

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
PREHRAMBENO – TEHNOLOŠKI FAKULTET OSIJEK

PREDDIPLOMSKI STUDIJ PREHRAMBENE TEHNOLOGIJE

Ana Faletar

Glikemijski indeks i rezistentni škrob

završni rad

Osijek, 2015.

**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
PREHRAMBENO-TEHNOLOŠKI FAKULTET OSIJEK**

PREDDIPLOMSKI STUDIJ PREHRAMBENA TEHNOLOGIJA

Nastavni predmet

Funkcionalna hrana i dodaci prehrani

GLIKEMIJSKI INDEKS I REZISTENTNI ŠKROB

Završni rad

Mentor: doc. dr. sc. Ines Banjari

Studentica: Ana Faletar

MB: 3588/12

Mentor: doc. dr. sc. Ines Banjari

Predano (datum):

Pregledano (datum):

Ocjena:

Potpis mentora:

Glikemijski indeks i rezistentni škrob

Sažetak

Glikemijski indeks (GI) određene količine i vrste ugljikohidrata utječe na brzinu promjene koncentracije glukoze u krvi (GUK), a ta promjena povezana je s cijelim nizom bolesti kao što su dijabetes tipa 2, pretilost, metabolički sindrom i kardiovaskularne bolesti. Porast GUK nije određen samo GI neke hrane nego i količinom ali i vrstom ugljikohidrata u toj hrani. Jedan od glavnih izvora ugljikohidrata u svakodnevnoj prehrani ljudi (25 – 50 % ukupnog energetskeg unosa) predstavlja škrob koji dolazi iz hrane biljnog podrijetla. Proizvodnja i potrošnja škroba u svijetu je u stalnom porastu. Nativni škrob koji se proizvodi izoliranjem iz biljnih materijala (najčešće kukuruza, tapioke, pšenice, krumpira i riže) ima ograničenu primjenu zbog određenih nedostataka koji se rješavaju kemijskim, fizikalnim i enzimskim postupcima modifikacije škroba. Prema probavljivosti škrob se dijeli u tri skupine, od kojih je s aspekta utjecaja na zdravlje najvažniji rezistentni škrob. Ova se frakcija škroba ne razgrađuje u tankom crijevu i nerazgrađena odlazi u debelo crijevo, gdje se fermentacijom pomoću crijevne mikroflore prevodi u kratkolančane masne kiseline (octena, propionska, maslačna), CO₂, vodik i kod nekih pojedinaca metan. Rezistentni škrob ima veliki potencijal u prehrambenoj industriji zbog utvrđenog povoljnog učinka na glikemiju (niži GI hrane) i smanjenog rizika za cijeli niz bolesti (npr. dijabetes tipa 2, kardiovaskularne bolesti, pretilost i karcinom debelog crijeva).

Ključne riječi: glikemijski indeks, metabolizam glukoze, rezistentni škrob, utjecaj na zdravlje, prehrambena industrija

Glycaemic index and resistant starch

Summary:

Glycaemic index (GI) of a certain quantity and type of carbohydrate affects the rate of change of glucose concentration, which correlates with type 2 diabetes, obesity, metabolic syndrome and cardiovascular disease. The increase in blood glucose is not determined only by the GI of a certain food, but also the amount and the type of carbohydrate. One of the main sources of carbohydrates in a daily diet (25 - 50% of total energy intake) represents starch coming from plant foods. Production and consumption of starch in the world continuously rises. The native starch, which is produced by isolation from plant material (typically corn, tapioca, wheat, potato, and rice), has limited use due to certain disadvantages solved by chemical, physical and enzymatic methods of starch modification. According to its digestibility, starches are divided into three groups, out of which the most interesting from the aspect of health has resistant starch. This fraction of starch is not digested in the small intestine, but undigested enters the colon, where it is fermented by the intestinal microflora and converted into short chain fatty acids (acetic, propionic, butyric), CO₂, hydrogen and in some individuals to methane. Resistant starch has great potential in food industry because of the favourable effect on glycaemia (lowers GI of foods) and reduced risk for a number of diseases (e.g. type 2 diabetes, cardiovascular disease, obesity, and colorectal cancer).

Key words: glycaemic index, glucose metabolism, resistant starch, health impact, food industry

Sadržaj

1. Uvod.....	5
2. Metabolizam glukoze	8
2. 1. Glikoliza.....	9
2. 2. Glukoneogeneza	10
3. Glikemijski indeks, glikemijski odgovor i glikemijsko opterećenje.....	11
4. Škrob.....	13
4. 1. Postupci modifikacije škroba	14
4. 2. Rezistentni škrob.....	14
5. Primjena glikemijskog indeksa u prehrambenoj industriji.....	17
6. Literatura	19

1. Uvod

Koncept glikemijskog indeksa (eng. Glycaemic Index, GI) je uveden s ciljem prepoznavanja fizioloških dimenzija kvalitete ugljikohidrata i njihove podjele. Razvijen je kao odgovor na kritične i specifične potrebe upravljanja dijabetesom dok se kasnije razvio ka općem prehrambenom interesu (Wolever, 2006.).

Kratkoročni učinci GI prehrambenih proizvoda, poput postprandijalnog metaboličkog odgovora (nakon obroka), sitosti, tjelesnih sposobnosti, fizioloških funkcija, su nizom istraživanja prepoznati kao važni za dugoročne ishode, kao npr. povezanost sa rizikom za krvožilne bolesti, dijabetes i pretilost. Ipak, GI još je uvijek predmet rasprave te su potrebni vodiči u pogledu prerade hrane, prehrambenih preporuka, ciljane populacije i javnog načina korištenja koncepta GI preko zdravstvenih stručnjaka i stručnjaka u sektoru obrazovanja. Na GI hrane mogu utjecati fizikalna i kemijska svojstva hrane, uz mogućnost velike individualne varijabilnosti prema glikemijskom odgovoru. Međutim, smatra se kako karakteristike poput dobi, spola, indeksa tjelesne mase i nacionalnosti ne utječu na GI (Marić, 2014.; Karas, 2014.).

GI se može definirati i kao povezanost inkrementalne ili ukupne površine koja se dobije ispod krivulje kao odgovor β -glukoze testirane hrane (eng. iAUC, Incremental Area Under the blood glucose Curve for the tested meal) koja sadrži 50 grama slobodnih ugljikohidrata te ukupne površine koja se dobije kao odgovor β -glukoze standardne test hrane (eng. iAUCS, Incremental Area Under the blood glucose Curve for the Standard meal). Važan je parametar kvalitete hrane koji služi za usporedbu hiperglikemijskog efekta testirane hrane sa čistom glukozom ili nekom drugom hranom koja se koristi kao standard. Koncept je zasnovan na različitom odgovoru GUK nakon unosa iste količine ugljikohidrata iz različite vrste hrane te samim time mogućih implikacija ovih različitosti na zdravlje (Banjari i Čačić Kenjerić, 2015.)

Prema rezultatima dobivenim ispitivanjem GI hrana se može podijeliti u tri kategorije (**Tablica1**).

Tablica 1 Preporučene kategorije glikemijskog indeksa (GI) (ISO 26 642, 2010.)

Razina iAUC	Glikemijski indeks (GI)
Niska	GI \leq 55
Srednja	70 \geq GI > 55
Visoka	GI > 70

Međunarodne tablice GI (**Tablica 2**) iz 2008. godine sadrže gotovo 2000 različitih vrsta namirnica i njihovih vrijednosti GI.

Tablica 2 Međunarodne tablice vrijednosti glikemijskog indeksa (Atkinson i sur., 2008.)

Namirnica	GI	Namirnica	GI
ŽITARICE		ZASLAĐIVAČI	
Kukuruz	78	Med	77
Pšenični bijeli kruh	100	Fruktoza	27
Špageti	50	Saharoza	95
Raženi kruh	40	Laktoza	65
Bijela riža	90	GRICKALICE	
Zobene pahuljice	40	Čokolada	84
Muesli	80	Crna čokolada (>70% kakao)	25
MLIJEČNI PROIZVODI		Chips	77
Punomasno mlijeko	39	Keksi	90
Obrano mlijeko	46	Krekeri, pšenični	99
Jogurt	20	Rižini keksi	123
Voćni jogurt	47	VOĆE	
Sladoled	84	Jabuke	53
POVRĆE		Marelice	80
Mrkva	66	Banane	73
Kuhani krumpir	81	Smokve	85
Pome frites	107	Kivi	74
Grah	39	Mango	80
Grašak	68	Naranče	59
Soja, kuhana	25	Dinje	91
Sojino mlijeko	50	Jagode	56
Proso	101	Breskve, konzervirane	67
Pšenične klice	59	Kruške	54

Kod zdravih osoba mješoviti obrok utječe na normalan porast GUK te izaziva lučenje inzulina iz gušterače kako bi se razina GUK vratila na osnovnu (bazalnu) razinu. Amplituda porasta GUK određuje količinu izlučenog inzulina. Metabolički poremećaji vode k poremećenom (nedostatnom) ili nepostojećem izlučivanju inzulina, što je dovelo do toga da se predlaže

odabir ugljikohidrata iz hrane sa niskim GI što može pozitivno utjecati na stanja povezana sa lošom kontrolom GUK (Karas, 2014.).

GI nije pokazatelj koliko neka vrsta hrane povećava GUK, nego je pokazatelj u kojoj mjeri dostupni ugljikohidrati podižu razinu GUK. Prvotno je planirano da se GI trebao odnositi na hranu sa visokim udjelom ugljikohidrata poput kruha i žitarica. Problem nastaje kada se u obzir uzme proizvod koji sadrži znatnu količinu energije koja potječe od masti i proteina poput pločica koji služe kao zamjenski obroci, mliječnih proizvoda ili orašastih plodova. Na slabiji glikemijski odgovor mogu utjecati velike količine masti i proteina iz hrane zbog slabijeg izlučivanja inzulina ili pražnjenja želuca, a ne zbog osnovne prirode ugljikohidrata. Stoga, nedostupni ili neglikemijski ugljikohidrati trebaju biti isključeni iz porcija koje sadrže 50 grama ugljikohidrata jer po definiciji ovi ugljikohidrati ne podižu GUK (Marić, 2014.; Serdarušić, 2015.).

U nedostupne ili djelomično nedostupne ugljikohidrate ubrajamo rezistentni škrob, modificirani škrob, nedostupne oligosaharide (inulin i fruktooligosaharidi), polidekstrozu i šećerne alkohole (poliole). Često je nemoguće izmjeriti količinu ugljikohidrata koja se apsorbira u tankom crijevu. Glikemijski odgovor obroka određen je različitim individualnim čimbenicima poput inzulinske osjetljivosti, funkcije β -stanica gušterače, gastrointestinalne pokretljivosti, tjelesne aktivnosti, dnevnih varijacija metaboličkih parametara, i sl. (Karas, 2014.). Osim toga čimbenici koji utječu na promjenu GI mogu biti:

- a) količina ugljikohidrata,
- b) priroda monosaharida (glukoze, fruktoze, galaktoze),
- c) priroda škroba (amiloze, amilopektina, rezistentnog škroba),
- d) način kuhanja i procesiranja hrane (stupanj želatinizacije škroba, oblik hrane, veličina čestica, stanična struktura),
- e) druge komponente iz hrane (masti i proteini, prehrambena vlakna, antinutrijenti, organske kiseline) (Karas, 2014.).

2. Metabolizam glukoze

Ugljikohidrati koji se nalaze u prehrani ljudi mogu se, prema stupnju polimerizacije, klasificirati kao: monosaharidi (izgrađeni od jedne jedinice šećera), disaharidi (2 jedinice), oligosaharidi (od 3 do 10 jedinica) i polisaharidi (više od 10 jedinica). Međutim, u probavnom sustavu ljudi moguća je jedino apsorpcija monosaharida. Prema tome, kako bi podigli nivo razine GUK di-, oligo- i polisaharidi prvo se moraju putem probave razgraditi na njihove sastavne dijelove ili monosaharide. Većina probavljivih ugljikohidrata koji su uobičajeno konzumirani u prehrani sastoje se od saharoze (glukoze i fruktoze), laktoze (glukoze i galaktoze) te polisaharida škroba (polimera glukoze). Prema tome, većina dostupnih ugljikohidrata u prehrani apsorbira se kao glukoza (od 70 do 85 %) dok je ostatak najčešće mješavina fruktoze i galaktoze. Fruktoza i galaktoza se u jetri prevode u glukozu te zbog toga ne povećavaju značajno razinu GUK (Karas, 2014.).

Glavni metabolički putevi razgradnje i sinteze ugljikohidrata kod ljudi su:

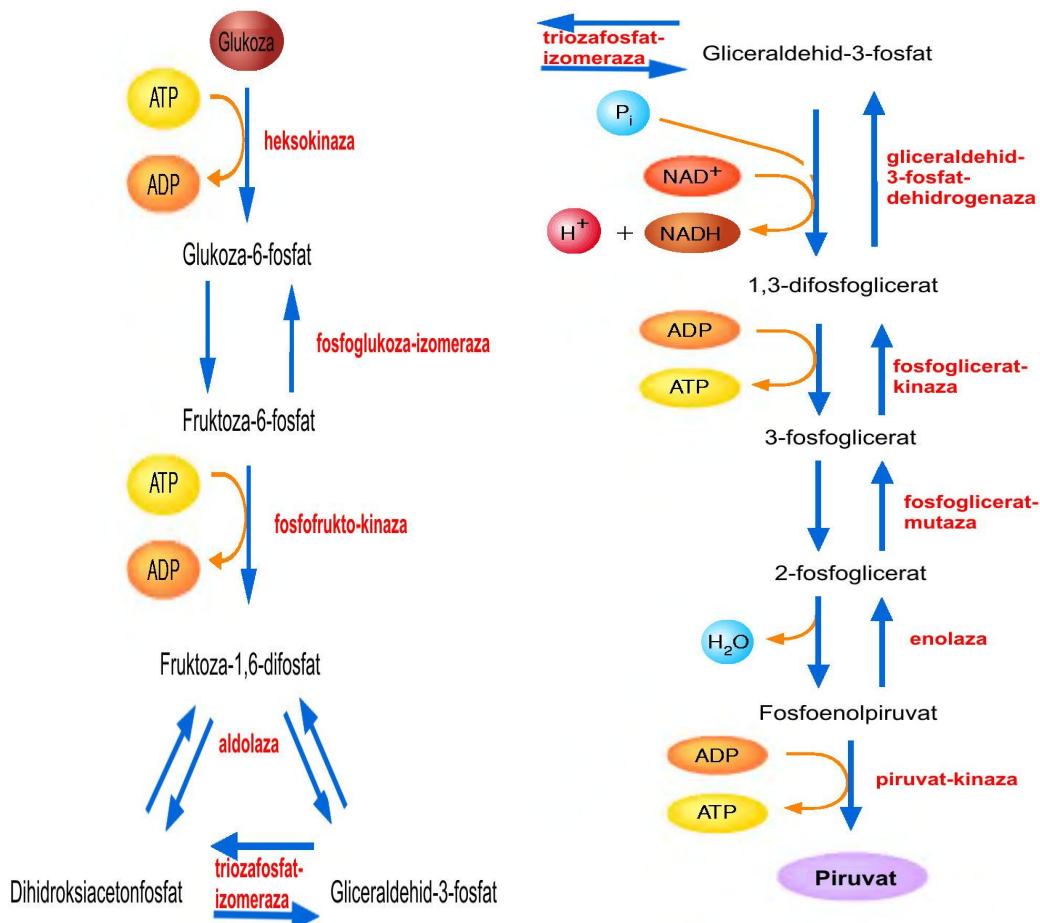
- 1) glikoliza ili razgradnja glukoze,
- 2) glukoneogeneza ili biosinteza glukoze iz neugljikohidratnih izvora,
- 3) put pentozna fosfata ili sinteza pentozna iz glukoze,
- 4) glikogeneza ili sinteza glikogena i
- 5) glikogenoliza ili razgradnja glikogena (Strelec, 2013.).

Ovi su metabolički putevi međusobno povezani zajedničkim međuproduktima, a odvijaju se u stanici ovisno o njezinim energetske potrebama (Strelec, 2013.).

U jetrenim stanicama nalaze se enzimi koji pomažu pretvorbe između monosaharida glukoze, fruktoze i galaktoze. Nadalje, slijed je reakcija takav da je konačni proizvod gotovo isključivo glukoza kad jetra otpušta monosaharide natrag u krv. Jednostavno rečeno, više od 95 % svih monosaharida koji kolaju krvlju nalazi se u krvi kao konačni oblik pretvorbe, odnosno kao glukoza (Karas, 2014.).

2. 1. Glikoliza

Glikoliza je metabolički put razgradnje glukoze do piruvata uz istovremeno nastajanje osnovne energetske jedinice, adenozin trifosfata (ATP). Odvija se u citoplazmi stanice, a svrha ciklusa je razgradnja glukoze kako bi se dobio ATP i druge preteče za sintezu staničnih tvari (**Slika 1**). Predstavlja „predigru“ ciklusu limunske kiseline i lancu prijenosa elektrona, kojima u konačnici nastaje ATP. Razgradnja do piruvata se odvija kroz 10 različitih reakcija (Strelec, 2013.).



Slika 1 Proces glikolize (Strelec, 2013.)

2. 2. Glukoneogeneza

Glukoneogeneza predstavlja metabolički put biosinteze glukoze iz neugljikohidratnih preteča. Glavnina reakcija odvija se u citoplazmi stanice, a svrha ciklusa je sintetizirati glukozu u jetri za potrebe opskrbe mozga i mišića glukozom. U organizmu se odvija kada se potroše rezerve glukoze (pri duljem gladovanju) ili prilikom težeg tjelesnog napora (pri čemu nastaje velika količina laktata). Proces se odvija većim dijelom u jetri (90 %), a manjim dijelom u bubrezima (10 %).

Glavne neugljikohidratne preteče za sintezu glukoze su:

- a) laktat iz mišića,
- b) aminokiseline (čijom razgradnjom nastaju piruvat ili oksaloacetat) i
- c) glicerol (koji nastaje razgradnjom masti) (Strelec, 2013.).

Približno 60 % aminokiselina iz tjelesnih bjelančevina može se lako pretvoriti u ugljikohidrate, a preostalih 40 % teže ili nikako, zbog njihove kemijske građe. Deaminacijom i uz nekoliko jednostavnih preobrazbi u glukozu se mogu pretvoriti mnoge aminokiseline. Sličnim pretvorbama glukoza i glikogen mogu nastati i od glicerola. Važno je napomenuti kako je većina reakcija u glukoneogenezi zapravo obrat reakcija iz glikolize (Strelec, 2013.).

3. Glikemijski indeks, glikemijski odgovor i glikemijsko opterećenje

Izvorno je GI predstavljao indeks raspoloživih ugljikohidrata iz hrane koji imaju mogućnost povećanja GUK. Monro je 2002. godine pokazao da GI ne ukazuje na glikemijski učinak hrane. S pravom je istaknuo kako je GI svojstvo ugljikohidrata u hrani, a ne svojstvo hrane te da je GI vrijednost koja je neovisna o veličini porcije hrane ili o količini konzumiranih ugljikohidrata (Karas, 2014.).

Često dolazi do pogrešnog korištenja GI i to u kontekstu „glikemijskog odgovora“ (eng. Glycaemic Response, GR), a posebno se to odnosi na mješovite obroke ili za namirnice koje sadrže nedostupne ugljikohidrate. Primjerice, u kontekstu mješovitih obroka to bi se odnosilo na „dodavanje masnoća na kruh“, što smanjuje GI. U tom slučaju točna terminologija bila bi kako „dodavanje masnoća na kruh“ smanjuje GR. Poznato je da masti i proteini mogu utjecati na GR, ali ti učinci nemaju nikakve veze sa GR ugljikohidrata. Osim toga, učinci dodavanja masti i proteina na GR razlikuju se kod zdravih ispitanika, ispitanika sa dijabetesom tipa 1 i dijabetesom tipa 2. S druge strane, GI pojedinačnih ugljikohidrata iz hrane je isti kod svih ovih različitih tipova ispitanika. Dakle GI mješovitih obroka treba izračunati iz vrijednosti GI svake pojedine namirnice dok GR trebaju biti izmjereni *in vivo* (Karas, 2014.).

Neki istraživači ustraju u korištenju termina GI kako bi opisali činjenicu da hrana koja sadrži male količine slobodnih ugljikohidrata ima nizak GR, što je npr. slučaj kod povrća. To je neprimjereno jer je moguće već iz deklaracije na hrani vidjeti kako hrana ima malu količinu ugljikohidrata ili ih uopće nema te samim time neće podizati GUK. Iz deklaracije hrane također možemo vidjeti koliko nedostupnih ugljikohidrata (koji prema definiciji ne podižu razinu GUK i nisu dostupni tijelu kao glukoza) hrana sadrži. Hrana kojoj su neki od slobodnih ugljikohidrata zamijenjeni sa nedostupnim ugljikohidratima će izazivati niži GR na istoj razini ukupnih ugljikohidrata, ali to se može zaključiti i sa deklaracije jer je količina dostupnih ugljikohidrata manja. Pojmovi GI i GR ne bi trebali izazvati zabune zbog toga što ovi entiteti imaju različita i matematička i statistička svojstva. Teoretski GR prilagođava područje GR za svaki pojedinačni odgovor na referentnu hranu čime se ispravljaju varijacije između ispitanika (Karas, 2014.).

Porast GUK nije određen samo GI već i količinom ugljikohidrata u namirnici. Glikemijsko opterećenje (eng. Glycaemic Load, GL) produkt je GI i sadržaja ugljikohidrata pa predstavlja

kvalitetu i kvantitetu ugljikohidrata u pojedinoj namirnici. Jedna jedinica GL jednaka je glikemijskom učinku od 1 grama ugljikohidrata iz bijelog kruha, koja se uzima kao referentna mjera. Hrana čiji je $GL \leq 10$ klasificira se kao hrana sa niskim GL, dok se hrana čije je $GL > 20$ klasificira kao hrana sa visokim GL (**Tablica 3**). Smatra se kako GL pokazuje relativniji i precizniji učinak hrane na razinu GUK (Marić, 2014.).

Tablica 3 Kategorije glikemijskog opterećenja (Atkinson i sur., 2008.)

Razina iAUC	Glikemijsko opterećenje (GL)
Niska	$GL \leq 10$
Srednja	$20 \geq GL > 10$
Visoka	$GL > 20$

Wolever (2006.) navodi kako se matematički GL hrane računa prema sljedećem izrazu:

$$GL = \frac{GI * \text{sadržaj ugljikohidrata (g)}}{100} \quad (1)$$

4. Škrob

Škrob je polisaharid izgrađen od jedinica glukoze povezanih u dva polimerna lanca: amilozu i amilopektin. Amiloza je pretežno ravnolančasti polimer u kojem su glukoze jedinice povezane α -1,4 glikozidnom vezom. Postoje mjesta grananja, ali su vrlo rijetka, tako da amiloza zadržava svojstva ravnolančastog polimera i uvija se u strukturu dvostruke uzvojnice (Šubarić i sur., 2012.).

Amilopektin je, nasuprot tome, jako razgranati polimer u kojem su jedinice glukoze, osim α -1,4-vezama u strukturi ravnog lanca, vezane i α -1,6 glikozidnim vezama na mjestima grananja. Amiloza i amilopektin radijalno se „slažu“ u škrobnu granulu, čiji oblik i veličina ovise o botaničkom podrijetlu škroba. Udio amiloze u škrobu najčešće se kreće od 20 do 30%, no postoje i škrobovi koji sadrže manje od 15% amiloze (tzv. voštani škrobovi) ili više od 40% amiloze (tzv. visokoamilozni škrobovi). U škrobnoj se granulaciji, osim amiloze i amilopektina, nalazi i vrlo mali udio lipida, vezanih na površini granule ili u komplekse s amilozom, i proteina, koji se nalaze uglavnom u sastavu enzima (Šubarić i sur., 2012.).

Škrob je produkt fotosinteze biljaka. Primarni proizvod fotosinteze jest glukoza, ali ona se kondenzira u netopljivi škrob kako se osmotski tlak u stanici ne bi povećao. Preko noći škrob se postupno razgrađuje i transportira u druga tkiva te se tamo izgrađuju zrnca rezervnog škroba (u amiloplastima). Tijekom klijanja sjemenke, odnosno gomolja, te tijekom zrenja voća dolazi taj se škrob razgrađuje te se nastali produkti koriste kao izvor energije i ugljika. Taj je škrob i glavni izvor ugljikohidrata i energije u ljudskoj prehrani (Šubarić i sur., 2012.).

Škrob se industrijski proizvodi izoliranjem iz biljnih materijala – najčešće kukuruza, tapioke, pšenice, nešto manje krumpira i riže. Nativni škrob, kakav se dobije izoliranjem, ima međutim vrlo ograničenu primjenu u industriji zbog ograničenja u svojstvima – ponajprije problema sa želatinizacijom, retrogradacijom, stabilnošću tijekom miješanja pri visokim temperaturama i u kiselim uvjetima, pa se provodi modificiranje škroba fizikalnim, kemijskim ili enzimskim postupcima, odnosno njihovom kombinacijom (Šubarić i sur., 2012.).

4. 1. Postupci modifikacije škroba

Razlikujemo dva tipa postupaka modifikacije škroba: fizikalne i kemijske.

Fizikalna modifikacija škroba može se primijeniti kao zaseban proces ili u kombinaciji s kemijskim postupcima modifikacije. Najčešće primjenjivani postupci fizikalne modifikacije jesu preželatinizacija, obrada škroba toplinom i vlagom, tzv. bubrenje škroba i ekstruzija (Šubarić i sur., 2012.).

U kemijske postupke modifikacije škroba ubrajaju se esterifikacija, eterifikacija, kationizacija, oksidacija i umrežavanje te kombinacije navedenih postupaka (Šubarić i sur., 2012.).

4. 2. Rezistentni škrob

Razgradnja škroba koji čini 25 – 50 % ukupnog energetskog unosa, prolaskom kroz tanko crijevo ne podliježe potpunoj razgradnji. Značajan dio škroba nerazgrađen odlazi u debelo crijevo, gdje se fermentacijom pomoću crijevne mikroflore prevodi u kratkolančane masne kiseline (octena, propionska, maslačna), CO₂, vodik i kod nekih pojedinaca metan (Jenkins i Kendall, 2000., Wolever, 2006.).

Prema probavljivosti škrob dijeli u 3 skupine:

1. *lako ili brzo probavljivi škrob (RDS, eng. rapidly digestible starch)*, koji se enzimskom aktivnošću razgrađuje na jedinice glukoze u roku od 20 minuta, a nalazi se u kuhanoj škrobnoj hrani u amorfnom ili disperznom obliku (npr. pire krumpir);
2. *sporo ili teško probavljivi škrob (SDS, eng. slowly digestible starch)*, koji se također potpuno razgrađuje u tankom crijevu, no mnogo sporije (od 20 min do 1 h). Ovdje ubrajamo tzv. sirovi škrob kristalne strukture (pahuljice) i retrogradirani škrob u granularnom obliku (kuhana, pa ohlađena hrana, npr. krumpir salata);
3. *rezistentni škrob (RS, eng. resistant starch)*, frakcija škroba koja se djelovanjem α -amilaze i pululunaze ne razgrađuje ni nakon 120 minuta. Popularna definicija rezistentnog škroba jest „škrob koji se ne probavlja u tankom crijevu, nego nerazgrađen prelazi u debelo crijevo u kojem podliježe fermentaciji“ (Šubarić i sur., 2012.).

Brojne studije na štakorima, miševima i ljudima pokazale su da rezistentni škrob ima svojstva vlakana. Iako ne utječe na tjelesnu masu, RS povećava volumen stolice. Dok kemijska ispitivanja pokazuju da se rezistentni škrob ubraja u netopljiva vlakna, fiziološki učinci pokazuju svojstva topljivih vlakana jer u debelom crijevu, za razliku od netopljivih vlakana, RS

podliježe fermentaciji. Produkt su fermentacije kratkolančane masne kiseline, organske kiseline s 1 do 6 ugljikovih atoma (ponajprije octena, propionska i maslačna), koje imaju pozitivan utjecaj na rad crijeva (Šubarić i sur., 2012.).

Kratkolančane masne kiseline u crijevima naime potiču apsorpciju kalcija i magnezija, te pozitivno utječu na rast crijevne mikroflore i metabolizam žučnih soli, odnosno smanjenje žučnog kamenca. Ujedno smanjuju i pH crijeva te tako mijenjaju mikrobnu populaciju djelujući prebiotički. Stoga se smatra da RS pomaže u prevenciji raka debeloga crijeva (Šubarić i sur., 2012.).

Kako RS stimulira rast bakterija *Bifidobacterium*, *Lactobacillus*, *Eubacterium*, *Bacteroides*, *Enterobacter* i *Streptococcus*, ujedno inhibira rast sojeva *Escherichia coli*, *Clostridium difficile* i anaerobnih bakterija koje reduciraju sumpor i sulfat. Osim toga, potiče i obnavljanje sluznice crijeva, te tako pomaže u liječenju upalnih procesa. Robertson i sur. (2003.) i Yamada (2005.) su pokazali kako prehrana s povećanim udjelom RS-a mijenja osjetljivost inzulina i metabolizam masnih kiselina nakon 24 sata, što posljedično dovodi do smanjenja razine glukoze u krvi. Za to smanjenje djelomično je odgovoran i povećan udio propionata koji, poput inzulina, stimulira glikolizu aktivirajući glikogen sintazu i smanjujući glukoneogenezu. Opskrba jetre masnim kiselinama, β -oksidacija i ketogeneza također se smanjuju pojačanim unosom RS-a. Sve navedeno pozitivno utječe na očuvanje zdravlja, a postoje i mogućnosti primjene RS-a u dijetetičkoj terapiji dijabetesa i smanjenja žučnog kamenca (Jenkins i Kendall, 2000.).

U komercijalnoj proizvodnji rezistentnog škroba (RS tip 4) kao sirovina se najčešće koristi škrob s visokim udjelom amiloze zbog svoje sklonosti retrogradaciji. Od početka 1990-ih, kada je započela komercijalna proizvodnja RS-a, patentirani su različiti postupci modifikacije, od retrogradacije škroba i enzimske hidrolize bočnih lanaca uz ekstruziju ili sušenje do fosforilacije i zagrijavanja škroba u prisutnosti anorganskih soli. Esterifikacija limunskom kiselinom, uzastopna sinereza i pirokonverzija također se koriste za dobivanje rezistentnog škroba. Cilj modifikacije jest dobiti škrob ne samo otporan na enzimsku hidrolizu nego i stabilan pri povišenoj temperaturi, pri različitim udjelima vode i tijekom skladištenja. Iako se rezistentni škrob može proizvesti i iz banane, brašna prosa, procesirane riže i prosa, škroba krumpira, tapioke, pšenice, škroba manga ili graška, najbolji prinosi ostvaruju se korištenjem kukuruznog škroba s visokim udjelom amiloze kao polazne sirovine (Šubarić i sur., 2012.).

Rezistentni škrobovi dobiveni modifikacijom primjenjuju se prije svega u pekarskoj industriji za dobivanje kruha i ostalih pekarskih proizvoda kako bi im se povećao udio vlakana i

smanjila energetska vrijednost. „Obična“ vlakna naime u proizvodnji mogu stvarati probleme jer vežu velike količine vode. Izvori vlakana mogu sadržavati i ulja i masti koja ograničavaju trajnost proizvoda u koje su dodani. Rezistentni škrob veže manje vode od „običnih“ vlakana, pa se za nju ne natječe s ostalim sastojcima hrane. Time se olakšava prerada jer se smanjuje ljepljivost proizvoda. Osim toga, granule rezistentnog škroba male su, pa se on lako uklapa u matriks namirnice. Hrana proizvedena uz dodatak rezistentnog škroba može se deklarirati kao hrana s visokim udjelom vlakana. Zbog niske kalorijske vrijednosti RS se može koristiti kao sredstvo za povećanje volumena u proizvodima sa smanjenim udjelom šećera ili masti. U odnosu na proizvode s dodatkom „običnih“ vlakana proizvodi s dodatkom RS-a imaju bolji okus, izgled i teksturu. Osim u pekarskoj industriji, RS se može koristiti i u proizvodnji majoneze, margarina, kolača, keksa, pahuljica za doručak, tjestenine, napitaka za sportaše, termoreverzibilnih gelova, gelova visoke čvrstoće, vodonepropusnih filmova, kao sredstvo za zgušnjavanje i želiranje itd. (Šubarić i sur., 2012.).

Upotreba rezistentnog škroba može imati prednosti i u proizvodnji hrane za osobe s posebnim dijetetskim potrebama. Rezistentni škrob uzrokuje mali odgovor sekrecije inzulina, što je povoljno u prehrani dijabetičara. Isto tako pacijenti koji imaju potrebu za hranom specifične teksture (parenteralna i enteralna prehrana) često ne unose dovoljne količine vlakana. Rezistentni škrob može se koristiti kako bi se u takvim namirnicama povećao udio vlakana bez utjecaja na okus i teksturu proizvoda (Šubarić i sur., 2012.).

5. Primjena glikemijskog indeksa u prehrambenoj industriji

Usljed velikog broja istraživanja u području GI i njegovog utjecaja na različite zdravstvene aspekte, interes javnosti je rastao. Oseбно visoki interes je u području utjecaja na kontrolu tjelesne mase. Međutim, povećani interes je rezultirao i brojnim nepravilnim interpretacijama i zabudama te se danas smatra kako se pojam GI danas koristi neprimjereno (Wolever, 2006.).

Nakon što je utvrđeno kako prehrambena vlakna imaju mogućnost smanjenja GR, što je povezano s njihovom viskoznošću, započela je usporedba hrane za koju je smatrano kako sadrži viskozna i neviskozna prehrambena vlakna. S obzirom da se guar dobivao iz mahunarki, najprije su se proučavale mahunarke kao izvor viskoznih vlakana te je utvrđeno kako izazivaju niži GR od druge hrane koja od ugljikohidrata pretežno sadrži škrob. Nizak GR dobiven iz soje i leće in vivo bio je povezan sa puno sporijom probavom in vitro. Nakon toga provedena je usporedba GR različitih cjelovitih žitarica bogatih vlaknima kao i onih kojima je smanjen udio vlakana, sa kruhom, rižom, špagetima te je utvrđena razlika između posljednja tri dok nije bilo razlike kod cjelovitih žitarica. Rezultat je bio prilično čudan i istraživači su htjeli usporediti GR s velikim brojem drugih namirnica. Kao rezultat toga nastao je GI (Marić, 2014.; Karas, 2014.; Serdarušić, 2015.).

Tablice GI sastavljene iz znanstvene literature ključne su u poboljšanju kvalitete istraživanja koja se bave poveznicom između GI, GL i zdravlja. Za GI je dokazano kako ima veću ulogu u prehrani nego kemijska klasifikacija ugljikohidrata (kao jednostavnih i složenih, šećera i škroba te dostupnih ili nedostupnih). Revidirane Međunarodne tablice GI (**Tablica 2**) iz 2008. godine sadrže gotovo 2000 različitih vrsta namirnica i njihovih vrijednosti GI (Karas, 2014.; Marić, 2014.; Serdarušić, 2015.).

Bolja informiranost potrošača bi se postigla označavanjem hrane i drugih prehrambenih proizvoda sa oznakom za GI, što bi u konačnici olakšalo odabir i kupovinu istih. Informacija bi svakako trebala sadržavati i podatak o minimalnoj količini ugljikohidrata u prosječnoj porciji hrane. Ostala važna pitanja su vrijednosti GI za složene prehrambene proizvode, informacije oko načina na koji se hrana konzumira, označavanje svježih hrane kao što je voće i povrće, individualne varijacije, varijacije od osobe do osobe u reakciji na GI, varijacije u sastavu prehrane i sl. Edukacija javnosti kako razumjeti i koristiti GI veliki je izazov (Serdarušić, 2015.).

Globalno gledajući, samo mali broj proizvođača stavlja oznake za GI na deklaracije i stoga ne čude istraživanja koja pokazuju kako vrijednosti za GI gleda samo 7 % ispitanika. Međutim zbog svijesti o važnosti GI u Australiji čak 82 % ispitanika na deklaraciji pregledava vrijednosti za GI. U Europi i Sjedinjenim Američkim Državama još nisu postignuti ovakvi rezultati jer se smatra kako bi poruke o upravljanju GUK mogle zbuniti potrošače. Za osobe oboljele od dijabetesa označavanje prehrambenih proizvoda, u vidu hrane sa niskim GI, moglo bi biti korisno međutim značaj GI za zdravu populaciju još se uvijek čini nejasnim te se ne može sa potpuno točnom sigurnošću reći u kojoj bi mjeri označavanje hrane pridonijelo javnom zdravlju. Sve veće zanimanje potrošača i zahtjevi koje stavljaju pred proizvođače hrane bi moglo dovesti do apsolutnog deklariranja GI na proizvodima, kao što je slučaj u Australiji. U Australiji je označavanje GI na prehrambenim proizvodima započelo 2002. godine, ali sve više država poput Francuske, država Ujedinjenog Kraljevstva ili Skandinavije, slijedi njihov primjer (Banjari i Čačić Kenjeric, 2015.; Marić, 2014.; Karas, 2014.).

6. Literatura

1. Atkinson FS, Foster-Powell K, Brand-Miller JC: International Tables of Glycemic Index and Glycemic Load Values. *Diabetes Care*, 31:2281-2283, 2008.
2. Banjari I, Čačić Kenjeric D: *Funkcionalna hrana i prehrambeni dodaci - Propisi za vježbe*. Prehrambeno-tehnološki fakultet Osijek, 2015.
3. International Standards Organization: Food products – Determination of the glycaemic index (GI) and recommendation for food classification. ISO 26 642:2010.
4. Jenkins DJA, Kendall CWC: Resistant starches. *Current opinion in Gastroenterology*, 16:178-183, 2000.
5. Karas D: Određivanje glikemijskog indeksa pripravaka za oporavak nakon treninga („recovery“ pripravaka). Diplomski rad. Prehrambeno-tehnološki fakultet Osijek, 2014.
6. Marić M: Određivanje glikemijskog indeksa kukuruznih snack proizvoda s dodacima različitih nusproizvoda prehrambene industrije. Diplomski rad. Prehrambeno-tehnološki fakultet Osijek, 2014.
7. Robertson MD, Currie JM, Morgan LM, Jewell DP, Frayn KN: Prior short-term consumption of resistant starch enhances postprandial insulin sensitivity in healthy subjects. *Diabetologia*, 46: 659-665, 2003.
8. Serdarušić N: Određivanje glikemijskog indeksa kukuruznih snack proizvoda s dodatkom tropa jabuke. Diplomski rad. Prehrambeno-tehnološki fakultet Osijek, 2015.
9. Strelec I: Prehrambena biokemija (ppt predavanja). Prehrambeno-tehnološki fakultet Osijek, 2013.
http://studenti.ptfos.hr/Diplomski_studij/Prehrambena_biokemija/PPT_prezentacije_pr edavanja_Office_2010/ [20.06.2015.]
10. Šubarić D, Babić J, Ačkar Đ: Modificiranje škroba radi proširenja primjene. *Radovi Zavoda za znanstveni i umjetnički rad u Požegi*, 1:247-258, 2012.
11. Yamada Y, Hosoya S, Nishimura S, Tanaka T, Kajimoto Y, Nishimura A, Kajimoto O: Effect of bread containing resistant starch on postprandial blood glucose levels in humans. *Bioscience, Biotechnology, Biochemistry*, 69 (3):559-566, 2005.
12. Wolever TMS: *Glycaemic index – A Physiological Classification of Dietary Carbohydrate*. Cabi Publishing, King's Lynn, UK, 2006.