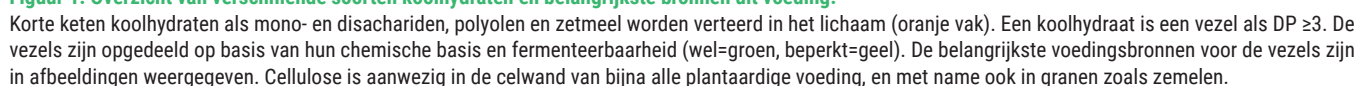


In de huidige richtlijnen wordt geen onderscheid gemaakt tussen verschillende soorten vezels. Voeding bevat een mix van soorten vezels.



Echter is niet van ieder voedingsmiddel de exacte hoeveelheden van soorten vezels aanwezig in het product bekend, wat het lastig maakt om hier richtlijnen op te formuleren. Maar dat betekent niet dat het effect van deze soorten vezels op zowel de metabole gezondheid en het darmmicrobioom verschillend is, en van belang is om in acht te nemen bij voedingsadviezen.

Vezels variëren in chemische structuur en ketenlengte (degree of polymerisation (DP)). Figuur 1 geeft een visueel overzicht van de soorten vezels en de belangrijkste bronnen (aangepast op basis van van Trijp (9)). Wat deze groep onverteerbare koolhydraten (DP ≥ 3) verbindt, is dat ze niet door menselijke enzymen worden afgebroken, maar door het darmmicrobioom worden gefermenteerd of onverteerd het lichaam verlaten. Vezels hebben verschillende functionele eigenschappen zoals bulken (vergroten van volume), fermenteren en geleren (10). Over het algemeen zijn viskeuze vezels die goed fermenteerbaar zijn aanwezig in groenten, fruit en peulvruchten, terwijl bulkende en beperkt-fermenteerbare vezels vooral in granen aanwezig zijn. Alle soorten vezels kunnen zorgen voor een vertraagde maagontlediging en daarmee een geleidelijke afgifte van insuline en opname van glucose, en daarmee beïnvloeding van metabole gezondheid. Viskeuze vezels vormen een gel in de darm, waardoor ze de galzouten binden, wat opname van vetten en cholesterol verlaagt (11). Daarnaast zorgt de gelvorming voor een groter stoelgangsvolume, het verzachten van de stoelgang en het verhogen van de stoelgangsfrequentie (12). Niet-fermenteerbare vezels verhogen ook de fecale bulk wat de stoelgang ten goede komt. Fermenteerbare vezels worden afgebroken door het darmmicrobioom, waarbij gunstige stoffen (korte ketenvetzuren, KKV) vrijkomen (9,12). Deze KKV, waarvan acetaat, propionaat en butyraat de belangrijkste zijn, hebben een grote impact op metabole gezondheid. Onderzoek toont echter wel aan dat de plek van aanmaak van KKV een invloed heeft op de grootte van deze metabole effecten (13). Distale (aan het eind van de colon) fermentatie en aanmaak van KKV heeft duidelijke metabole effecten, terwijl proximale (aan het begin) fermentatie dit effect beperkt heeft. Een manier voor vezels om de distale colon te bereiken is met intrinsieke vezelstructuur (14,15). Intrinsieke vezels zijn vezels die aanwezig zijn in de originele planten-celstructuur. Doordat bacteriën langer tijd

nodig hebben om deze celstructuren te openen, wordt de fermentatie vertraagd en vindt deze ook deels plaats in de distale colon, met meer KKV en positieve metabole effecten tot gevolg. Een andere functionele categorie zijn de prebiotische vezels, waarvan de definitie is: "*worden selectief gebruikt door micro-organismen van de gastheer en bewerkstelligen gezondheidsvoordelen*" (16). Inuline, fructo-oligosacchariden (FOS) en galacto-oligosacchariden (GOS) zijn momenteel de enige erkende prebiotische vezels (17), terwijl van andere vezels dit nog niet helemaal duidelijk is.

Wanneer dieetadvies gegeven wordt, is het belangrijk om de metabole effecten van de verschillende soorten vezels in acht te nemen, en indien nodig het voedingsadvies hierop verder te personaliseren. Hoewel de totale vezelinname voldoende moet zijn, kan deze personalisatie extra voordelen brengen ten aanzien van de gezondheidsdoelen die in de behandeling worden gesteld. In dit overzichtsartikel is samengevat welke metabole effecten bekend zijn voor een grote selectie van vezels.

Methoden

Dit is een narratief overzichtsartikel waarbij is gezocht naar de effecten van verschillende vezels op glucose- en vetmetabolisme, namelijk nuchter en postprandiale bloedsuikerwaarden, insulinegevoeligheid, plasma triglyceriden, LDL en HDL-cholesterol, levervet en abdominale vetcelgrootte. Als online databases zijn PubMed en Google Scholar gebruikt. Zoektermen, met MeSH-woorden, includeerde de namen van de verschillende vezels en "bloodglucose", "insulin sensitivity", "cholesterol", "triglycerides", "intrahepatic fat", "non-alcoholic fatty liver disease", "adipose tissue". In dit artikel zijn de belangrijkste vezels meegenomen die in de praktijk veel worden gebruikt en ten minste 40 gram vezels/100 gram product bevatten, namelijk: FOS, GOS, inuline, gedroogde witlofwortel, acacia gom, partieel gehydrolyseerde guar gum (PHGG), psyllium, bèta-glucanen, glucomannan, pectine, resistent zetmeel type 2 en zemelen. Er is specifiek voor gekozen om alleen naar type 2 resistent zetmeel te kijken, omdat deze het grootste effect op gezondheid lijkt te hebben (18,19).

Voorwaarden voor inclusie van artikelen:

Artikelen werden overwogen voor inclusie in dit overzicht als het een onderzoek was

dat betrof: 1) een interventie-onderzoek of meta-analyse; 2) uitgevoerd bij mensen; 3) gedaan in Westerse landen, omdat gezondheidsaspecten en darmmicrobioom bij andere culturen zeer verschillend is dan dit van Europa en daarmee niet vertaalbaar is; 4) volwassenen (≥ 18 jaar en ouder). Onderzoeken waren geëxcludeerd wanneer: 1) er geen fulltext beschikbaar was in de Engelse taal; 2) een interventie bestond uit een combinatie van verschillende gezuiverde vezel-producten.

Resultaten

Bovengenoemde zoekmethoden resulteerden in 42 artikelen die zijn meegenomen in dit overzicht, voor de volgende vezels: acaciagom (n=3), bèta-glucanen (n=6), FOS (n=3), GOS (n=2), gedroogde witlofwortel (n=2), glucomannan (n=1 meta-analyse), inuline (n=8), pectine (n=3), PHGG (n=0), psyllium (n=6), resistent zetmeel (n=6), zemelen (n=2). Hiervan zijn alle studies gerandomiseerde interventies, op 6 meta-analyses na (zie [Supplementaire tabel 1](#) voor details en samenvatting). De effecten van de onderzochte vezels op glucosemetabolisme worden apart samengevat in Tabel 1. Aparte aandacht is gegeven aan de effecten van vezelinname op vetmetabolisme omdat dit ook van belang is bij metabole gezondheid (Tabel 2).

Prebiotische (fermenteerbare, niet-viskeuze) vezels

Van FOS, GOS en inuline worden weinig tot wisselende effecten gezien wanneer het gaat om metabole gezondheid. Bij de korte keten oligosacchariden bij FOS en GOS werden geen effecten gezien op nuchter of postprandiale bloedglucose en cholesterol. Alleen in mannen, maar niet in vrouwen, werd bij GOS supplementatie een positief effect gevonden op plasma triglyceriden. GOS heeft geen effect op de insulinegevoeligheid, en van FOS is dit niet gemeten (20–24).

De effecten van het langere keten inuline op metabole gezondheid wisselen, zo laten sommige studies wel een gunstig effect zien op insulinegevoeligheid en postprandiale bloedsuikers, maar andere niet (25–29). Ook voor de markers van vetmetabolisme zoals triglyceriden, LDL- en HDL-cholesterol zijn verschillende bevindingen. Vroege studies met kleine groepen vinden vaak wel gunstige effecten (30–32), maar recentere onderzoeken met grotere populaties en betere kwaliteit van metingen hebben juist geen effecten van

inuline beschreven op plasma triglyceriden, HDL- en LDL-cholesterol (26,33–35). Het is daarom aannemelijk dat inuline geen of een klein effect hierop heeft. Het effect van inuline op intrahepatisch levervet is onduidelijk: 20g inuline zorgde zelfs voor een stijging van 20% in levervet in mensen met niet-alcoholische leververvetting (36). Echter in een ander onderzoek werd een afname van intrahepatisch vetgehalte gezien na een combinatie van afvaldieet met 30g inuline (37). Dit resultaat kan echter ook komen door het afvaldieet in combinatie met gewichtsverlies in plaats van de inuline. Het onderzoek van Lancaster et al (2022) zag zelfs schadelijke effecten van een hoge dosering inuline (30g) op het leverenzym alanine aminotransferase, waardoor deelnemers moesten stoppen om ontwikkeling van cholestase te voorkomen (35).

Gedroogde witlofwortel is een minimaal bewerkte groente die van nature een combinatie bevat van vier vezels, namelijk inuline (70%), pectine (10%) en hemi-cellulose en cellulose (5%) (38). In tegenstelling tot de hoog bewerkte FOS, GOS en inuline die proximaal worden gefermenteerd, zijn de vezels in gedroogde witlofwortel intrinsiek en bereiken deels de distale colon (15). Deze prebiotische groente zorgde bij personen met overgewicht/obesitas en prediabetes voor een daling van 15% in insulinegevoeligheid, verlaagde de variatie in continue bloedsuikers (gemeten met continue glucose sensor), plasma triglyceriden en intrahepatisch vetgehalte. Daarnaast was er een significante afname in subcutaan abdominale vetcel grootte (39,40). Er werden geen effecten gezien op nuchter bloedglucose of LDL-cholesterol. HDL-cholesterol was niet veranderd wanneer er op groepsniveau werd gekeken, maar wanneer mensen werden opgedeeld op basis van de grootte van verandering in insulinegevoeligheid (responders vs. niet-responders), werd er wel een significante stijging waargenomen in het gezond geachte HDL-cholesterol (40). Een verdere sub-analyse liet zien dat na gedroogde witlofwortelconsumptie, VLDL- en triglyceride deeltjesgrootte was afgenomen, HDL-deeltjesgrootte was toegenomen en er was een hogere HDL-deeltjes concentratie (41). Deze veranderingen in HDL zijn gunstig en geassocieerd met een lager risico op type 2 diabetes (42).

Samenvattend worden er nauwelijks metabole effecten gezien van de korte keten

vezels FOS en GOS. De effecten van inuline zijn wisselend op glucosemetabolisme en vetmetabolisme. In hele hoge doseringen zijn er indicaties dat inuline mogelijk schadelijk kan zijn voor de levergezondheid. Gedroogde witlofwortel met natuurlijke, intrinsieke combinatie van 4 vezels in laat daarentegen zeer duidelijke positieve metabole effecten zien wat betreft insulinegevoeligheid, postprandiale bloedsuikers, plasma triglyceriden, intrahepatisch vetgehalte en abdominale vetcelgrootte, en soms op HDL-cholesterol. Bij deze gedroogde witlofwortel zit de inuline in de plantencel en wordt daardoor anders gefermenteerd, daarom zijn deze resultaten niet vertaalbaar naar onderzoeken met inulinepoeder.

Fermenteerbare, niet-viskeuze vezels

Acaciagom, ook bekend als Arabische gom, komt uit de gedroogde hars van bomen. Er zijn weinig kwalitatief goede studies gedaan naar de metabole effecten van acaciagom, en de onderzoeken die gedaan zijn laten geen impact zien op alle metabole parameters geëvalueerd in dit artikel (43–45). De Europese Food Safety Authority (EFSA), verantwoordelijk voor alle voedingsclaims, heeft een claim voor acaciagom op bloedsuikerregulatie afgewezen (46).

Een andere bekende gom, partieel gehydrolyseerde guar gom (PHGG) vormt geen gel in de darm vanwege de vooraf uitgevoerde enzymatische hydrolyse, anders dan bij onbewerkte guar gom dat wel een gel vormt. Met PHGG zijn er geen interventie-onderzoeken naar de metabole effecten gerapporteerd die binnen onze criteria vallen. Onbewerkte guar gom heeft wel toegekende EFSA-claims voor het verlagen van cholesterol en bloedsuikerrelatie (47), echter werkt deze vezel heel anders vanwege de gelvorming. Dit proces ontstaat niet bij PHGG waardoor deze resultaten niet te vertalen zijn naar PHGG. Onbewerkte guar gom is lastig in gebruik omdat het zeer snel klontert en wordt daardoor minder toegepast.

Er zijn verschillende types resistent zetmeel, waarvan type 3 vaak ontstaat door het koken en afkoelen van aardappelen, rijst en pasta, en type 2 veelal aanwezig is in onverhit voedsel zoals onrijpe bananen of rauwe aardappelen (bevat <10% resistent zetmeel). Een meta-analyse liet zien dat er slechts beperkte effecten voor postprandi-

ale glucose en insuline werden gezien voor type 3, en de meest belovende resultaten gevonden zijn voor type 2 resistent zetmeel (19). Een door hitte/vocht behandeling gemodificeerd hoog-amylase maïszetmeel met >50% type 2 resistent zetmeel is veelvuldig onderzocht. In deze onderzoeken is consistent gevonden dat deze vezel geen effect heeft op plasma triglyceriden, HDL- of LDL-cholesterol, intrahepatisch vetgehalte of abdominale vetgrootte. Er werden wisselende resultaten gezien wat betrekking tot een verbetering in insulinegevoeligheid en nuchter bloedsuikers (48–53). Wanneer een product minimaal 14% van het totaal zetmeelgehalte uit resistent zetmeel bestaat, geldt er voor postprandiale glucose een goedgekeurde EFSA-claim (54).

Samenvattend heeft acaciagom als niet-viskeuze maar wel-fermenteerbare vezel geen metabole effecten. Van PHGG is dit onbekend. Resistent zetmeel type 2 lijkt soms positief voor het glucosemetabolisme, maar met wisselende resultaten. Resistent zetmeel heeft geen impact op markers van het vetmetabolisme.

Viskeuze, gelvormende vezels

Meer gunstige effecten worden gezien van bèta-glucanen, een fermenteerbare vezel, dat van nature aanwezig is in haver en gerst. Veel onderzoek heeft laten zien dat bèta-glucanen gunstig zijn voor het LDL-cholesterol, onder andere bekeken in enkele meta-analyses (55,56). Daarom is er ook een goedgekeurde EFSA-claim voor het verlagen van LDL-cholesterol bij inname van ≥ 3 g/dag bèta-glucanen (European Food Safety Authority (EFSA), 2009). Er worden wisselende resultaten gezien voor triglyceriden: deze lijken niet te verlagen wanneer bèta-glucanen in voeding zoals haver worden geconsumeerd, maar wel wanneer het als geïsoleerd supplement wordt gebruikt (55). Bèta-glucanen lijken geen impact te hebben op insulinegevoeligheid, maar wel op het verlagen van de postprandiale glucoserespons (59,60), en nuchter bloedglucose wordt alleen verlaagd bij hoge doseringen (61).

Een meta-analyse met 14 onderzoeken naar de effecten van glucomannan zag gunstige effecten naar nuchter bloedglucose, plasma triglyceriden, LDL- en totaal cholesterol (62). Echter, wanneer de effecten alleen werden bekeken in mensen met prediabetes, waren de effecten op nuchter bloedglucose en triglyceriden niet meer aanwezig.

	Viskeuze vezels: bèta-glucanen, psyllium, pectine, glucomannan	Prebiotische vezels: FOS, GOS, inuline, gedroogde witlofwortel	Fermenteerbaar, niet-viskeus: resistent zetmeel, acaciagom, PHGG
LDL cholesterol	↓	Nee	Nee
Triglyceriden	Bèta-glucanen en glucomannan soms	↓ Gedroogde witlofwortel, GOS soms	Nee
Intrahepatisch vet & abd. vetgrootte	Niet gemeten	↓ Gedroogde witlofwortel	Nee
Glucose-metabolisme	Soms	↓ Gedroogde witlofwortel, inuline soms	Resistent zetmeel type 2 soms
Mechanismen	Gelvorming, vertraagde afgifte en verminderde opname, binding met galzuren.	Fermentatie door darmmicrobioom. Intrinsieke vezelstructuur zorgt voor langzamere afbraak, distale fermentatie en ↑ korte ketenvetzuren en ↑ butyraat.	Vertraagde afgifte insuline en opname glucose, fermentatie door darmmicrobioom.

Figuur 2. Samenvattend overzicht van effecten van verschillende vezels op parameters en mechanisme.
Beperkt-fermenteerbare en niet-viskeuze vezels (zemelen) hebben geen metabole effecten.

EFSA heeft in 2010 de gezondheidsclaim voor glucomannan omtrent nuchter bloedsuiker, postprandiale bloedsuikerregulatie en triglyceriden afgewezen (63), maar wel toegekend voor LDL-cholesterol (bij ≥ 4 g/dag glucomannan).

Pectine is een fermenteerbare vezel die van nature veel voorkomt in citrus, appels, peren en bessen. Pectine heeft een EFSA-claim op het gebied van postprandiale bloedglucose verlaging (bij ≥ 10 g pectine/dag) en LDL-cholesterol management (bij ≥ 6 gram pectine/dag) (64). Het is belangrijk om te noemen dat het bewijs van deze claims komt uit relatief oude studies (65–68). Een recenter onderzoek zag echter geen effecten op nuchter of postprandiale bloedglucose (69). Onderzoek uit 2012 liet zien dat de chemische structuur van pectine bepaalt hoe effectief het cholesterol kan beïnvloeden, daarmee leek pectine uit appel en citrus het meest effectief, en hoog bewerkte pectines met een lage graad van esterificatie niet tot weinig effectief (70).

Psyllium bestaat uit gedroogde gezuiverde vliesjes van zaadhuiden van de *Plantago ovata* plant. In water wordt psyllium zeer viskeus en is nauwelijks tot niet-fermenteerbaar in de darm. Psyllium heeft geen toegekende EFSA-claims (71). In onderzoek en meta-analyse wordt een gunstig effect van psyllium op LDL-cholesterol gezien. Geen effecten zijn er op HDL-cholesterol en triglyceriden en er worden wisselende effecten gezien op glucosemetabolisme, waarbij psyllium geen effect lijkt te hebben op insulinegevoeligheid (72–74, 79).

Samenvattend zijn de effecten van viskeuze vezels op metabole gezondheid wisselend. Deze vezels zijn bewezen effectief voor het verlagen van LDL-cholesterol, maar hebben geen effect op HDL-cholesterol en wisselend op triglyceriden. Intrahepatisch vetgehalte en abdominale vetcelgrootte zijn vaak niet gemeten. Op glucosemetabolisme zien we vaker een gunstig effect op dynamische metingen van bloedglucose, maar er lijken geen effecten op insulinegevoeligheid.

Beperkt-fermenteerbare en niet-viskeuze vezels

Granen zijn belangrijke bronnen van beperkt-fermenteerbare en niet-viskeuze vezels. Een bekend vezelrijk voorbeeld hiervan is zemelen, die het buitenste vlies zijn van de graankorrel. Deze vezels zijn grotendeels arabinoxylanen. Wat zemelen betreft, is de insulinegevoeligheid niet gemeten, en lijken ze verder geen effect te hebben op glucose- of vetmetabolisme (75,76).

Tabel 1. Effect van vezels op parameters van glucosemetabolisme

Verbetering in	Insulinegevoeligheid†	Nuchter bloedglucose	Dynamische meting van bloedglucose‡
Acacia gum (43,44,46)	Nee	Nee	Nee
Bèta-glucanen (59,60,78)	Nee	Soms	Ja
FOS (20–22)	Niet gemeten	Nee	Nee
Gedroogde witlofwortel (39,40)	Ja	Nee	Ja
GOS (23,24)	Nee	Nee	Nee
Glucomannan (62)	Niet gemeten	Soms	Soms
Inuline (25–29)	Soms	Nee	Soms
Pectine (64,69)	Nee	Nee	Ja
PH Guar Gum	Niet gemeten	Niet gemeten	Niet gemeten
Psyllium (73,74,79,80)	Nee	Soms	Soms
Resistent zetmeel type 2 (48–53)	Soms	Soms	Ja
Zemelen (75,76)	Niet gemeten	Nee	Nee

† Metingen van insulinegevoeligheid: glucose tolerantie test (oraal of intraveneus), HOMA-IR of de gouden standaard euglycemic hyperinsulinemic clamp, zowel 1-stap als 2-stap.

‡ Dynamische bloedglucosemeting: postprandiaal (area under the curve) of met continue glucose sensor.

Tabel 2. Effect van vezels op parameters van vetmetabolisme

Verbetering in	Triglyceriden	HDL-cholesterol	LDL-cholesterol	Intrahepatisch vetgehalte	Abdominale vetcel grootte
Acacia gum (45)	Nee	Nee	Nee	Niet gemeten	Niet gemeten
Bèta-glucanen (55–58)	Soms	Nee	Ja	Niet gemeten	Niet gemeten
FOS (22)	Nee	Nee	Nee	Niet gemeten	Niet gemeten
Gedroogde witlofwortel (40)	Ja	Soms	Nee	Ja	Ja
GOS (23,24)	Soms	Nee	Nee	Niet gemeten	Niet gemeten
Glucomannan (62)	Soms	Nee	Ja	Niet gemeten	Niet gemeten
Inuline (26,33–36)	Nee	Nee	Nee	Nee	Niet gemeten
Pectine (64)	Nee	Nee	Ja	Niet gemeten	Niet gemeten
PH Guar Gom	Niet gemeten	Niet gemeten	Niet gemeten	Niet gemeten	Niet gemeten
Psyllium (73,74,79,80)	Nee	Nee	Ja	Niet gemeten	Niet gemeten
Resistent zetmeel type 2 (48, 50-53)	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee
Zemelen (75,76)	Soms	Nee	Nee	Niet gemeten	Niet gemeten

Resultaten wisselen voor plasma triglyceriden, waarbij indicaties zijn dat het wel of niet aanwezig zijn van extra gluten (eiwitten) zorgen voor een verlaging van triglyceriden, maar bij 'normale' zemelen dit niet het geval is (77).

Discussie

In dit narratief overzichtsartikel worden de metabole effecten van verschillende soorten vezels beschreven. Samengevat verlagen viskeuze vezels zoals bèta-glucanen, psyllium en pectine het LDL-cholesterol, en soms beïnvloeden ze de postprandiale glucoserespons en plasma triglyceriden. Resistent zetmeel type 2 en inuline hebben als fermenteerbare vezels wisselende effecten op het glucosemetabolisme, maar er worden vaak geen effecten op het plasma lipiden gezien. Ze lijken daarnaast geen effect te hebben op intrahepatisch vetgehalte of abdominale vetcelgrootte. Voor gezuiverd inulinepoeder zijn er indicaties dat bij hoge doseringen dit mogelijk negatief is voor de levergezondheid. Gedroogde witlofwortel heeft een significant gunstig effect op insulinegevoeligheid, plasma triglyceriden, intrahepatisch vetgehalte en abdominale vetcelgrootte, en daarnaast ook op postprandiale glucoseresponse. FOS, GOS, acaciagom en zemelen hebben geen tot weinig metabole effecten en van PHGG is dit onbekend.

Deze verschillende effecten van vezels zijn te verklaren aan de hand van hun functionele eigenschappen. Er is een direct verband tussen de verlaging van LDL-cholesterol en de mate van viscositeit van de vezel (81). Viskeuze vezels zijn gelvormend in de darm. Door de stroperige brij worden koolhydraten en vetten minder snel afgebroken en minder snel opgenomen. Viskeuze vezels binden zich aan galzouten en worden uitgescheiden in ontlasting, waardoor de lever het LDL-cholesterol uit het bloed haalt voor aanmaak van deze galzouten en daarmee serum LDL-cholesterol wordt verlaagd (11,82).

Dit proces werkt anders bij fermenteerbare en prebiotische vezels, waarbij de vezels worden afgebroken door de darmbacteriën en gunstige KKV vrijkomen. Steeds meer onderzoek erkent het belang van deze stoffen, en met name butyraat, op metabole gezondheid (83). De KKV werken op verschillende manieren. Systemisch butyraat (in het bloed) bereikt zowel de pancreas, spieren, vetcellen, lever als brein, waar ze inflammatie laten afnemen en insulinegevoeligheid verhogen. Daarnaast binden ze zich aan receptoren in de darm (G-protein coupled receptors GPR41 en GPR43), wat onder andere leidt tot extra aanmaak van glucagon-like peptide 1 (GLP-1) en peptide YY (PYY), die een directe invloed hebben op de verzadiging en glucosehomeostase. In de darm stimuleren ze ook de gluconeogenese door de genexpressie te beïnvloeden (84).

Verder hebben ze ook een effect op het vetmetabolisme: de intracellulaire lipolyse en vetopslag worden gunstig beïnvloed en ze verhogen de levervetoxidatie (83,85).

De metabole resultaten van de fermenteerbare vezels bekeken in dit overzicht variëren, waarbij wisselende resultaten werden gezien voor resistent zetmeel type 2 en inuline, duidelijke effecten voor gedroogde witlofwortel en geen effecten voor FOS en GOS. De mate van KKV- en butyraat-productie, en de locatie van deze productie, blijkt essentieel. Eerder onderzoek liet al zien dat distale fermentatie grotere metabole effecten heeft dan proximale fermentatie (13). Distaal-geproduceerde KKV wordt opgenomen via de rectale aderen en ontwijkt daarmee de poortader naar de lever waar KKV worden afgebroken. Hierdoor zijn er hogere concentraties KKV in het bloed, wat daarmee de rest van het lichaam bereikt. Ook werd gezien dat butyraat- en propionaat afgifte in de distale darm drie keer zo hoog is dan in de proximale darm (86). Dit kan verklaren waarom FOS en GOS geen effect hadden op de metabole gezondheid. Dit zijn korte keten vezels die snel worden gefermenteerd, en onderzoek liet zien dat supplementatie hiermee zelfs zorgde voor een afname van butyraat-producerende bacteriën (87). Inuline en resistent zetmeel type 2 zijn hoog-bewerkte poeders die ook snel worden gefermenteerd in de proximale colon, waardoor beperkte of wisselende

resultaten betreft butyraat-productie wordt gezien (88–90). Gedroogde witlofwortel laat daarentegen consistent een grote toename in KKV (+25%) en butyraat (+20%) zien, die ook deels distaal wordt geproduceerd (15,39,40). Dit is toe te schrijven aan de intacte plantencelstructuur (intrinsieke vezel), waardoor afbraak en fermentatie door darmbacteriën langzamer verloopt en de distale darm kan worden bereikt (14). Orale KKV-suppletie met bijvoorbeeld butyraat lijkt niet of beperkt te werken (83), de essentie zit dus in voldoende eigen productie in de distale darm.

Een van de belangrijkste metabole parameters waar in dit artikel naar is gekeken is insulinegevoeligheid. Er zijn verschillende manieren om dit te meten, waarvan de euglycemic hyperinsulinemic clamp de gouden standaard is (91). Andere methoden die veel

zijn gebruikt bij de artikelen zijn een postprandiale orale of IV glucose tolerantie test, of HOMA-IR, waarbij een berekening wordt gemaakt op basis van nuchter glucose en nuchter insuline. Echter brengen deze methoden beperkingen met zich mee (92). Er zijn maar weinig onderzoeken die de gouden standaard voor insulinegevoeligheid hebben gebruikt: alleen voor GOS, gedroogde witlofwortel en resistent zetmeel type 2 zijn deze ingezet, waardoor die resultaten betreft insulinegevoeligheid het meest betrouwbaar zijn. In dit overzicht is gekeken naar een selectie van parameters van glucose- en vetmetabolisme, maar andere parameters die metabole gezondheid beïnvloeden, zoals bloeddruk, middelomtrek en lichaamsgewicht zijn niet meegenomen in de analyse. Verder zijn de effecten van vezels op levervet en abdominale vetcelgrootte maar zeer weinig bestudeerd, waar

door er voor veel vezels geen conclusie kon worden getrokken voor deze parameters. Dit overzichtsartikel wordt gesterkt door het uitgebreide overzicht van glucose- en vetmetabolisme parameters, waarbij alleen studies van hoge kwaliteit zijn geïncludeerd en ook functionele eigenschappen van vezels zijn meegenomen.

Concluderend, dit overzicht laat zien dat viskeuze vezels zoals bèta-glucanen, pectine, psyllium en glucomannan het LDL-cholesterol verlagen. De effecten van vezels op insulinegevoeligheid, postprandiale bloedglucose en triglyceriden wisselen. De prebiotische intrinsieke groente gedroogde witlofwortel heeft de grootste metabole effecten wanneer het gaat om insulinegevoeligheid, postprandiale glucose-respons, plasma triglyceriden, levervet en abdominale vetcelgrootte. 

Supplementaire tabel 1: Overzicht van de geïncludeerde onderzoeken

Referentie	Studie populatie	Studie design	Duur onderzoek	Interventie	Metabole uitkomsten samengevat
Acacia gom					
Larson et al., 2021 (43)	N=48 gezonde volwassenen	RCT dubbel-blind cross-over	24 uur postprandiaal	0g, 20g of 40g acacia gom in sinaasappelsap	1. ↓ honger en ↑ verzadiging na 15 minuten en 2 uur bij 40g acaciagom t.a.v. controle. 2. Geen effect op AUC bloedsuikers Postprandiaal insuline niet gemeten
Pouteau et al., 2010 (44)	N=21 mannen met metabool syndroom	RCT dubbel-blind cross-over	2x 5 weken met 6 weken wash-out	Drankje (20% pectine, 80% acacia gom), totaal 28g vezels	1. Geen effect op insulinegevoeligheid (HE-clamp) 2. Geen effect op nuchter plasma glucose of nuchter insuline
Jensen et al., 1993 (45)	N=29 volwassenen met hypercholesterolemie	RCT	4 weken	Vezeldrankje met of 1) Acaciagom of 2) Mix van vezel (psyllium, pectine, guargom en bonengom). Beide 15g vezel per dag	Effecten acaciagom: 1. Geen effect op plasma totaal cholesterol, HDL-, LDL- of triglyceriden
Bèta-glucanen					
Telle-Hansen et al., 2022 (61)	N=14 volwassenen	RCT cross-over	3x 3 dagen	Granola met 3 doseringen bèta-glucanen: Laag (0.8g), middel (3.2g) en hoog (6.6g)	↓ nuchter bloedglucose (alleen hoge dosering) ↓ postprandiaal glucose en insuline na OGTT alleen bij middel dosering
Wolever et al., 2018 (60)	N=40 volwassenen	RCT single-blind cross-over	2uur postprandiaal	6 testen met verschillende producten (bèta-glucanen variërend van 0 – 2.8g per portie)	Hogere dosering bèta-glucanen zorgde voor ↓ AUC bloedsuiker en ↓ glucose piek
Behall et al., 2005 (59)	N=10 vrouwen met overgewicht /obesitas	RCT cross-over	4x 2 dagen dieet	4 testmaaltijden variërend in gehalte gerst, haver of glucose (placebo)	↓ Piek van glucose en insuline lager na gerst vergeleken met haver of glucose. ↓ AUC glucose lager bij haver en gerst Insuline gevoeligheid (HOMA-IR) was niet verschillend t.a.v. glucosegroep
Hjorth et al., 2025 (78)	N=194 volwassenen met obesitas en pre-diabetes	RCT dubbel-blind	16 weken	1.≥3 snee brood met extra bèta-glucanen (6 g/dag) 2. Controle brood	Geen effect op HbA1c, nuchter glucose of LDL-cholesterol van bèta-glucanen

Diabetes

Referentie	Studie populatie	Studie design	Duur onderzoek	Interventie	Metabole uitkomsten samengevat
De Morais Junior et al., 2023 (55)	N=1494 volwassenen	Meta-analyse van RCTs	Minimaal 2 weken	Zowel haver interventies als geïsoleerde bèta-glucanen zijn meegenomen.	Haver: ↓ totaal cholesterol en ↓ LDL Geïsoleerd bèta-glucanen: ↓ totaal cholesterol, ↓ LDL, ↓ triglyceriden Beide geen effect op HDL-cholesterol
Whitehead et al., 2014 (56)		Meta-analyse van RCTs		Haver bèta-glucanen	↓ LDL-cholesterol, ↓ totaal cholesterol, geen effect op HDL-cholesterol of triglyceriden
Fructo-oligosacchariden (FOS)					
Alles et al., 1999 (22)	N= 20 volwassenen met type 2 diabetes	RCT cross-over single-blind	20 dagen	15g FOS of 4g glucose (placebo)	Geen effect op totaal, HDL-, LDL-cholesterol, triglyceriden, nuchter bloedglucose
Giacco et al., 2004 (20)	n=30 volwassenen met milde hypercholesterolemie	RCT cross-over	2x 2 maanden	10.6 g/dag FOS versus placebo (maltodextrine + aspartaam)	1. Geen effect op LDL- en HDL-cholesterol, triglyceriden. 2. Postprandiale glucose niet verschillend. Postprandiale insuline (na test meal) sign. lager (wel klein effect) → beperkte klinische relevantie.
Van Dokkum et al., 1999 (21)	N=12 volwassen mannen	RCT dubbel-blind cross-over	4x 3 weken	15g inuline, FOS of GOS	Wel fermentatie en microbiom effect, maar geen effecten op bloed lipidenprofiel en glucose-absorptie
Galacto-oligosacchariden					
Canfora et al., 2017 (23)	N=44 volwassenen met overgewicht / obesitas met prediabetes	RCT dubbel-blind	12 weken	15g GOS of maltodextrine	1. Geen effect op insulinegevoeligheid (HE 1-stap clamp) 2. Geen effecten op nuchter glucose, insuline, triglyceride
Vulevic et al., 2013 (24)	N=45 volwassenen met overgewicht en metabool syndroom	RCT cross-over	2x 12 weken	B-GOS versus maltodextrine (5.5 gram)	1. Geen effecten nuchter glucose. ↓ Nuchter insuline 2. Geen effect op HDL- en LDL-cholesterol. 3. Na 6 +12 weken ↓ triglyceriden in mannen, maar niet in vrouwen
Gedroogde witlofwortel					
Puhlmann et al., 2022 (39)	N=55 volwassenen met prediabetes	RCT dubbel-blind	5 weken	2 weken 15g gedroogde witlofwortel en 3 weken 30g gedroogde witlofwortel. Iso-calorisch maltodextrine	1. Geen effect nuchter bloedglucose, insuline 2. ↓ variatie bloedsuikers (continue glucose sensor)
Omary et al., 2025 (40)	N=35 volwassenen met prediabetes	RCT dubbel-blind	12 weken	2 weken 15g gedroogde witlofwortel en 10 weken 30g gedroogde witlofwortel. Iso-calorisch gepofte rijstballetjes	1. 15% toename insulinegevoeligheid (2-stap HE clamp) (hele lichaam en perifeer, niet hepatisch). 2. Geen effect nuchter bloedglucose of insuline, LDL-cholesterol 2. ↓ 15% afname triglyceriden en intrahepatisch vetgehalte 3. ↓ 20% afname adipose tissue grootte
Glucomannan					
Sood et al., 2008 (62)	N=531 volwassenen	Meta-analyse met 14 studies		Glucomannan	↓ totaal en LDL-cholesterol, triglyceriden, nuchter bloedsuiker → Triglyceriden en bloedglucose niet gedaald in mensen met prediabetes
Inuline					
Mitchell et al., 2021 (25)	N=24 volwassenen met prediabetes	RCT dubbel-blind	6 weken	10g inuline of maltodextrine + controlled diet	Geen effect nuchter bloedglucose, ↓ insulinegevoeligheid (HOMA-IR) en ↓ nuchter insuline.
Canfora et al., 2022 (28)	N=12 volwassenen (normoglycemic) en n=12 prediabetes	2x RCT cross-over	1 dag + washout (14 dagen)	Studie 1: Inuline+RS, inuline (12g) of maltodextrine Studie 2: bèta-glucanen+RS of maltodextrine	Kijk alleen naar studie 1 → inuline groep vs placebo: geen effect postprandiaal glucose of insuline of plasma free fatty acids

Diabetes

Referentie	Studie populatie	Studie design	Duur onderzoek	Interventie	Metabole uitkomsten samengevat
Van der Beek et al., 2018 (26)	N=14 mannen met overgewicht of obesitas	RCT cross-over dubbel-blind	1 dag + Wash-out (5 dagen)	Hoog vet milkshake met 24g inuline of 24g maltodextrine	1. ↑ vet oxidatie na inuline 0-3 uur 2. ↓ Postprandiaal plasma glucose en insuline, ↑ plasma free fatty acids 3. Geen effect op triglyceriden
Guess et al., 2016 (27)	N=40 volwassenen met prediabetes	RCT cross-over dubbel-blind	2x 2 weken en wash-out	30g inuline of cellulose (placebo)	1. ↓ Insulinegevoeligheid (HOMA-IR) bij mensen met prediabetes 2. ↑ postprandiaal insuline 0-60min 3. Geen effect postprandiaal glucose
Chambers et al., 2019 (36)	N=18 volwassenen met non alcoholic fatty liver disease	RCT parallel dubbel-blind	42 dagen	20g inuline-propionaat ester, 20g inuline	↑ intrahepatisch vetgehalte in de inuline groep
Chambers et al., 2019 (29)	N=12 volwassenen met overgewicht of diabetes	RCT cross-over dubbel-blind	3x 42 dagen en wash-out	20g inuline-propionaat ester, 20g inuline of cellulose	1. ↓ Insulinegevoeligheid (HOMA-IR) beide inulines 2. Geen effect systemische inflammatie markers
Lancaster et al., 2022 (35)	N=18 volwassenen	RCT cross-over	3x3 weken en 6-8 weken wash-out	Arabinoxylan, inuline of een vezelmix (arabinoxylan, inuline, acaciagom, glucomannan en RS). 1 week 10g, 2e week 20g en 3e week 30g	↑ 30g inuline: alanine aminotransferase Geen effect op LDL- en HDL-cholesterol
Hiel et al., 2020 (33)	N=150 volwassenen met obesitas	RCT single-blind	3 maanden	16 g natief inuline + inulinerijk voedingsadvies versus maltodextrine + fructanenarme voeding	1. Geen effecten LDL-, HDL- en totaal cholesterol, triglyceriden, fibroscan (lever elasticiteit) of insulinegevoeligheid (HOMA-IR). 2. ↓ nuchter insuline
Pectine					
Schwab et al., 2006 (69)	N=66 middle-age volwassenen met abnormale glycemie	RCT dubbel-blind	12 weken	Drankje met suikerbiet pectine of polydextrose of controle + voedingsadvies	Geen effect nuchter glucose of postprandiale glucose. ↑HDL cholesterol na pectine
Brouns et al., 2012 (70)	N=30 Volwassenen met milde hypercholesterolemie	RCT cross-over	4 weken met wash-out 1 week. Per deelnemer 3 vezel en control	15 g cellulose (control) of 15g pectine, 6 soorten: citrus (DE-0, DE-35, DE-70), appel (DE-35, DE-70), sinaasappel pulp (DE-70), laag moleculair gewicht (DE-70).	Appel DE-70, citrus DE-70 en citrus DE-35 was het meest effectief voor cholesterol en triglyceriden → Hoog geesterificeerde pectine zorgt voor grootste verlaging in cholesterol → Pectine met laag viscositeit maar hoge oplosbaarheid was niet effectief
Brown et al., 1999 (68)	7 RCT's met pectine, n=757 volwassenen	Meta-analyse	Gemiddelde lengte 34 dagen		Significant effect van pectine op totaal cholesterol bij dosering van 2.2- 9 gram/dag. 1 gram pectine = 0.05 mmol/L afname LDL-cholesterol
Psyllium					
Gibb et al., 2015 (72)	Mensen met prediabetes en type 2 diabetes	Meta-analyse			↓ nuchter bloedglucose, ↓ HbA1c. Effect groter in patiënten met type 2 diabetes
De Bock et al., 2012 (73)	N=47 adolescente mannen met obesitas, laag SES	RCT cross-over single-blind	2x6 weken met 2 weken wash-out	6g psyllium of placebo (aardappel zetmeel)	1. Geen effect insuline sensitiviteit (OGTT), nuchter insuline, nuchter glucose 2. ↓ LDL-cholesterol
Pastors et al., 1991 (74)	N=18 volwassenen met type 2 diabetes niet-insuline afhankelijk	RCT cross-over	Postprandiaal + 7 dagen wash-out	3 standaard maaltijden (ontbijt, lunch diner) + 2x 6.8g psyllium of placebo (bij ontbijt en diner)	↓ postprandiaal glucose en insuline
Pal et al 2017 (93)	N=127 Volwassenen met overgewicht en obesitas	RCT dubbel-blind	12 maanden	5g polyglycoplex, 5g psyllium of 5g rijst mee (controle)	Effecten psyllium: ↓ totaal- en LDL-cholesterol na 3 maanden maar niet bij 6 en 12 maanden ↓ nuchter insuline en HOMA-IR. Geen effect voor nuchter glucose Hoge drop-out rate, bij 12 maanden nog 93 deelnemers

Diabetes

Referentie	Studie populatie	Studie design	Duur onderzoek	Interventie	Metabole uitkomsten samengevat
Pal et al., 2011 (79)	N=57 volwassenen met overgewicht en obesitas	RCT single-blind	12 weken	Placebo (broodkruiden), 12g psyllium, gezond eten + 12g psyllium, gezond eten + placebo	Effecten psyllium: Geen effect op triglyceriden of HDL-cholesterol, nuchter glucose ↓ Totaal cholesterol en LDL-cholesterol
Anderson et al., 2000 (80)	Volwassenen met milde tot matige hypercholesterolemie	Meta-analyse van 8 studies	≥8 weken	10.2 g/dag	Geen effect op HDL-cholesterol of triglyceriden ↓ totaal cholesterol en LDL-cholesterol
Resistent zetmeel type 2					
Peterson et al., 2018 (53)	N=68 volwassenen met overgewicht en prediabetes	RCT dubbel-blind	12 weken	45g hoog amylose maïszetmeel of isocalorisch zetmeel amylopectine	1. Geen effect insuline sensitiviteit (IV GTT), nuchter of postprandiaal bloedglucose en insuline of intrahepatisch vetgehalte. 2. geen effect LDL-, HDL-cholesterol, triglyceriden.
Bodinhams et al., 2014 (52)	N=14 volwassenen met type 2 diabetes	RCT cross-over single-blind	2x 12 weken met 12 weken wash-out	67g Hi-maize 260 (=40g resistent zetmeel) of 27g Amioca	1. Geen effect op nuchter glucose of insuline, of insulinegevoeligheid (2-step EH clamp), LDL-, HDL-cholesterol, intrahepatisch vet of subcutaan adipose tissue 2. ↓ postprandiaal glucose 3. ↑ nuchter triglyceriden
Bodinhams et al., 2012 (51)	N=12 volwassenen met overgewicht en insulineresistentie	RCT cross-over single-blind	2x 4 weken, 4-weeken wash-out	67g Hi-maize 260 (=40g resistent zetmeel) of 27g Amioca	1. Geen effect nuchter insuline, triglyceride, LDL- en HDL-cholesterol, postprandiaal glucose, insuline sensitiviteit (IV GTT) 2. ↓ nuchter bloedglucose en postprandiale insuline
Gower et al., 2016 (50)	N=23 gezonde, niet diabeet vrouwen BMI 20-47 kg/m ² , opgesplitst in insuline resistent (IR) en insuline sensitief (IS)	RCT cross-over dubbel-blind	3x 4 weken, 4 weken wash-out	15g en 30g Hoog amylose maïszetmeel, in de vorm van koekjes of placebo	IR deelnemers: ↑ insuline sensitiviteit (IV GTT) na 30g, niet na 15g, ↓ nuchter bloedglucose en insuline IS deelnemers: ↓ insulinegevoeligheid, ↑ nuchter bloedglucose en insuline Beide: geen effect triglyceriden, HDL- en LDL-cholesterol
Robertson et al., 2012 (49)	N=15 volwassenen met insulineresistentie	RCT cross-over dubbel-blind	2x 8 weken	40g Hoog amylose maïszetmeel of placebo	↑ insuline sensitiviteit (2-step EH clamp), wel perifeer maar niet hepatisch
Robertson et al., 2005 (48)	N=10 gezonde volwassenen, normaal en overgewicht	RCT cross-over single-blind	2x4 weken met 4 weken wash-out	50g Hi-maize 260 (=30g resistent zetmeel) of Amioca	1. ↑ insuline sensitiviteit (1-step EH clamp), ↓ postprandiaal insuline 2. Geen effect nuchter glucose of insuline, postprandiaal glucose, triglyceriden
Zemelen (arabinoxylan)					
Anderson et al., 1991 (76)	N=20 mannen met hypercholesterolemie	RCT cross-over	2x 7 dagen met 7 dagen wash-out	Gecontroleerd dieet (opname ziekenhuis), zemelen versus haver	Haver significant verlaagde LDL-cholesterol, maar zemelen had geen effect. ↓ Serum triglyceriden
Jenkins et al., 2002 (75)	N=23 volwassenen met type 2 diabetes	RCT cross-over	2x 3 maanden	Ontbijtgranen en brood hoog (19g/dag extra vezel) of laag (4 g/dag extra vezel) in zemelen	Geen effecten op nuchter bloedglucose, HbA _{1c} , serum lipiden, cholesterol of triglyceriden.

Referenties:

- Zhou, B., Rayner, A. W., Gregg, E. W., et al. Worldwide trends in diabetes prevalence and treatment from 1990 to 2022: a pooled analysis of 1108 population-representative studies with 141 million participants. *The Lancet* 404, 2077–2093 (2024).
- International Diabetes Federation. *Atlas Diabetes around the World 11th Edition*. (2024).
- Phelps, N. H., Singleton, R. K., Zhou, B., et al. Worldwide trends in underweight and obesity from 1990 to 2022: a pooled analysis of 3663 population-representative studies with 222 million children, adolescents, and adults. *The Lancet* 403, 1027–1050 (2024).
- Reynolds, A., Mann, J., Cummings, J., et al. Carbohydrate quality and human health: a series of systematic reviews and meta-analyses. *The Lancet* 393, 434–445 (2019).
- Du, H., van der A, D. L., Boshuizen, H. C., et al. Dietary fiber and subsequent changes in body weight and waist circumference in European men and women. *Am. J. Clin. Nutr.* 91, 329–336 (2010).
- Hoge Gezondheidsraad. *Voedingsaanbevelingen Voor België*. (2016).
- Sciensano. Results National Food Consumption Survey Belgium. <https://www.sciensano.be/en/results-national-food-consumption-survey-2022-2023/carbohydrates-and-dietary-fibre/dietary-fibre> (2022).
- Aune, D., Giovannucci, E., Boffetta, P., et al. Fruit and vegetable intake and the risk of cardiovascular disease, total cancer and all-cause mortality—a systematic review and dose-response meta-analysis of prospective studies. *Int. J. Epidemiol.* 46, 1029–1056 (2017).
- van Trijp, M. P. H. Studies on non-digestible carbohydrates in the human intestine: Focus on kinetics of fermentation and degradation. (Wageningen University, 2022). doi:10.18174/558735.
- So, D., Gibson, P. R., Muir, J. G., et al. Dietary fibres and IBS: translating functional characteristics to clinical value in the era of personalised medicine. *Gut* 70, 2383–2394 (2021).
- Giuntini, E. B., Sardá, F. A. H. & de Menezes, E. W. The Effects of Soluble Dietary Fibers on Glycemic Response: An Overview and Futures Perspectives. *Foods* 11, 3934 (2022).
- Cummings, J. H. & Stephen, A. M. Carbohydrate terminology and classification. *Eur. J. Clin. Nutr.* 61, S5–S18 (2007).
- van der Beek, C. M., Canfora, E. E., Lenaerts, K., et al. Distal, not proximal, colonic acetate infusions promote fat oxidation and improve metabolic markers in overweight/obese men. *Clin. Sci.* 130, 2073–2082 (2016).
- Puhlmann, M.-L. & de Vos, W. M. Intrinsic dietary fibers and the gut microbiome: Rediscovering the benefits of the plant cell matrix for human health. *Front. Immunol.* 13, 954845 (2022).
- Puhlmann, M.-L., van de Rakt, E., Kerezoudi, E. N., et al. Analysis of the fermentation kinetics and gut microbiota modulatory effect of dried chicory root reveals the impact of the plant-cell matrix rationalizing its conversion in the distal colon. *Microbiome Research Reports* 3, (2024).
- Gibson, G. R., Hutkins, R., Sanders, M. E., et al. Expert consensus document: The International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics (ISAPP) consensus statement on the definition and scope of prebiotics. *Nat. Rev. Gastroenterol. Hepatol.* 14, 491–502 (2017).
- The Science of Prebiotics. *Cereal Foods World* 65, (2020).
- Lockyer, S. & Nugent, A. P. Health effects of resistant starch. *Nutr. Bull.* 42, 10–41 (2017).
- Pugh, J. E., Cai, M., Altieri, N., et al. A comparison of the effects of resistant

- starch types on glycemic response in individuals with type 2 diabetes or prediabetes: A systematic review and meta-analysis. *Front. Nutr.* 10, (2023).
20. Giacco, R., Clemente, G., Luongo, D., et al. Effects of short-chain fructo-oligosaccharides on glucose and lipid metabolism in mild hypercholesterolaemic individuals. *Clinical Nutrition* 23, 331–340 (2004).
21. van Dokkum, W., Wezendonk, B., Srikanth, T., et al. Effect of nondigestible oligosaccharides on large-bowel functions, blood lipid concentrations and glucose absorption in young healthy male subjects. *Eur. J. Clin. Nutr.* 53, 1–7 (1999).
22. Alles, M. S., de Roos, N. M., Bakx, J. C., et al. Consumption of fructooligosaccharides does not favorably affect blood glucose and serum lipid concentrations in patients with type 2 diabetes. *Am. J. Clin. Nutr.* 69, 64–69 (1999).
23. Canfora, E. E., van der Beek, C. M., Hermes, G. D. A., et al. Supplementation of Diet With Galacto-oligosaccharides Increases Bifidobacteria, but Not Insulin Sensitivity, in Obese Prediabetic Individuals. *Gastroenterology* 153, 87–97.e3 (2017).
24. Vulevic, J., Juric, A., Tzortzis, G., et al. A Mixture of trans-Galactooligosaccharides Reduces Markers of Metabolic Syndrome and Modulates the Fecal Microbiota and Immune Function of Overweight Adults. *J. Nutr.* 143, 324–331 (2013).
25. Mitchell, C. M., Davy, B. M., Ponder, M. A., et al. Prebiotic Inulin Supplementation and Peripheral Insulin Sensitivity in adults at Elevated Risk for Type 2 Diabetes: A Pilot Randomized Controlled Trial. *Nutrients* 13, 3235 (2021).
26. van der Beek, C. M., Canfora, E. E., Kip, A. M., et al. The prebiotic inulin improves substrate metabolism and promotes short-chain fatty acid production in overweight to obese men. *Metabolism* 87, 25–35 (2018).
27. Guess, N. D., Dornhorst, A., Oliver, N., et al. A Randomised Crossover Trial: The Effect of Inulin on Glucose Homeostasis in Subtypes of Prediabetes. *Ann. Nutr. Metab.* 68, 26–34 (2016).
28. Canfora, E. E., Hermes, G. D. A., Müller, M., et al. Fiber mixture-specific effect on distal colonic fermentation and metabolic health in lean but not in prediabetic men. *Gut Microbes* 14, (2022).
29. Chambers, E. S., Byrne, C. S., Morrison, D. J., et al. Dietary supplementation with inulin-propionate ester or inulin improves insulin sensitivity in adults with overweight and obesity with distinct effects on the gut microbiota, plasma metabolome and systemic inflammatory responses: a randomised cross-over trial. *Gut* 68, 1430–1438 (2019).
30. Williams C.M.* & Jackson, K. G. Inulin and oligofructose: effects on lipid metabolism from human studies. *British Journal of Nutrition* 87, 261–264 (2002).
31. Letexier, D., Diraison, F. & Beylot, M. Addition of inulin to a moderately high-carbohydrate diet reduces hepatic lipogenesis and plasma triacylglycerol concentrations in humans. *Am. J. Clin. Nutr.* 77, 559–564 (2003).
32. Jackson, K. G., Taylor, G. R. J., Clohessy, A. M., et al. The effect of the daily intake of inulin on fasting lipid, insulin and glucose concentrations in middle-aged men and women. *British Journal of Nutrition* 82, 23–30 (1999).
33. Hiel, S., Gianfrancesco, M. A., Rodriguez, J., et al. Link between gut microbiota and health outcomes in inulin-treated obese patients: Lessons from the Food4Gut multicenter randomized placebo-controlled trial. *Clinical Nutrition* 39, 3618–3628 (2020).
34. Blaedel, T., Holm, J. B., Sundekilde, U. K., et al. A randomised, controlled, crossover study of the effect of diet on angiotensin-like protein 4 (ANGPTL4) through modification of the gut microbiome. *J. Nutr. Sci.* 5, e45 (2016).
35. Lancaster, S. M., Lee-McMullen, B., Abbott, C. W., et al. Global, distinctive, and personal changes in molecular and microbial profiles by specific fibers in humans. *Cell Host Microbe* 30, 848–862.e7 (2022).
36. Chambers, E. S., Byrne, C. S., Ruyendo, A., et al. The effects of dietary supplementation with inulin and inulin-propionate ester on hepatic steatosis in adults with non-alcoholic fatty liver disease. *Diabetes Obes. Metab.* 21, 372–376 (2019).
37. Guess, N. D., Dornhorst, A., Oliver, N., et al. A randomized controlled trial: the effect of inulin on weight management and ectopic fat in subjects with prediabetes. *Nutr. Metab. (Lond)*. 12, 36 (2015).
38. Puhlmann, M.-L. & de Vos, W. M. Back to the Roots: Revisiting the Use of the Fiber-Rich Cichorium intybus L. Taproots. *Advances in Nutrition* 11, 878–890 (2020).
39. Puhlmann, M.-L., Jokela, R., van Dongen, K. C. W., et al. Dried chicory root improves bowel function, benefits intestinal microbial trophic chains and increases faecal and circulating short chain fatty acids in subjects at risk for type 2 diabetes. *Gut Microbiome* 3, e4 (2022).
40. Omary, L., Canfora, E. E., Puhlmann, M.-L., et al. Intrinsic chicory root fibers modulate colonic microbial butyrate-producing pathways and improve insulin sensitivity in individuals with obesity. *Cell Rep. Med.* 6, 102237 (2025).
41. Puhlmann. Back to the chicory roots: Dietary fibers rediscovered to benefit human health. (Wageningen University, 2024). doi:10.18174/671097.
42. Sokouti, S., Flores-Guerrero, J. L., Kieneker, L. M., et al. HDL Particle Subspecies and Their Association With Incident Type 2 Diabetes: The PREVENT Study. *J. Clin. Endocrinol. Metab.* 106, 1761–1772 (2021).
43. Larson, R., Nelson, C., Korczak, R., et al. Acacia Gum Is Well Tolerated While Increasing Satiety and Lowering Peak Blood Glucose Response in Healthy Human Subjects. *Nutrients* 13, 618 (2021).
44. Pouteau, E., Ferchaud-Roucher, V., Zair, Y., et al. Acetogenic fibers reduce fasting glucose turnover but not peripheral insulin resistance in metabolic syndrome patients. *Clinical Nutrition* 29, 801–807 (2010).
45. Jensen, C. D., Spiller, G. A., Gates, J. E., et al. The effect of acacia gum and a water-soluble dietary fiber mixture on blood lipids in humans. *J. Am. Coll. Nutr.* 12, 147–154 (1993).
46. European Food Safety Authority (EFSA). Scientific Opinion on the substantiation of health claims related to acacia gum (gum arabic) and reduction of post-prandial glycaemic responses (ID 842, 1977) and maintenance of normal blood glucose concentrations (ID 842, 1977) pursuant to Article 13(1) of Regulation (EC) No 1924/2006. *EFSA Journal* 8, (2010).
47. European Food Safety Authority (EFSA). Scientific Opinion on the substantiation of health claims related to guar gum and maintenance of normal blood glucose concentrations (ID 794), increase in satiety (ID 795) and maintenance of normal blood cholesterol concentrations (ID 808) pursuant to Article 13(1) of Regulation (EC) No 1924/2006. *EFSA Journal* 8, (2010).
48. Robertson, M. D., Bickerton, A. S., Dennis, A. L., et al. Insulin-sensitizing effects of dietary resistant starch and effects on skeletal muscle and adipose tissue metabolism. *Am. J. Clin. Nutr.* 82, 559–567 (2005).
49. Robertson, M. D., Wright, J. W., Loizon, E., et al. Insulin-Sensitizing Effects on Muscle and Adipose Tissue after Dietary Fiber Intake in Men and Women with Metabolic Syndrome. *J. Clin. Endocrinol. Metab.* 97, 3326–3332 (2012).
50. Gower, B. A., Bergman, R., Stefanovsky, D., et al. Baseline insulin sensitivity affects response to high-amylose maize resistant starch in women: a randomized, controlled trial. *Nutr. Metab. (Lond)*. 13, 2 (2016).
51. Bodinham, C. L., Smith, L., Wright, J., et al. Dietary Fiber Improves First-phase Insulin Secretion in Overweight Individuals. *PLoS One* 7, e40834 (2012).
52. Bodinham, C. L., Smith, L., Thomas, E. L., et al. Efficacy of increased resistant starch consumption in human type 2 diabetes. *Endocr. Connect.* 3, 75–84 (2014).
53. Peterson, C. M., Beyl, R. A., Marlatt, K. L., et al. Effect of 12 wk of resistant starch supplementation on cardiometabolic risk factors in adults with prediabetes: a randomized controlled trial. *Am. J. Clin. Nutr.* 108, 492–501 (2018).
54. European Food Safety Authority (EFSA). Scientific Opinion on the substantiation of health claims related to resistant starch and reduction of post-prandial glycaemic responses (ID 681), “digestive health benefits” (ID 682) and “favors a normal colon metabolism” (ID 783) pursuant to Article 13. *EFSA Journal* 9, 2024 (2011).
55. de Moraes Junior, A. C., Schincaglia, R. M., Viana, R. B., et al. The separate effects of whole oats and isolated beta-glucan on lipid profile: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Clin. Nutr. ESPEN* 53, 224–237 (2023).
56. Whitehead, A., Beck, E. J., Tosh, S., et al. Cholesterol-lowering effects of oat β-glucan: a meta-analysis of randomized controlled trials. *Am. J. Clin. Nutr.* 100, 1413–1421 (2014).
57. European Food Safety Authority (EFSA). Scientific Opinion on the substantiation of health claims related to beta-glucans from oats and barley and maintenance of normal blood LDL-cholesterol concentrations (ID 1236, 1299), increase in satiety leading to a reduction in energy intake (ID 851, 852. *EFSA Journal* 9, 2207 (2011).
58. European Food Safety Authority (EFSA). Scientific Opinion on the substantiation of health claims related to beta glucans and maintenance of normal blood cholesterol concentrations (ID 754, 755, 757, 801, 1465, 2934) and maintenance or achievement of a normal body weight (ID 820, 823) pursuant. *EFSA Journal* 7, 1254 (2009).
59. Behall, K. M., Scholfield, D. J. & Hallfrisch, J. Comparison of Hormone and Glucose Responses of Overweight Women to Barley and Oats. *J. Am. Coll. Nutr.* 24, 182–188 (2005).
60. Wolever, T. M. S., Jenkins, A. L., Prudence, K., et al. Effect of adding oat bran to instant oatmeal on glycaemic response in humans – a study to establish the minimum effective dose of oat β-glucan. *Food Funct.* 9, 1692–1700 (2018).
61. Telle-Hansen, V. H., Gaundal, I., Høygaard, B., et al. A Three-Day Intervention With Granola Containing Cereal Beta-Glucan Improves Glycemic Response and Changes the Gut Microbiota in Healthy Individuals: A Crossover Study. *Front. Nutr.* 9, (2022).
62. Sood, N., Baker, W. L. & Coleman, C. I. Effect of glucomannan on plasma lipid and glucose concentrations, body weight, and blood pressure: systematic review and meta-analysis. *Am. J. Clin. Nutr.* 88, 1167–1175 (2008).
63. European Food Safety Authority (EFSA). Scientific Opinion on the substantiation of health claims related to konjac mannan (glucomannan) and reduction of body weight (ID 854, 1556, 3725), reduction of post-prandial glycaemic responses (ID 1559), maintenance of normal blood glucose concentration. *EFSA Journal* 8, 1798 (2010).
64. European Food Safety Authority (EFSA). Scientific Opinion on the substantiation of health claims related to pectins and reduction of post-prandial glycaemic responses (ID 786), maintenance of normal blood cholesterol concentrations (ID 818) and increase in satiety leading to a reduction in ene. *EFSA Journal* 8, 1747 (2010).
65. Bolton, R. P., Heaton, K. W. & Burroughs, L. F. The role of dietary fiber in satiety, glucose, and insulin: studies with fruit and fruit juice. *Am. J. Clin. Nutr.* 34, 211–217 (1981).
66. Sahi, A., Bijlani, R. L., Karmakar, M. G., et al. Modulation of glycemic response by protein, fat and dietary fibre. 5, 1431–1435 (1985).
67. JENKINS, D. J. A., LEEDS, A. R., GASSULL, M. A., et al. Decrease in Post-prandial Insulin and Glucose Concentrations by Guar and Pectin. *Ann. Intern. Med.* 86, 20–23 (1977).
68. Brown, L., Rosner, B., Willett, W. W., et al. Cholesterol-lowering effects of dietary fiber: a meta-analysis. *Am. J. Clin. Nutr.* 69, 30–42 (1999).
69. Schwab, U., Louheranta, A., Törönen, A., et al. Impact of sugar beet pectin and polydextrose on fasting and postprandial glycemia and fasting concentrations of serum total and lipoprotein lipids in middle-aged subjects with abnormal glucose metabolism. *Eur. J. Clin. Nutr.* 60, 1073–1080 (2006).
70. Brouns, F., Theuvsen, E., Adam, A., et al. Cholesterol-lowering properties of different pectin types in mildly hyper-cholesterolemic men and women. *Eur. J. Clin. Nutr.* 66, 591–599 (2012).
71. European Food Safety Authority (EFSA). Scientific Opinion on the substantiation of health claims related to dietary fibre (ID 744, 745, 746, 748, 749, 753, 803, 810, 855, 1415, 1416, 4308, 4330) pursuant to Article 13(1) of Regulation (EC) No 1924/2006. *EFSA Journal* 8, 1735 (2010).
72. Gibb, R. D., McRorie, J. W., Russell, D. A., et al. Psyllium fiber improves glycemic control proportional to loss of glycemic control: a meta-analysis of data in euglycemic subjects, patients at risk of type 2 diabetes mellitus, and patients being treated for type 2 diabetes mellitus. *Am. J. Clin. Nutr.* 102, 1604–1614 (2015).
73. de Boek, M., Derraik, J. G. B., Brennan, C. M., et al. Psyllium Supplementation in Adolescents Improves Fat Distribution & Lipid Profile: A Randomized, Participant-Blinded, Placebo-Controlled, Crossover Trial. *PLoS One* 7, e41735 (2012).
74. Pastors, J., Blaisdell, P., Balm, T., et al. Psyllium fiber reduces rise in post-prandial glucose and insulin concentrations in patients with non-insulin-dependent diabetes. *Am. J. Clin. Nutr.* 53, 1431–1435 (1991).
75. Jenkins, D. J. A., Kendall, C. W. C., Augustin, L. S. A., et al. Effect of Wheat Bran on Glycemic Control and Risk Factors for Cardiovascular Disease in Type 2 Diabetes. *Diabetes Care* 25, 1522–1528 (2002).
76. Anderson, J., Gilinsky, N., Deakins, D., et al. Lipid responses of hypercholesterolemia men to oat-bran and wheat-bran intake. *Am. J. Clin. Nutr.* 54, 678–683 (1991).
77. Jenkins, D. J., Kendall, C. W., Vuksan, V., et al. Effect of Wheat Bran on Serum Lipids: Influence of Particle Size and Wheat Protein. *J. Am. Coll. Nutr.* 18, 159–165 (1999).
78. Hjorth, T., Schadow, A., Revheim, I., et al. Effectiveness of regular oat β-glucan-enriched bread compared with whole-grain wheat bread on long-term glycemic control in adults at risk of type 2 diabetes: a randomized controlled trial. *Am. J. Clin. Nutr.* 122, 724–732 (2025).
79. Pal, S., Khossousi, A., Binns, C., et al. The effect of a fibre supplement compared to a healthy diet on body composition, lipids, glucose, insulin and other metabolic syndrome risk factors in overweight and obese individuals. *British Journal of Nutrition* 105, 90–100 (2011).
80. Anderson, J. W., Allgood, L. D., Lawrence, A., et al. Cholesterol-lowering effects of psyllium intake adjunctive to diet therapy in men and women with hypercholesterolemia: meta-analysis of 8 controlled trials. *Am. J. Clin. Nutr.* 71, 472–479 (2000).
81. Vuksan, V., Jenkins, A. L., Rogovik, A. L., et al. Viscosity rather than quantity of dietary fibre predicts cholesterol-lowering effect in healthy individuals. *British Journal of Nutrition* 106, 1349–1352 (2011).
82. Jenkins, D. J., Wolever, T. M., Leeds, A. R., et al. Dietary fibres, fibre analogues, and glucose tolerance: importance of viscosity. *BMJ* 1, 1392–1394 (1978).
83. Blaak, E. E., Canfora, E. E., Theis, S., et al. Short chain fatty acids in human gut and metabolic health. *Benef. Microbes* 11, 411–455 (2020).
84. De Vadder, F., Kovatcheva-Datchary, P., Goncalves, D., et al. Microbiota-Generated Metabolites Promote Metabolic Benefits via Gut-Brain Neural Circuits. *Cell* 156, 84–96 (2014).
85. van Deuren, T., Blaak, E. E. & Canfora, E. E. Butyrate to combat obesity and obesity-associated metabolic disorders: Current status and future implications for therapeutic use. *Obesity Reviews* 23, (2022).
86. Neis, E. P., van Eijk, H. M., Lenaerts, K., et al. Distal versus proximal intestinal short-chain fatty acid release in man. *Gut* 68, 764–765 (2019).
87. Liu, F., Li, P., Chen, M., et al. Fructooligosaccharide (FOS) and Galactooligosaccharide (GOS) Increase Bifidobacterium but Reduce Butyrate Producing Bacteria with Adverse Glycemic Metabolism in healthy young population. *Sci. Rep.* 7, 11789 (2017).
88. Baxter, N. T., Schmidt, A. W., Venkataraman, A., et al. Dynamics of Human Gut Microbiota and Short-Chain Fatty Acids in Response to Dietary Interventions with Three Fermentable Fibers. *mBio* 10, (2019).
89. Salazar, N., Dewulf, E. M., Neyrinck, A. M., et al. Inulin-type fructans modulate intestinal Bifidobacterium species populations and decrease fecal short-chain fatty acids in obese women. *Clinical Nutrition* 34, 501–507 (2015).
90. Birkeland, E., Gharagozian, S., Birkeland, K. I., et al. Prebiotic effect of inulin-type fructans on faecal microbiota and short-chain fatty acids in type 2 diabetes: a randomised controlled trial. *Eur. J. Nutr.* 59, 3325–3338 (2020).
91. DeFronzo, R. A., Tobin, J. D. & Andres, R. Glucose clamp technique: a method for quantifying insulin secretion and resistance. *American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism* 237, E214 (1979).
92. Muniyappa, R., Lee, S., Chen, H., et al. Current approaches for assessing insulin sensitivity and resistance in vivo: advantages, limitations, and appropriate usage. *American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism* 294, E15–E26 (2008).
93. Pal, S., Ho, S., Gahler, R., et al. Effect on Insulin, Glucose and Lipids in Overweight/Obese Australian Adults of 12 Months Consumption of Two Different Fibre Supplements in a Randomised Trial. *Nutrients* 9, 91 (2017).