

# DE GLYCEMISCHE INDEX VAN BROOD EEN COMPLEX GEGEVEN



**Dr. ir. F. VAN BOCKSTAELE,**  
**MSc T. HELLEMANS**

Laboratorium voor Graantechnologie,  
Universiteit Gent

Sommigen hanteren de glycemische index (GI) om bepaalde koolhydraatrijke voedingsmiddelen zoals brood van het menu te schrappen. Terecht of onterecht? **Er zijn nog veel onzekerheden.** Onder meer omdat de glycemische respons varieert in functie van verschillende en niet altijd te beheersen factoren.



## BEKNOPT

- Ondanks de algemene voedingsaanbevelingen wordt brood soms uit de maaltijd geweerd omwille van zijn hoge glycemische index.
- Er is geen eensgezindheid over het feit of het concept van de glycemische index praktisch bruikbaar is.
- De totale voeding is van invloed (bv. de maaltijdsamenstelling) maar ook productgebonden aspecten zoals de fysicochemische eigenschappen van zetmeel en andere aanwezige ingrediënten, de bereidings- en bewaaromstandigheden.
- Er zijn veel variaties mogelijk op de basisbereiding van brood door bijvoorbeeld bloem van andere graansoorten te gebruiken, door gist te vervangen door zuurdesem of door zaden, geplette korrels of andere ingrediënten zoals melk, suiker en vetstoffen toe te voegen. Dat kan tevens de glycemische respons van het brood beïnvloeden.

Zetmeelrijke producten zoals brood zijn onze belangrijkste bron van meervoudige koolhydraten en dragen bij aan de inname van oplosbare en onoplosbare voedingsvezels, eiwitten, vitamines en mineralen (1,2). Ze lijken echter aan populariteit te verliezen (3). Eenzijdige en vaak onterechte negatieve berichtgevingen, de glutenvrije hype en de toenemende aandacht voor koolhydraatarme diëten hebben dit waarschijnlijk versterkt. Brood wordt ook vaak zonder meer gecategoriseerd als een voedingsmiddel met een hoge glycemische index. Ook dat kan voor sommigen een reden zijn om het te beperken of zelfs volledig van het menu te schrappen.

### NUT VAN DE GLYCEMISCHE INDEX

Binnen de wetenschappelijke wereld is er geen overeenstemming over het nut van de GI in algemeen voedingsadvies. Studies hebben uitgewezen dat een dieet met een lage GI of GL nuttig kan zijn voor de gezondheid van mensen met een verstoord glucosemetabolisme. Het is tot op de dag van vandaag echter nog onduidelijk of dit ook voordelen biedt voor gezonde personen (8,43). De Hoge Gezondheidsraad heeft de GI in haar recent herziene voedingsaanbevelingen (2016) niet als evaluatiecriterium meegenomen voor koolhydraatrijke voedingsmiddelen (1). Ze heeft hierin wel bevestigd dat gezonde personen minimaal 50 tot 55 % van de energie-inname uit koolhydraten (hoofdzakelijk meervoudige) moeten halen (1).

## GLYCEMISCHE INDEX (GI)

De glycemische index rangschikt koolhydraatrijke voedingsmiddelen op basis van hun post-prandiale glycemische respons (4). Hiervoor wordt het bloedglucosegehalte opgevolgd in functie van de tijd na de inname van een hoeveelheid product dat 50 g verteerbare koolhydraten bevat. De GI van een product wordt bekomen door de oppervlakte onder de glycemische responscurve procentueel uit te drukken ten opzichte van die van een referentieproduct met een gelijkaardig koolhydraatgehalte (bv. een glucoseoplossing of wit brood) (5).

Voedingsmiddelen worden ingedeeld volgens hun GI:

- hoge GI = meer dan 70
- middelmatige GI = 70 tot 55
- lage GI = minder dan 55

## GLYCEMISCHE LADING (GL)

De glycemische lading is gebaseerd op de GI maar houdt tevens rekening met de hoeveelheid koolhydraten die een voedingsmiddel bevat (5).

Voedingsmiddelen worden ingedeeld volgens hun GL:

- hoge GL = meer dan 20
- middelmatige GL = 10 tot 20
- lage GL = minder dan 10

$GL = (GI/100) \times \text{verteerbare koolhydraten per portie (g)}$

Er zijn uitgebreide tabellen met GI- en GL-waarden voor meer dan 750 voedingsmiddelen beschikbaar (6,7).

## VARIATIES IN DE GLYCEMISCHE INDEX VAN VOEDINGSMIDDELEN

Er is evenmin eensgezindheid over het feit of het concept van de GI praktisch bruikbaar is. De glycemische respons van een voedingsmiddel is immers afhankelijk van verschillende en niet altijd te beheersen factoren. De totale voeding is van invloed (bv. de maaltijdsamenstelling) maar ook productgebonden aspecten. De bekomen waarden zijn tevens afhankelijk van de gebruikte methodologie (9). Voor producten met een schijnbaar vergelijkbare samenstelling zijn bovendien verschillende GI-waarden vastgesteld, mogelijk omwille van verschillende fysicochemische eigenschappen van de aanwezige ingrediënten, van de verwerkingscondities en/of de bewaarmomstandigheden. Verder verschilt de glycemische respons van persoon tot persoon en kan die bij dezelfde persoon ook variëren in functie van de tijd (10).

## BEPALING VAN DE GLYCEMISCHE RESPONS

Studies om de GL en GI van een voedingsmiddel te bepalen zijn arbeidsintensief en duur en vragen de medewerking van meerdere testpersonen gedurende langere tijd. Daarom wordt er steeds meer overgeschakeld van in vivo- naar in vitro-methodologieën. Bij die laatste wordt er in labo-omstandigheden een kleine hoeveelheid van een voedingsmiddel bij een gecontroleerde zuurtegraad en temperatuur afgebroken met behulp van enzymen (waaronder amyloglucosidasen). De vrijstelling van glucose tijdens de hydrolyse van zetmeel wordt opgevolgd in functie van de tijd en geeft een indicatie van hoe snel de afbraak plaatsvindt. Met deze in vitro-methode kunnen er verschillende fracties van verteerbaar zetmeel worden onderscheiden, namelijk snel verteerbaar, traag verteerbaar en resistent zetmeel, met elk specifieke kwaliteits- (bv. met betrekking tot de hardheid van brood) en gezondheidseigenschappen (11,12). Aan de hand van een zetmeelhydrolyse-index (HI) kan vervolgens de verwachte GI van het voedingsmiddel worden ingeschat. Hoewel de snelheid van zetmeelafbraak gerelateerd is aan de GI, zijn er echter in het lichaam zelf ook nog gastro-intestinale en postabsorptieve factoren, die de GI zullen beïnvloeden (13).

## VERTEERBAARHEID VAN ZETMEEL

Zetmeel is het opslagpolysaccharide bij planten met een complexe microstructuur (zie 'Wat is en hoe werkt tarwezetmeel?'). Om zetmeel verteerbaar te maken, is er een verhittingsstap nodig. Brood wordt gebakken om het aanwezige zetmeel beschikbaar te maken voor de spijsverteringsenzymen van de mens. Tijdens het bakproces gaat

de sterk geordende structuur van de zetmeelgranules verloren en komen de zetmeelcomponenten amylose en amylopectine deels beschikbaar. Deze verstijfseling of gelingering speelt onder meer een belangrijke rol in de structuurvorming van het broodkruim. Deze toestand is echter niet statisch. De zetmeelcomponenten trachten na het bakproces terug te keren naar hun oorspronkelijke kristallijne toestand (retrogradatie). Hierdoor worden ze opnieuw moeilijker afbreekbaar en ontstaat er een vorm van resistent zetmeel. Dat uit zich tevens als een verlies aan malsheid van het brood. Deze verschillende fasen, maar ook andere productcomponenten, kunnen de verteerbaarheid van brood en dus ook de glycemische respons ervan uitgedrukt in glycemische index beïnvloeden (19).

De enzymen die verantwoordelijk zijn voor de zetmeelafbraak in het lichaam zijn een groep van amyloglucosidasen die via het pancreatisch sap in de dunne darm worden uitgescheiden of die ter hoogte van het darmepitheel (in de microvilli) aanwezig zijn. De zetmeelmoleculen worden afgebroken tot glucosemoleculen die via de darmwand in het bloed worden opgenomen wat aanleiding geeft tot een verhoging van de bloedglucose- of bloedsuikerspiegel (10,17,18,19).

## BLOEM EN MEEL

Door vermalen en afscheiding van graankorrels bekomt men verschillende soorten bloem. De verschillende fracties worden vaak opnieuw samengevoegd tot de gewenste verhoudingen.

Het percentage van de graankorrel dat uiteindelijk terechtkomt in de bloem of het meel wordt bepaald door de uitmalingsgraad. Percentages van 70 tot 78 % zijn gangbaar voor witte bloem waarin weinig of geen zemelen aanwezig zijn. Volkorenmeel heeft een uitmalingsgraad van 100 %.

- **Witte bloem:** uitsluitend gewonnen uit het centrum van de tarwekorrel (het endosperm).

Het **endosperm** van een tarwekorrel (figuur 1) bestaat uit een complex netwerk van lipiden, eiwitten – zowel gluten- als niet-gluteneiwitten – en zetmeel. Zetmeel maakt ongeveer 75 tot 80 % uit van het drooggewicht van tarwebloem (42). Witte bloem wordt gebruikt om wit brood te bakken.

- **Meel:** verschillende maalfracties

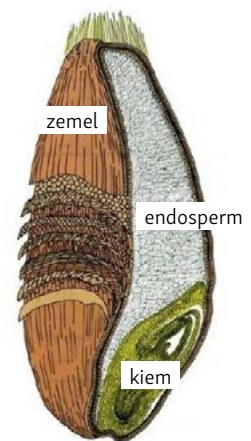
(endosperm, zemel en kiem) worden opnieuw samengevoegd in de gewenste concentraties. Hiermee worden bruine broodsoorten gemaakt.

- **Volkorenmeel:** de volledige tarwekorrel wordt integraal vermalen tot meel. Naast het endosperm bevat het ook de volledige zemel en kiem van de tarwekorrel. Volkorenmeel vormt eveneens de basis voor bruine broodsoorten maar is rijker aan zemelen.
- **Meergranenmeel:** een mengsel van bloem en (volkoren)meel van verschillende graansoorten (bv. tarwe, rogge, gerst). Het bevat daarnaast meestal ook zaden of pitten.

De zemel en de kiem van een graankorrel zijn rijk aan voedingsvezel, vitaminen en

mineralen. De keuze van het type bloem of meel heeft dus reeds een bepalende impact op de nutritionele kwaliteit van het brood.

**FIGUUR 1** - Opbouw van een tarwekorrel.



## WAT IS EN HOE WERKT TARWEZETMEEL?

Zetmeel is zeer divers door de grote verscheidenheid in zijn opbouw op zowel moleculair als granulair vlak. Verschillende zetmeelgebonden factoren kunnen daarom op zich al van invloed zijn op de glycemische index van zetmeelproducten.

**Tarwezetmeel is opgebouwd uit twee componenten: amylose (ongeveer 25 %) en amylopectine (ongeveer 75 %).**

Zowel amylose als amylopectine bestaan uit glucose-eenheden maar kunnen in theorie worden onderscheiden op basis van hun vertakingsgraad en moleculair gewicht. Amylose is in essentie een lineaire polymeer. Amylopectine is een sterk vertakte of 'hyperbranched' molecuul. Er bestaat echter een zekere overlap tussen beide moleculen: amylose vertoont in sommige geval-

len vertakkingen met korte ketens en er zijn amylopectine-achtige moleculen met lange zijketens waargenomen (14). Ook het moleculair gewicht hangt samen met de vertakingsgraad en de ketenlengte. Maar op basis hiervan kan men evenmin een onderscheid maken tussen beide componenten gezien de bestaande overlap.

**Tarwezetmeel vertoont uiteenlopende granulaire eigenschappen.**

Amylose en amylopectine schikken zich respectievelijk in

amorphe en semi-kristallijne lamellen. Die komen alternerend voor in zetmeelgranules en zijn via microscopie waarneembaar als alternerende concentrische ringen. De zetmeelgranules kunnen bovendien verschillende vormen en groottes aannemen en vertonen uiteenlopende oppervlakte-eigenschappen (bv. glad of met groeven). Hierdoor zijn ze meer of minder gevoelig voor enzymatische afbraak.

### Variabele fysicochemische eigenschappen van tarwezetmeel.

De granulaire eigenschappen bepalen eveneens in grote mate de waterabsorptie, de zwelkracht en de weerstand van de granules tegen degradatie en aldus de fysicochemische eigenschappen van zetmeel (15). Daarnaast bepaalt ook de hoeveelheid beschikbaar water in grote mate de graad van **verstijfseling of gelering**. Als er voldoende water aanwezig is (zoals bij de bereiding van een saus), treedt er na een periode van zwelling een degradatie van de zetmeelgranules op. In eerste instantie treedt amylose uit de granulaire structuur. Zodra de zogenaamde verstijfselings temperatuur is bereikt, breekt de granule open en komen zowel amylose als amylopectine vrij in de oplossing. Dit gaat gepaard met een sterke verhoging van de viscositeit. Ook de verteerbaarheid van de zetmeelcomponenten neemt hierdoor toe. Als er minder water aanwezig is, blijft een groot deel van de granules daarentegen intact. Er treedt desgevallend maar een partieel reversibele zwelling op waardoor amylose ook slechts beperkt uitloopt. Door de geringe degradatie neemt de viscositeit minder sterk toe.

Hoewel de verwarmstap zorgt voor een (gedeeltelijk) onomkeerbare wijziging in de zetmeelstructuur, vindt er bij afkoeling en na verloop van tijd **retrogradatie** plaats. Dat betekent dat in eerste instantie lange ketens van amylosemoleculen onderling complexeren door de vorming van helices die in elkaar haken. Amylopectinemoleculen zullen eveneens zo reageren maar in mindere mate en pas na langere tijd. Hun kortere zijketens zijn immers minder geneigd om helicale structuren te vormen. Hun vertakkingen zorgen er bovendien voor dat de moleculen onderling afgestoten worden (sterische hindering). Geretrogradeerd zetmeel, ook aangeduid als type 3-resistent zetmeel, is minder bereikbaar voor de verteringsenzymen en dus minder goed verteerbaar. Zetmeel met een hoog gehalte aan amylose is meer onderhevig aan retrogradatie. Op dit ogenblik zijn er evenwel nog geen tarwevariëteiten met een hoog amylosegehalte beschikbaar voor broodbereidingen. Ter zake is wel onderzoek aan de gang.

### Interactie met andere endogene componenten

In het geval van bloem of meel treedt er ook interactie op met andere endogene componenten. Bij het kneden van brooddeeg wordt er bijvoorbeeld een glutennetwerk gevormd waarin de zetmeelgranules zijn ingebed. Zowel aan hun oppervlak als in de granules zelf zijn lipiden, eiwitten en mineralen zoals fosfor aanwezig. Die beïnvloeden eveneens de fysicochemische eigenschappen en zijn medebepalend voor de afbraak van zetmeel.

## GLYCEMISCHE RESPONS VAN VERSCHILLENDE SOORTEN BROOD

### HOE WORDT BROOD BEREID?

De basisingrediënten van brood zijn bloem of meel, water, gist, zout en eventueel broodverbeteraars die samen tot een samenhangend deeg worden gekneet. Tarwebloem bevat unieke gluteneiwitten die een driedimensionaal glutennetwerk vormen dat de andere componenten in de deegmatrix, waaronder zetmeel, omsluit en tevens luchtballen kan vasthouden. Deze luchtballen zetten uit door de gasproductie als gevolg van de gistwerking gedurende de deegrijs. Tijdens het rijpsproces wordt het brooddeeg 'opgemaakt' wat bijdraagt tot een fijne, uniforme verdeling van de gascellen. Zodra het deegstuk het gewenste volume heeft, wordt het afgebakken in de oven. Hierbij gaan de gluteneiwitten denatureren en het zetmeel deels verstijfselen. Dat resulteert in de elastische sponsstructuur die typerend is voor broodkruim.

Variaties op het basisproduct zijn mogelijk door bijvoorbeeld bloem van andere graansoorten te gebruiken, door gist te vervangen door zuurdesem of door zaden, geplette korrels of andere ingrediënten zoals melk, suiker en vetstoffen toe te voegen. Hierdoor is er veel variatie in het broodaanbod en zijn er grote verschillen in nutritionele samenstelling, smaak, structuur en textuur.

### WIT TARWEBROOD

Wit brood wordt snel verteerd omwille van zijn luchtige structuur en zijn relatief hoge mate van zetmeelverstijfseling. Dat geeft aanleiding tot hogere glucose- en insulinepieken (20,21). De GI voor wit brood is gemiddeld 75 (in vergelijking met sucrose; een spreiding van 59-89 in 20 studies) (6).

De GI van wit brood kan worden verlaagd door tarwebloem of -meel te gebruiken met meer amylose en minder amylopectine. Door haar vele ketenuiteinden wordt amylopectine immers sneller tot glucose gereduceerd dan amylose (22). Het onderzoek naar de teelt en toepasbaarheid van tarwevariëteiten met dergelijke eigenschappen staat nog in zijn kinderschoenen, maar verschillende studies hebben hiervan toch al positieve effecten op de GI kunnen aantonen (23,24).

### BRUIN TARWEBROOD EN VOLKORENBROOD

Ondanks een verschillend vezelgehalte blijkt de glycemische respons van volkorentarwebrood en wit brood eerder vergelijkbaar, en dit zowel bij diabetici als bij gezonde individuen (4). De gemiddelde GI voor volkorenbrood is 71 (een spreiding van 52-87 in 20 studies) (6). Een mogelijke verklaring voor het slechts beperkte GI-verlagende effect van tarwezemelen is de vermalingsgraad van de tarwekorrels en de beperkte oplosbaarheid van tarwezemelen waardoor ze maar weinig effect hebben op de verteringsprocessen (25). Voedingsvezels zijn geassocieerd met een verlaagd risico op verschillende ziekten, zoals overgewicht, insulinegevoeligheid, diabetes, hart- en vaatziekten en kanker (8). Vandaar de aanbeveling om bruin brood en volkorenbrood te eten.

### SPELT

Spelt behoort tot de tarwefamilie, heeft een vergelijkbare samenstelling maar bevat iets meer eiwitten en oplosbare vezels (26). De glycemische respons van 100 % wit speltbrood is echter niet verschillend van die van wit tarwebrood (27).

## ROGGE

Roggebrood moet wettelijk meer dan 50 % roggebloem of -meel bevatten. Roggebloem is van nature rijk aan arabinoxylanen die een hoog waterbindend vermogen hebben. Uit verschillende studies blijkt dat brood waaraan opgezuiverde arabinoxylanen zijn toegevoegd, aanleiding geven tot een lagere glycemische respons (8). Hoewel er minder studies beschikbaar zijn dan voor wit brood en volkorenbrood blijkt de gemiddelde GI van roggebrood en volkorenroggebrood lager (respectievelijk 49, een spreiding van 40-57 in 5 studies en 61, een spreiding 41-78 in 8 studies) (6).

## HAVER EN GERST

Haver en gerst zijn rijk aan  $\beta$ -glucanen, oplosbare vezels die de glycemische respons kunnen verlagen (8). Dat gunstige effect is vooral toe te schrijven aan de viscositeitsverhogende eigenschappen van  $\beta$ -glucanen, wat de mobiliteit in het intestinale lumen verlaagt en de opname van glucose uit gehydrolyseerd zetmeel vertraagt. De hoeveelheid  $\beta$ -glucanen die van nature aanwezig is in haver of gerst is echter onvoldoende om een gunstig effect te bekomen via brood. Daarvoor moet men gebruik maken van gerstvariëteiten met een verhoogd  $\beta$ -glucanengehalte (8).

## VEZELVERRIJKT BROOD

Zuivere vezels afkomstig van granen, groenten, fruit of peulvruchten toevoegen is een optie om de glycemische respons van brood te verlagen. Viscositeitsverhogende vezels kunnen de maaglediging en/of de absorptie van voedingsstoffen uit de dunne darm vertragen. Eerder genoemde voorbeelden zijn arabinoxylanen en  $\beta$ -glucanen maar ook inuline, guargom, xyloglucan, psyllium of mengsels van verschillende vezels bieden mogelijkheden (28,29,30,31,32,33,34). De nodige concentraties om voldoende effectief te zijn, variëren sterk en kunnen bovendien een impact hebben op de broodkwaliteit.

## ALTERNATIEVE GRANEN

Een actuele trend in de bakkerijsector is het gebruik van alternatieve granen zoals de zogenaamde oergranen emmerkoorn en eenkoorn (voorlopers van de huidige broodtarwe). Er zijn nauwelijks wetenschappelijk studies die de glycemische respons van brood op basis van oergranen hebben bestudeerd, maar de GI van eenkoornbrood en gewoon tarwebrood blijkt vergelijkbaar (35).

Een in vitro-verteerbaarheidstudie stelde vast dat glutenvrij brood op basis van boekweit-, sorghum- en teffbloem een significant lagere voorspelde GI had in vergelijking met wit tarwebrood als referentie (GI is 100) (11). Desondanks behoorden alle glutenvrije broden toch nog tot de hoge GI-categorie. Quinoabrood had een vergelijkbare geschatte GI als de referentie maar wel een lagere GI omdat het minder koolhydraten bevat. Factoren die de verschillende impact van alternatieve granen op de glycemische respons kunnen helpen verklaren zijn variaties in grootte, morfologie en verstijfingsgedrag van de zetmeelgranules en hogere gehalten aan vezels, eiwitten en lipiden in hun bloem (11).

De incorporatie van niet-tarwegraansoorten in hogere concentraties kan ook een compactere kruimstructuur geven wat de verteerbaarheid verder kan vertragen in vergelijking met wit brood.

## ZUURDESEMBROOD

In zuurdesembrood wordt bakersgist vervangen door zuurdeseem. Het zuurdeseemproces wordt gekenmerkt door lange rijstijden en de vorming van organische zuren (waaronder melk- en azijnzuur) tijdens de fermentatie. Dat resulteert in de typische zure smaak, de kenmerkende aroma's en een andere kruimstructuur en -textuur. Het aantal studies over de GI van zuurdesembrood is beperkt maar men deed de volgende vaststellingen. De directe toevoeging van organische zuren tijdens de broodbereiding verlaagde de postprandiale glucose- en insulinerespons van het aangezuurde brood (37). De zuurdesemfermentatie zelf resul-

teerde eveneens in een verlaagde glycemische respons van zowel wit tarwebrood als van volkoren-tarwebrood (38).

## PUMPERNICKELBROOD

Pumpnickelbrood wordt gemaakt van grof gemalen rogge of gerstmeel en bevat nog volledige korrels. Dit broodtype is zeer compact en wordt gedurende lange tijd gebakken op een lagere temperatuur (bv. op 120°C gedurende 20 uur) waardoor het zijn donkerbruine kleur krijgt. Pumpnickelbrood heeft een lage GI (een spreiding van 41-56 in 4 studies) door zijn compacte structuur, de aanwezigheid van intacte korrels en een hoger gehalte aan resistent zetmeel. Hierdoor vindt een vertraagde zetmeelhydrolyse plaats (6,39).

 **MEER INFO OVER BROOD**  
[WWW.NICE-INFO.BE](http://WWW.NICE-INFO.BE)

- **Q&A**  
> Voedingsmiddelen > Brood
- **Nutrineds juni 2013**  
Brood en gezondheid: fabels en feiten

## Referenties

1. Hoge Gezondheidsraad (HGR). Voedingsaanbevelingen voor België 2016. Federale Overheidsdienst Volksgezondheid, Veiligheid van de Voedselketen en Leefmilieu: Brussel
2. Vlaams Instituut voor Gezondheidspromotie en Ziektepreventie (VIGEZ). Graanproducten en aardappelen. 2016 [cited 2016 05/10/2016]
3. Bel Sarah, T.J., Rapport 4: Graanproducten en aardappelen, in Voedselconsumptiepeiling 2014-2015. 2016, WIV-ISP: Brussel
4. Jenkins, D.J., et al., Low glycaemic response to traditionally processed wheat and rye products: bulgur and pumpernickel bread. *The American journal of clinical nutrition* 1986; 43 (4): 516-520
5. Sompel, A.V.d., De glycemische index: verleden, heden en toekomst. *Nutrinews* 2003, NICE: Brussel.
6. TheUniversityofSydney. Glycaemic index database. 2016; Available from: <http://www.glycaemicindex.com>
7. Foster-Powell, K., S.H.A. Holt, and J.C. Brand-Miller, International table of glycaemic index and glycaemic load values: 2002. *The American journal of clinical nutrition* 2002; 76 (1): 5-56
8. Scazzina, F., S. Siebenhandl-Ehn, and N. Pellegrini, The effect of dietary fibre on reducing the glycaemic index of bread. *Br J Nutr* 2013; 109 (7): 1163-1174.
9. Hatonen, K.A., et al., Methodologic considerations in the measurement of glycaemic index: glycaemic response to rye bread, oatmeal porridge, and mashed potato. *American Journal of Clinical Nutrition* 2006; 84 (5): 1055-1061
10. Vega-Lopez, S., et al., Interindividual variability and intra-individual reproducibility of glycaemic index values for commercial white bread. *Diabetes Care* 2007; 30 (6): 1412-1417
11. Wolter, A., et al., In vitro starch digestibility and predicted glycaemic indexes of buckwheat, oat, quinoa, sorghum, teff and commercial gluten-free bread. *Journal of Cereal Science* 2013; 58 (3): 431-436
12. Capriles, V.D. and J.A.G. Areas, Effects of prebiotic inulin-type fructans on structure, quality, sensory acceptance and glycaemic response of gluten-free breads. *Food & Function* 2013; 4 (1): 104-110
13. Englyst, H.N., S.M. Kingman, and J.H. Cummings, Classification and measurement of nutritionally important starch fractions. *European journal of clinical nutrition* 1992; 46: S33-S50
14. Waterschoot, J., et al., Production, structure, physicochemical and functional properties of maize, cassava, wheat, potato and rice starches. *Starch-Stärke* 2015; 67 (1-2): 14-29
15. Singh, S., et al., Relationship of granule size distribution and amylopectin structure with pasting, thermal, and retrogradation properties in wheat starch. *Journal of agricultural and food chemistry* 2009; 58 (2): 1180-1188
16. Zhang, B., S. Dhital, and M.J. Gidley, Synergistic and antagonistic effects of  $\alpha$ -amylase and amyloglucosidase on starch digestion. *Biomacromolecules* 2013; 14 (6): 1945-1954
17. Tester, R.F., J. Karkalas, and X. Qi, Starch structure and digestibility enzyme-substrate relationship. *World's Poultry Science Journal* 2004; 60 (02): 186-195
18. Dona, A.C., et al., Digestion of starch: In vivo and in vitro kinetic models used to characterise oligosaccharide or glucose release. *Carbohydrate Polymers* 2010; 80 (3): 599-617
19. Cai, L. and Y.-C. Shi, Structure and digestibility of crystalline short-chain amylose from debranched waxy wheat, waxy maize, and waxy potato starches. *Carbohydrate Polymers* 2010; 79 (4): 1117-1123
20. Deng, Y., et al., Postprandial glucose, insulin and incretin responses to different carbohydrate tolerance tests. *Journal of diabetes* 2015; 7 (6): 820-829
21. Fardet, A., et al., Parameters controlling the glycaemic response to breads. *Nutrition research reviews* 2006; 19 (01): 18-25
22. Alsaffar, A.A., Effect of food processing on the resistant starch content of cereals and cereal products—a review. *International journal of food science & technology* 2011; 46 (3): 455-462
23. Hazard, B., et al., Induced Mutations in the *Wx* Genes Increase Amylose and Resistant Starch Content in Durum Wheat. *Crop science* 2012, 52 (4): 1754-1766
24. Miller, J.B., E. Pang, and L. Bramall, Rice: a high or low glycaemic index food? *The American journal of clinical nutrition* 1992; 56 (6): 1034-1036
25. Andersson, A., et al., Whole-grain foods do not affect insulin sensitivity or markers of lipid peroxidation and inflammation in healthy, moderately overweight subjects. *The Journal of nutrition* 2007; 137 (6): 1401-1407
26. Bonafaccia, G., et al., Characteristics of spelt wheat products and nutritional value of spelt wheat-based bread. *Food Chemistry* 2000; 68 (4): 437-441
27. Marques, C., et al., Comparison of glycaemic index of spelt and wheat bread in human volunteers. *Food Chemistry* 2007; 100 (3): 1265-1271
28. Lu, Z.X., et al., Arabinoxylan fiber, a byproduct of wheat flour processing, reduces the postprandial glucose response in normoglycaemic subjects. *American Journal of Clinical Nutrition* 2000; 71 (5): 1123-1128
29. Lu, Z.X., et al., Arabinoxylan fibre improves metabolic control in people with Type II diabetes. *European Journal of Clinical Nutrition* 2004; 58 (4): 621-628
30. Cavallero, A., et al., High (1 -> 3,1 -> 4)-beta-glucan barley fractions in bread making and their effects on human glycaemic response. *Journal of Cereal Science* 2002; 36 (1): 59-66
31. Landin, K., et al., Guar gum improves insulin sensitivity, blood lipids, blood pressure and fibrinolysis in healthy men. *American Journal of Clinical Nutrition* 1992; 56 (6): 1061-1065
32. Onyechi, U.A., P.A. Judd, and P.R. Ellis, African plant foods rich in non-starch polysaccharides reduce postprandial blood glucose and insulin concentrations in healthy human subjects. *British Journal of Nutrition* 1998; 80 (5): 419-428
33. Karhunen, L.J., et al., A Psyllium Fiber-Enriched Meal Strongly Attenuates Postprandial Gastrointestinal Peptide Release in Healthy Young Adults. *Journal of Nutrition* 2010; 140 (4): 737-744
34. Angioloni, A. and C. Collar, Physicochemical and nutritional properties of reduced-caloric density high-fibre breads. *Lwt-Food Science and Technology* 2011; 44 (3): 747-758
35. Bakhoj, S., et al., Lower glucose-dependent insulinotropic polypeptide (GIP) response but similar glucagon-like peptide 1 (GLP-1), glycaemic, and insulinaemic response to ancient wheat compared to modern wheat depends on processing. *European Journal of Clinical Nutrition* 2003; 57 (10): 1254-1261
36. Östman, E.M., et al., On the effect of lactic acid on blood glucose and insulin responses to cereal products: mechanistic studies in healthy subjects and in vitro. *Journal of cereal science* 2002; 36 (3): 339-346
37. Liljeberg, H. and I. Björck, Delayed gastric emptying rate may explain improved glycaemia in healthy subjects to a starchy meal with added vinegar. *European Journal of Clinical Nutrition* 1998; 52 (5): 368-371
38. Scazzina, F., et al., Sourdough bread: Starch digestibility and postprandial glycaemic response. *Journal of Cereal Science* 2009; 49 (3): 419-421
39. Akerberg, A., H. Liljeberg, and I. Björck, Effects of amylose/amylopectin ratio and baking conditions on resistant starch formation and glycaemic indices. *Journal of Cereal Science* 1998; 28 (1): 71-80
40. Tanaka K., T. Yoshida and Z. Kasai. Distribution of mineral elements in the outer layer of rice and wheat grains, using electron microprobe X-ray analysis. *Soil Science and Plant Nutrition* 1974; 20 (1): 87-91
41. Brouns F., et al. Wheat aleurone: separation, composition, health aspects, and potential food use. *Critical reviews in food science and nutrition* 2012; 52 (6): 553-568
42. Kong, L. and B.-K. Baik, Degree of starchy endosperm sepa-

ration from bran as a milling quality trait of wheat grain. *Journal of Cereal Science* 2016; 69: 49-56

**43.** Howlett J. and Ashwell, M. (2008) Glycemic response and health: summary of a workshop. *Am. J. Clin. Nutr.* 2008; 87 (suppl.1): S212-S216