



VOEDINGSVEZELS-FODMAPS CONTROVERSE

F. Brouns¹,
N. Delzenne²,
G. Gibson³

¹ NUTRIM- School of Nutrition and Translational Research in Metabolism, Maastricht University

² Metabolism and Nutrition Research Group, Université Catholique de Louvain

³ School of Food Biosciences, Food Microbial Sciences Unit, University of Reading

Voedingsvezels zijn belangrijk voor de volksgezondheid. Een voeding rijk aan vezels verbetert de darmfunctie en vermindert het risico op ziekte. **Veel niet-verteerbare maar snel fermenteerbare koolhydraten (FODMAPs) zijn ook voedingsvezels maar worden volgens sommigen maar beter vermeden** omdat ze kunnen leiden tot een opgeblazen gevoel en andere buikklachten. Waarom en wanneer moeten FODMAPs worden vermeden?



BEKNOPT

- Voedingsvezels en prebiotica zijn belangrijke stoffen. Zij ondersteunen de gezondheid van de darmen en helpen ziekte te voorkomen, onder meer dankzij hun fermentatie in de dikke darm. Een grotere consumptie wordt wereldwijd aanbevolen.
- Snel fermenteerbare voedingsvezels (FODMaPs) vermijden kan aangewezen zijn bij personen die lijden aan het prikkelbaar-darmsyndroom (PDS) om buikklachten, veroorzaakt door meer gasproductie en vochtophoping in het darmkanaal, te verlichten. In vergelijking met andere voedings-, fysiologische of farmacologische interventiemogelijkheden voor PDS is het echter nog moeilijk om de relatieve werkzaamheid van een laag FODMaP-dieet op voorhand in te schatten.
- Aangezien een laag FODMaP-dieet een eliminatiedieet is, zijn een strikt persoonlijke begeleiding en follow-up op zowel korte als lange termijn essentieel. Een goede begeleiding door een ervaren diëtist is noodzakelijk om in een adequate voeding te kunnen blijven voorzien. Voedingsmiddelen met FODMaPs weglaten gaat samen met een verminderde inname van voedingsvezels en andere essentiële voedingsstoffen. Dat kan leiden tot voedingstekorten en ongunstig zijn voor de darmmicrobiota (flora)-samenstelling en -stofwisseling, de darmfunctie en de gezondheid van de darmen.
- FODMaPs vermijden is hierom ook niet te rechtvaardigen voor de algemene bevolking. FODMaP-vrije producten die op de markt worden gebracht zijn evenmin gezonder voor het brede publiek.

WAT ZIJN VOEDINGSVEZELS?

Voedingsvezels zijn een heterogene groep van vooral polymere koolhydraten die niet worden afgebroken of verteerd door verteringsenzymen en dus niet worden opgenomen in de dunne darm (zie ook 'Classificatie en effecten van vezels'). Volwassenen wordt aanbevolen om 25 tot 30 g voedingsvezels per dag in te nemen voor een goede darmfunctie en ter preventie van

cardiovasculaire aandoeningen, diabetes type 2, obesitas, bepaalde kankers, infecties en ontstekingsziekten (1).

WAT ZIJN FODMAPS?

FODMaPs staat voor 'Fermentable Oligosacharides, Disacharides, Monosacharides and Polyols' (2). Hieronder vallen fructo-oligosachariden (FOS) of fructanen, galacto-oligosachariden (GOS) of galactanen, polydextrose, lactose,

CLASSIFICATIE EN EFFECTEN VAN VEZELS

Voedingsvezels kunnen op basis van verschillende karakteristieken worden ingedeeld:

1. volgens de oorsprong van de vezels (intrinsiek/natuurlijk aanwezig, extrinsieke toevoegingen);
2. volgens hun samenstelling en moleculaire structuur (polymerisatiegraad, moleculair gewicht, sacharidesamenstelling, type chemische bindingen, componenten zoals bepaalde zuren gebonden aan de terminale uiteinden);
3. volgens hun functionele effecten binnen een bepaalde voedselmatrix en in het maagdarmlumen naargelang hun mate van oplosbaarheid, viscositeit en fermenteerbaarheid.

Deze karakteristieken bepalen gezamenlijk de effecten die vezels op het metabolisme en de gezondheid kunnen hebben.

- Oplosbare vezels met een hoog moleculair gewicht en een hoge viscositeit, zoals pectine, bèta-glucanen en guargom, zorgen voor een viskeuze, gelachtige darminhoud waardoor de absorptiesnelheid van onder meer glucose en cholesterol in de dunne darm verlaagt (7,8,9).
- Niet-oplosbare vezels die slecht fermenteerbaar zijn en veel water binden, zoals cellulose, tarwezemelen en psyllium, dragen bij tot een zachte ontlasting in de dikke darm en een regelmatige stoelgang (10,11).
- Sommige vezeltypes hebben een gunstig effect op specifieke metabole activiteiten en de samenstelling van de darmmicrobiota. Het betreft prebiotica (12,13).
- Tijdens het fermentatieproces van fermenteerbare vezels worden korteketenvezuren (KKVZ) gevormd. De sacharidesamenstelling van de fermenteerbare vezels bepaalt de onderlinge verhouding van de KKVZ azijnzuur, propionzuur en boterzuur. De fermentatie van pectine resulteert in een hoge azijnzuur- en een relatief lage propionzuur- en boterzuurproductie. De fermentatie van vezeltypes met veel fructose in hun ketens (fructanen), zoals inuline en fructo-oligosachariden, zorgt voor minder azijnzuur en meer propionzuur en die van resistent zetmeel, dat uitsluitend glucose bevat, leidt tot relatief meer boterzuur (13,14,15,16,17).
- Onverteerbare koolhydraten of vezels die aan de voeding worden toegevoegd en geïsoleerd zijn uit natuurlijke bronnen of bekomen met behulp van enzymatische procestechnologie, hebben dezelfde effecten als vezels die natuurlijk of intrinsiek aanwezig zijn in het voedsel, op voorwaarde dat de moleculaire samenstelling identiek is.

fructose (indien in overmaat ten opzichte van glucose) en polyolen zoals sorbitol, mannitol, maltitol, xylitol, erythritol en isomalt (3). FODMaPs omvatten specifieke vezeltypes maar ook slecht absorbeerbare koolhydraatmoleculen.

ZIJN FODMAPS SCHADELIJK?

FODMaPs kunnen door osmotische effecten het watergehalte van de darminhoud tijdelijk doen toenemen en door hun relatief snelle fermentatie door de darmmicrobiota voor meer gasvorming zorgen. Dat zijn normale processen in gezonde darmen maar ze kunnen bij sommigen leiden tot onaangename darmsensaties, in het bijzonder bij personen met een hypergevoelige darm en bij patiënten die lijden aan het prikkelbaardarmsyndroom (PDS, ook bekend als Irritable Bowel Syndrome of IBS of spastisch colon). Bij deze patiënten kan op basis van onderbouwde vaststellingen en in overleg met ervaren diëtisten een beperking van bepaalde FODMaPs worden overwogen om klachten te verminderen (4,5). Via sociale media en door een wereldwijd aanbod aan laag-FODMaP-diëten en -levensmiddelen is onterecht de perceptie ontstaan dat FODMaPs in het algemeen schadelijk zijn voor de gezondheid of ongemakken veroorzaken. Zo'n hypes blindelings volgen kan de gezondheid schaden. Een algemene FODMaPs-onthouding op basis van misvattingen kan leiden tot beduidende tekorten aan voedingsvezels en andere essentiële voedingsstoffen.

SUBSTRATEN VOOR DE DARMMICROBIOTA

Het transport van voedingsstoffen door de maag en de dunne darm verloopt snel (1-5 uur). Het transport in het colon gaat veel langzamer (24-48 uur) waardoor de micro-organismen daar de mogelijkheid krijgen om de beschikbare substraten gedeeltelijk of geheel af te breken. Het gaat om zet-

meelsubstraten die om verschillende redenen resistent zijn aan pancreasamylase en ontsnappen aan absorptie in de dunne darm, voedingsvezels zoals pectine, xylanen, cellulose, arabinogalactan, inuline, guargom en hemicellulose en kleinere hoeveelheden FOD-MaPs. Andere groeisubstraten voor colonbacteriën zijn eiwitten en andere stikstofbronnen zoals secretie- en afsplitsingsproducten (lysis), afgescheiden epitheelcellen en darmslijm (mucine). Niet-verteerde koolhydraten vormen de belangrijkste voedingsbron voor de darmbacteriën. Zij produceren op basis hiervan korteketenvezuren (KKVZ), gasen (vooral waterstof) en andere zowel neutrale, zure als basische eindproducten (18).

FERMENTATIEPROCESSEN VOOR GEZONDE DARMEN

De fermentatie van voedingsvezels in de dikke darm heeft verschillende gezondheidsondersteunende effecten (19).

De belangrijkste is een toename van de bacteriële biomassa. Dat bevordert de stoelgang en voorkomt constipatie. Een minder lange verblijftijd van de stoelgang in het colon beperkt zowel de vorming van als de blootstelling aan giftige stikstofverbindingen en andere mogelijk carcinogene

of genotoxische stoffen. Meer bacteriële biomassa verbetert ook de metabole activiteit van de belangrijkste koolhydraatverwerkende (of sacharolytische) bacteriën, waaronder bifidobacteriën en melkzuurbacteriën (Lactobacillus), die belangrijk zijn voor de darmgezondheid.

Bacteriële fermentatie resulteert in een hogere zuurtegraad in de dikke darm (pH-verlaging). Onder invloed van veel KKVZ-productie tijdens fermentatie zal de pH in de darm dalen tot een niveau tussen 5,5 en 6,0. Dat is aanzienlijk zuurder dan wanneer maar weinig fermentatie plaatsvindt (pH van 6,0 tot 6,5). Een 'zuurdere' darm (lagere pH) is kenmerkend voor een gezond colonmetabolisme.

Het belemmert de groei van bepaalde pathogene bacteriën en bevordert de groei van bifidobacteriën en melkzuurbacteriën. Een minder zure darminhoud (pH-verhoging) is een indicator van ziekteprocessen zoals colonkanker. Een zuurdere of lagere pH verhoogt ook de opname van mineralen en sporenelementen in de dikke darm. Door de sterkere zuurgraad worden mineraalcomplexen opgelost en kunnen mineraalionen alsnog worden opgenomen. Op die manier is er dus nog een zekere calcium-, magnesium- en zinkopname mogelijk in een gezond colon.

FERMENTATIEMETABOLIETEN

Als gevolg van de microbiële stofwisselingsactiviteit komen er verschillende metaboliëten vrij in het colon. Daarvan zijn de KKVZ azijnzuur, propionzuur en boterzuur de belangrijkste (20). Zij worden grotendeels in het bloed opgenomen en worden verder in de stofwisseling van het lichaam gebruikt. Andere fermentatiemetaboliëten zoals alcohol, barnsteenzuur, pyrodruivenzuur en melkzuur kunnen verder worden omgezet tot KKVZ. De eindproducten of metaboliëten van de sacharidefermentatie in de dikke darm hebben gunstige gezondheidseffecten (tabel 1).

Producten die resulteren uit eiwit- en aminozuurfermentatie (proteolytische fermentatie) zijn onder meer amines, ammonia en fenolische componenten. Een verhoogde proteolytische fermentatie ten koste van een verminderde sacharolytische fermentatie kan nadelig zijn voor de gezondheid.

MOGELIJK GUNSTIGE EFFECTEN VAN FODMAP-FERMENTATIE

Gasproductie in de darm door fermentatieprocessen behoort tot de normale stofwisseling en is mogelijk zelfs van belang om ons darmmicrobiota-ecosysteem in stand te houden en bij te dragen tot gunstige stofwisselingsprocessen en functies in de darm. Specifieke, door de darmmicrobiota gevormde gasmetaboliëten, zoals stikstofoxide (NO), kunnen een rol spelen in de controle van de stikstofhomeostase van de gastheer maar zijn eventueel ook interessant voor belangrijke darmfuncties zoals doorbloeding en motiliteit. In verhouding tot andere bacteriesoorten produceren bifidobacteriën door een niet-enzymatische reductie van nitriet veel meer NO (27). Het aantal gunstige bifidobacteriën in de dikke darm kan onder invloed van specifieke prebiotica (vooral fructanen) significant worden verhoogd en daarmee dus ook de kwantitatieve NO-productie. Dat vergt verder onderzoek.

TABEL 1 - Belangrijkste koolhydraatfermentatiemetaboliëten in het colon bij mensen.

EINDPRODUCT	METABOLE BESTEMMING
Azijnzuur	Opname in de spier-, nier-, hart- en hersenenstofwisseling, energiebron voor spierweefsel.
Propionzuur	Opname in de levergluconeogenesestofwisseling, onderdrukt de levercholesterolsynthese, eetlustregulator.
Boterzuur	Opname in het dikkedarmepitheel als brandstof, regulator van normale darmcelgroei en -differentiatie, vermindering van ontstekingsreacties in de darm en risicofactoren voor darmkanker.
Alcohol, barnsteenzuur, melkzuur, pyrodruivenzuur	Worden geabsorbeerd en verder omgezet naar KKVZ.
Waterstof	Wordt deels uitgescheiden met de adem, tevens gemetaboliseerd door bacteriën die CH ₄ , H ₂ S of azijnzuur produceren.

DIAGNOSE VIA ADEMTESTEN

Gasvorming is onderdeel van een normaal bacterieel metabolisme. Vluchtige stoffen die tijdens de bacteriële fermentatie worden geproduceerd, worden via de longen uitgeademd. Een analyse van de uitgeademde lucht kan helpen om de bacteriële activiteit in de darm en daarmee mogelijk samenhangende klachten vast te stellen.

DIAGNOSE LACTOSE-INTOLERANTIE

In het geval van een lactose-intolerantie komt lactose onverteerd in de dikke darm terecht. De fermentatie hiervan leidt tot een hogere productie van waterstof die in de uitgeademde lucht kan worden aangetoond.

INDICATIE CHRONISCHE DARMONTSTEKING

Aan de hand van ademtesten is gebleken dat patiënten met chronische darmontsteking (Inflammatory Bowel Disease of IBD) een zeer specifieke samenstelling van uitgeademde lucht hebben (17). Patiënten met PDS vertonen een overmatige productie van waterstof en methaan.

INDICATIE ANDERE AANDOENINGEN

De meting van vluchtige componenten in de uitgeademde lucht kan mogelijk ook aanwijzingen geven over andere aandoeningen zoals bacteriële overgroei (waterstof), constipatie en obesitas (methaan), diabetes en leverziekten (23,25,26). Het is nog onduidelijk of deze componenten zelf ook een causale rol spelen (positief of negatief) bij de specifieke stofwisseling die gepaard gaat met deze ziekten. Veranderingen in darmperistaltiek (motiliteit) en/of darmtransport spelen mogelijk ook mee in het ontstaan van klachten. Meer onderzoek hierover is nodig.

Bij obese personen draagt de inname van korteketenoligosachariden (bv. korteketenfructanen) ertoe bij dat de soorten Bifidus, Faecalibacterium prausnitzii en Akkermansia muciniphila in aantal toenemen. Deze bacteriesoorten spelen een belangrijke rol in het behoud van een goede darmbarrièrefunctie. Tevens participeren zij in de controle van metabole afwijkingen die optreden bij obesitas, zoals leververvetting en een verminderde insulinegevoeligheid (28,29). Onverteerbare oligosachariden, die geclassificeerd zijn als FODMaPs, kunnen met andere woorden misschien metabole verstoringen helpen normaliseren (30,31). Ook hierover is echter bijkomend onderzoek nodig.

FODMAPS EN DARM-TOLERANTIE

FODMaPs die onverteerd aankomen in het colon worden daar gefermenteerd door de darmmicrobiota. Bij gezonde personen draagt dit bij tot een gunstig darmmetabolisme en de daarmee samenhangende gezondheidsvoordelen.

Bij personen met gevoelige darmen kunnen ze aanleiding geven tot onaangename darmsensaties. Waar ligt de tolerantiegrens? Hoeveel FODMaPs komen daadwerkelijk intact aan in de dikke darm? Van alle FODMaPs zijn hierover geen kwantitatieve gegevens beschikbaar. Het is zeer waarschijnlijk dat een deel van de FODMaPs in de dunne darm afgebroken of geabsorbeerd worden en dat zij dus geen groot aandeel hebben in de colonfermentatie. Normaliter wordt lactose volledig geabsorbeerd in de dunne darm na hydrolyse tot de monosachariden glucose en galactose door tussenkomst van het enzym lactase. Bij personen die het enzym lactase missen, wordt lactose een FODMaP.

Bij iedereen vindt microbiële fermentatie plaats in de dikke

darm, maar het microbiotaprofiel is persoonsafhankelijk en kan onderling sterk verschillen. Deze verschillen tekenen zich ook af in de gevormde eindproducten. Bifidobacteriën blijken bijvoorbeeld een voorkeur te hebben voor fructanen en galactanen (21). De fermentatie van deze prebiotica-koolhydraten in de aanbevolen dosering lijkt geen aanleiding te geven tot darmklachten door gasvorming. Alhoewel een FODMaP-vrij dieet een effectieve strategie kan zijn om symptomen van darmzwellen door gasvorming bij PDS-patiënten onder controle te houden, blijkt dit enkel te gelden voor fermenteerbare koolhydraten die daadwerkelijk leiden tot een significante gasproductie. Prebiotica in aanbevolen kleine hoeveelheden vallen daar dus niet onder. In deze context is voorgesteld om een beetje ruimte in de FODMaPs-beperving toe te laten zodat inclusie van prebiotische oligosachariden mogelijk is met behoud van klachtenverlichting (22). Klachten kunnen ook worden veroorzaakt door osmotische effecten waardoor het watergehalte van de darminhoud toeneemt wat aanleiding geeft tot een zwelrekkings van de dunne darmwand. In een interventiestudie kregen proefpersonen gedurende drie perioden een drankje met glucose, fructose of inuline. Patiënten met PDS vertoonden na inname van fructose en inuline dezelfde klachten als gezonde personen. Fructose gaf zowel bij PDS-patiënten als bij gezonde personen meer symptomen dan inuline (24). Dat betekent dat de waargenomen symptomen eerder veroorzaakt werden door osmotische effecten (gelinkt aan de fructose-inname) dan door een overmatige gasproductie in de dikke darm (door fermentatie van inuline). Hieruit blijkt opnieuw dat alle koolhydraten die thans zijn ingedeeld onder FODMaPs niet allemaal dezelfde klachten geven.

VOEDINGSVEZELS EN FODMAPS IN DE VOEDING

Graanproducten (vooral volkoren), aardappelen en andere knolgewassen, peulvruchten, groenten, fruit en noten zijn goede bronnen van voedingsvezels. Zij zijn ook belangrijke leveranciers van andere essentiële voedingsstoffen en antioxidanten. Veel van deze voedingsmiddelen bevatten ook FODMAPs, in het bijzonder tarwe, rogge, gerst, peulvruchten, uien, look, kolen, asperges, prei, bloemkool, champignons, schorseneren, witlof, artisjok, bananen, steenvruchten, watermeloen, appels, peren, mango's, gedroogd fruit, honing en pistachenoten. Graanproducten bevatten vooral snel fermenteerbare fructanen maar de hoeveelheden zijn relatief gering en liggen ver onder het niveau om bij gezonde mensen buikklachten door gasvorming te veroorzaken. Bijvoorbeeld: twee sneetjes brood bevatten minder dan 0,5 gram fructanen, een portie ontbijtgranen van 35 tot 50 gram ongeveer 1 gram en een portie pasta van 150 gram 0,5 gram (32). Een groot deel van de FODMAPs dat in het meel aanwezig is, wordt afgebroken tijdens de fermentatie. Hierdoor gaat het deeg ook rijzen. Factoren die verder een rol spelen zijn de fermentatietijd (rijstijd), zuurtegraadveranderingen en de keuze van gist, zuurdesem of een combinatie daarvan. Bij het gebruik van gist is er een vermindering van meer dan 50 % waargenomen; bij het gebruik van zuurdesem is de afbraak door de lange rijstijd vrijwel compleet (33). In het algemeen is het fructaangehalte in zemelen hoger dan in respectievelijk volkoren meel en witte bloem. Het fructaangehalte van verschillende graantypen kan ook enigszins variëren naargelang verschillende omgevingsfactoren (klimaat, bemesting, groei).

EEN LAAG FODMAP-DIEET

Specifieke groepen, bijvoorbeeld mensen met PDS, kunnen onder persoonlijke en deskundige begeleiding baat hebben bij een laag FODMAP-dieet. Een algemene toepassing hiervan is niet te rechtvaardigen.

Verschillende voedingsmiddelen uit de voeding schrappen omdat er FODMAPs inzitten, leidt tot een drastische vermindering van de inname van vezels en andere nutriënten. Er moeten dan adequate en kwalitatief goede alternatieve voedingsmiddelen worden voorzien om voedingstekorten te voorkomen. Fermenteerbare vezels en prebiotica spelen bovendien een aanzienlijke rol in het ecosysteem van het spijsverteringskanaal. Een tekort aan voedingsvezels in de voeding hangt samen met een verhoogd risico op de ontwikkeling van darmdysfunctie en -ziekte, inclusief darmkanker. Een laag FODMAP-dieet met een beperkte inname van fermenteerbare vezels kan ook leiden tot een minder gunstige darmflora die een rol speelt in de regulering van ons immuunsysteem en de onderdrukking van ontstekingsfactoren in de darm.

 **MEER INFO**
WWW.NICE-INFO.BE

- **Zoeken per thema**
 - > Voedingsstoffen en -componenten > Voedingsvezels

Referenties

1. Hoge Gezondheidsraad. Voedingsaanbevelingen voor België - 2016. Brussel: HGR; 2016. Advies nr. 9285
2. Shepherd, S. J., et al. (2013). "Short-chain carbohydrates and functional gastrointestinal disorders." *The American journal of gastroenterology* 108(5): 707-717
3. Mansueto, P., et al. (2015). "Role of FODMAPs in patients with irritable bowel syndrome." *Nutrition in Clinical Practice* 30(5): 665-682
4. Halmos, E. P., et al. (2014). "A diet low in FODMAPs reduces symptoms of irritable bowel syndrome." *Gastroenterology* 146(1): 67-75. e65
5. Marsh, A., et al. (2016). "Does a diet low in FODMAPs reduce symptoms associated with functional gastrointestinal disorders? A comprehensive systematic review and meta-analysis." *European journal of nutrition* 55(3): 897-906
6. Donovan, S. M. and S. S. Comstock (2017). "Human Milk Oligosaccharides Influence Neonatal Mucosal and Systemic Immunity." *Annals of Nutrition and Metabolism* 69(Suppl. 2): 42-51
7. Brown, L., et al. (1999). "Cholesterol-lowering effects of dietary fiber: a meta-analysis." *The American journal of clinical nutrition* 69(1): 30-42
8. Brouns, F., et al. (2012). "Cholesterol-lowering properties of different pectin types in mildly hyper-cholesterolemic men and women." *European journal of clinical nutrition* 66(5): 591-599
9. Boers, H. M., et al. (2016). "Effect of Hydrocolloids on Lowering Blood Glucose." *Gums and Stabilisers for the Food Industry 18: Hydrocolloid Functionality for Affordable and Sustainable Global Food Solutions* 18: 193
10. Cummings, J. H. (2001). "The effect of dietary fiber on fecal weight and composition." *CRC handbook of dietary fiber in human nutrition* 3: 183-252
11. de Vries, J., et al. (2015). "Effects of cereal fiber on bowel function: A systematic review of intervention trials." *World Journal of Gastroenterology: WJG* 21(29): 8952
12. Roberfroid, M., et al. (2010). "Prebiotic effects: metabolic and health benefits." *British Journal of Nutrition* 104(S2): S1-S63
13. Slavin, J. (2013). "Fiber and prebiotics: mechanisms and health benefits." *Nutrients* 5(4): 1417-1435.
14. Champ, M., et al. (2003). "Advances in dietary fibre characterisation. 2. Consumption, chemistry, physiology and measurement of resistant starch; implications for health and food labelling." *Nutrition Research Reviews* 16(02): 143-161
15. Ríos-Covián, D., et al. (2016). "Intestinal short chain fatty acids and their link with diet and human health." *Frontiers in microbiology* 7
16. Louis, P. and H. J. Flint (2017). "Formation of propionate and butyrate by the human colonic microbiota." *Environmental microbiology* 19(1): 29-41
17. Rieder, F., et al. (2016). "A Distinct Colon-Derived Breath Metabolome is Associated with Inflammatory Bowel Disease, but not its Complications." *Clinical and translational gastroenterology* 7(11): e201
18. Latulippe, M. E., et al. (2013). "ILSI Brazil International Workshop on Functional Foods: a narrative review of the scientific evidence in the area of carbohydrates, microbiome, and health." *Food & nutrition research* 57.
19. Lattimer, J. M. and M. D. Haub (2010). "Effects of dietary fiber and its components on metabolic health." *Nutrients* 2(12): 1266-1289
20. Simpson, H. and B. Campbell (2015). "Review article: dietary fibre-microbiota interactions." *Alimentary pharmacology & therapeutics* 42(2): 158-179
21. Arboleya, S., et al. (2016). "Gut Bifidobacteria Populations in Human Health and Aging." *Frontiers in Microbiology* 7
22. Barrett, J. S. (2017). "How to institute the low-FODMAP diet." *Journal of gastroenterology and hepatology* 32(S1): 8-10
23. Pimentel, M., et al. (2013). "Gas and the microbiome." *Current gastroenterology reports* 15(12): 356
24. Major, G., et al. (2017). "Colon Hypersensitivity to Distension, Rather Than Excessive Gas Production, Produces Carbohydrate-Related Symptoms in Individuals With Irritable Bowel Syndrome." *Gastroenterology* 152(1): 124-133. e122
25. Das, S., et al. (2016). "Significance of Exhaled Breath Test in Clinical Diagnosis: A Special Focus on the Detection of Diabetes Mellitus." *Journal of Medical and Biological Engineering* 36(5): 605-624
26. Solga, S. F. (2014). "Breath volatile organic compounds for the gut-fatty liver axis: promise, peril, and path forward." *World Journal of Gastroenterology: WJG* 20(27): 9017
27. Sobko, T., et al. (2005). "Gastrointestinal bacteria generate nitric oxide from nitrate and nitrite." *Nitric Oxide* 13(4): 272-278
28. Dewulf, E. M., et al. (2012). "Insight into the prebiotic concept: lessons from an exploratory, double blind intervention study with inulin-type fructans in obese women." *Gut: gutjnl-2012-303304*
29. Delzenne, N. M., et al. (2015). "Gut microorganisms as promising targets for the management of type 2 diabetes." *Diabetologia* 58(10): 2206-2217
30. Barazzoni, R., et al. (2016). "Carbohydrates and insulin resistance in clinical nutrition: Recommendations from the ESPEN expert group." *Clinical Nutrition*
31. Jegatheesan, P. and J. P. De Bandt (2017). "Fructose and NAFLD: The Multifaceted Aspects of Fructose Metabolism." *Nutrients* 9(3): 230
32. Biesiekierski, J., et al. (2011). "Quantification of fructans, galacto-oligosaccharides and other short-chain carbohydrates in processed grains and cereals." *Journal of Human Nutrition and Dietetics* 24(2): 154-176
33. Verspreet, J., et al. (2015). "Cereal grain fructans: structure, variability and potential health effects." *Trends in Food Science & Technology* 43(1): 32-42
34. Laatikainen, R., et al. (2016). "Randomised clinical trial: low-FODMAP rye bread vs. regular rye bread to relieve the symptoms of irritable bowel syndrome." *Alimentary pharmacology & therapeutics* 44(5): 460-470.
35. Aune, D., et al. (2016). "Whole grain consumption and risk of cardiovascular disease, cancer, and all cause and cause specific mortality: systematic review and dose-response meta-analysis of prospective studies." *bmj* 353: i2716
36. Camilleri, M. and G. Boeckstaens (2017). "Dietary and pharmacological treatment of abdominal pain in IBS." *Gut* 66(5): 966-974
37. El Khoury, D., et al. (2011). "Beta glucan: health benefits in obesity and metabolic syndrome." *Journal of nutrition and metabolism* 2012
38. Fretzdorff, B. and N. Welge (2003). "Abbau von getreideeigenen Fructanen während der Herstellung von Roggen-Vollkornbrot." *Getreide, Mehl und Brot* 57(3): 147-151
39. Havrentova, M. and J. Kraic (2006). "Content of beta-d-glucan in cereal grains." *Journal of Food and Nutrition Research (Slovak Republic)*
40. Kolida, S. and G. R. Gibson (2008). *The prebiotic effect: review of experimental and human data*, CRC Press: Boca Raton, FL, USA
41. Ma, X., et al. (2016). "Association between whole grain intake and all-cause mortality: a meta-analysis of cohort studies." *Oncotarget* 7(38): 61996
42. Messia, M., et al. (2017). "ARABI-NOXYLANS AND β -GLUCANS ASSESSMENT IN CEREALS." *Italian Journal of Food Science* 29(1)
43. Ozawa, M., et al. (2017). "Dietary pattern, inflammation and cognitive decline: The Whitehall II prospective cohort study." *Clinical Nutrition* 36(2): 506-512
44. Vitaglione, P., et al. (2015). "Whole-grain wheat consumption reduces inflammation in a randomized controlled trial on overweight and obese subjects with unhealthy dietary and lifestyle behaviors:

role of polyphenols bound to cereal dietary fiber." *The American journal of clinical nutrition* 101(2): 251-261

45. Vitaglione, P., et al. (2008). "Cereal dietary fibre: a natural functional ingredient to deliver phenolic compounds into the gut." *Trends in Food Science & Technology* 19(9): 451-463

46. Zong, G., et al. (2016). "Whole Grain Intake and Mortality From All Causes, Cardiovascular Disease, and CancerCLINICAL PERSPECTIVE." *Circulation* 133(24): 2370-2380