y., & Zhang, N. (2023). A Study on the Structural and Digestive Properties of Rice Starch–Hydrocolloid Complexes Treated with Heat–Moisture Treatment. *Foods*, 12(23), 4241.