

**MICRO-
ORGANISMEN
ALS REGISSEURS
VAN DE DUURZAME
EIWITTRANSITIE**

**LECTORAAT
EIWITTRANSITIE**



"Messieurs, c'est les microbes qui auront le dernier mot."
"Gentlemen, it is the microbes who will have the last word."

Louis Pasteur (1822 -1895)

MICRO-ORGANISMEN ALS REGISSEURS VAN DE DUURZAME EIWITTRANSITIE

Dr. Martina Sura-de Jong

Lector Eiwittransitie

Van Hall Larenstein University of Applied Sciences

Achtergrond bij inaugurele rede uitgesproken bij de aanvaarding van het ambt van lector
aan Hogeschool van Hall Larenstein, 5 oktober 2023.



INHOUDSOPGAVE

De eiwitproductie en consumptie in balans brengen	6
Groeierende bevolking en planetaire grenzen	8
Uitdagingen van agrofoodsysteem, landbouw en milieu in relatie tot de eiwittransitie	10
Nutritionele uitdagingen van verschillende eiwitbronnen	14
Micro-organismen als regisseurs van de duurzame eiwittransitie	19
Bodem (micro-organismen) als basis voor voedselproductie	20
Micro-organismen als linking pin tussen bodem, gewassen en humane gezondheid - ONE HEALTH	22
Micro-organismen als alternatieve eiwitbron – “The new protein supply chain”	24
Darm micro-organismen in reactie op verschillende eiwitbronnen	26
Het lectoraat	28
Onderzoekslijnen van het lectoraat	30
Voorbeelden van praktijkgericht onderzoek & onderzoeksprojecten	34
Samen naar balans in eiwitproductie en consumptie	37
Sterke positie van Nederland op het gebied van dierlijke, plantaardige & alternatieve eiwitten	41
Dankwoord	42
Bibliografie	44





DE EIWITPRODUCTIE EN CONSUMPTIE IN BALANS BRENGEN

Beste collega's, studenten, familie en vrienden, geachte aanwezigen,

Graag deel ik met u mijn overwegingen over:

(1) de uitdagingen waarvoor we staan binnen voedsel/eiwitproductie en welke nutritionele uitdagingen er zijn voor de eiwittransitie.

(2) over de rol van micro-organismen in de eiwittransitie.

(3) over praktijkgericht onderzoek van het lectoraat Eiwittransitie en de rol van samenwerking voor een succesvolle realisatie van deze eiwittransitie.

Waarom eiwittransitie?

Met de groeiende bevolking zal er in de toekomst meer vraag zijn naar voedsel, onder andere eiwitten, om ons allemaal te voeden. Eiwitten zijn belangrijke bouwstenen voor onze botten en spieren, en gemiddeld hebben we dagelijks 0,8 g eiwit per 1 kg lichaamsgewicht nodig. Het grootste deel van de eiwitten die we consumeren, bestaat op dit moment uit dierlijke eiwitten. Van de eiwitconsumptie in Nederland is 39% van plantaardige oorsprong en 61% van dierlijke oorsprong ¹ (2012-2016). Over het algemeen hebben dierlijke voedingsmiddelen een grotere carbon footprint dan plantaardige en dit geldt ook wanneer de footprint wordt uitgedrukt per kg eiwit. Om in de toekomst meer mensen te voeden met het huidige consumptiepatroon van dierlijke eiwitten,

zou ook een hogere productie van dierlijke eiwitten nodig zijn, en dus een grotere carbon footprint. Om eiwit voor menselijke voeding te produceren in balans met de natuur, is een eiwittransitie nodig.

Met de eiwittransitie wordt verschuiving van de consumptie van dierlijke eiwitten naar (meer) plantaardige en alternatieve (zoals algen, microben, insecten) eiwitten bedoeld ². Zo biedt de eiwittransitie kansen voor een verschuiving naar een duurzame dierlijke/plantaardige eiwitproductie en een gebalanceerde eiwitketen. Hoewel de footprint een goede maatstaf is voor de evaluatie van broeikasgassen (milieu), deze maat voor duurzaamheid houdt echter geen rekening met nutritionele kwaliteitsverschillen tussen voedselproducten. De belangrijkste functie van voedsel is de bijdrage aan de groei, het herstel en onderhoud van ons lichaam, aan de gezondheid. Welke bijdrage een type voedingsmiddel heeft aan onze gezondheid, hangt af van verschillende factoren zoals het aantal nutriënten, de bio-beschikbaarheid en verteerbaarheid van nutriënten (met name eiwitten), en de hele voedselmatrix waarin een nutriënt/eiwit zich bevindt. Dierlijke eiwitten hebben meestal een betere verteerbaarheid en een betere aminozuursamenstelling. Eiwitbronnen van plantaardige oorsprong missen een enkele essentiële aminozuren. Eiwittransitie is dus niet een simpele vervanging van consumptie van dierlijke eiwitten door plantaardige en alternatieve eiwitten. Het is een complex proces, waarbij eiwittransitie moet zorgen voor een betere balans tussen dierlijke en plantaardige consumptie, zodat de transitie niet alleen bijdraagt aan een beter milieu, maar ook aan een gezonder dieet. In die zin is eiwittransitie geen doel, maar een middel om de bovengenoemde balans te bereiken.

Kunnen we bijdragen aan de eiwittransitie door organismen die we met het blote oog niet kunnen zien - micro-organismen - in te zetten? Uit onderzoek blijkt dat micro-organismen een onderscheidende en cruciale rol kunnen vervullen in de eiwittransitie. Ze bieden een groot perspectief voor productie en consumptie van gezond voedsel afkomstig uit een gezonde bodem, maar ook als een alternatieve bron van eiwitten. Vanuit dringende kennisbehoefte in de maatschappij, het werkveld en bij beleidsmakers om het microbioom van de hele voedselketen in kaart brengen, dragen de nieuwe inzichten bij aan het succesvol realiseren van de eiwittransitie.

Voordat de volgende tekst u meeneemt naar de microbiële wereld, gaan we eerst in op de uitdagingen van voedsel/eiwitproductie en nutritionele uitdagingen van de eiwittransitie. Daarna duiken we in het belang van micro-organismen in de eiwittransitie en als laatste leid ik u door het praktijkgericht onderzoek van het lectoraat Eiwittransitie.



GROEIENDE BEVOLKING EN PLANETAIRE GRENZEN

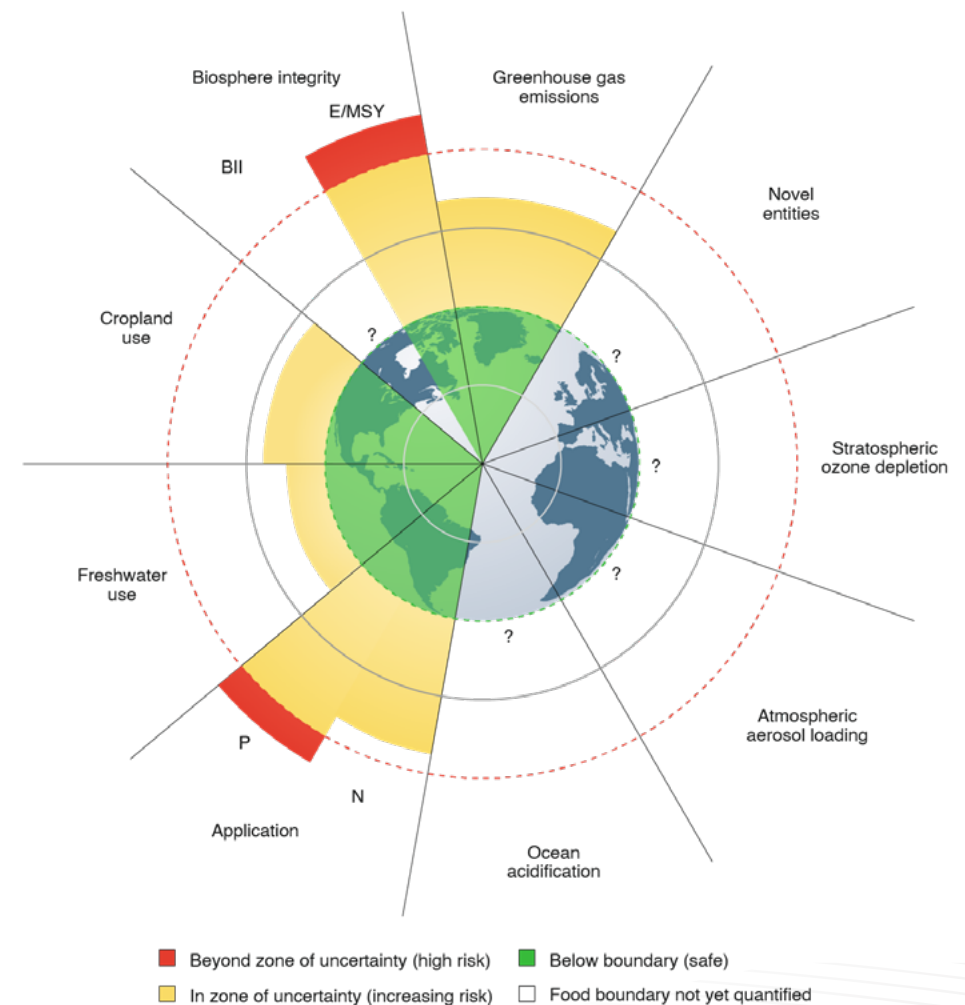
Nederland zal in 2035 naar verwachting 18,3 miljoen inwoners hebben (eind april 2023 telde Nederland 17,85 miljoen inwoners, de wereldbevolking in 2023 is 8 miljard). Samen met de groeiende bevolking zal er in de toekomst meer vraag zijn naar voedsel, waarin eiwitten belangrijke ingrediënten zijn, om ons allemaal te voeden. Gemiddeld hebben we dagelijks 0,8 g eiwit per 1 kg lichaamsgewicht nodig. In Nederland eten we 78 g eiwit per dag, dat is 1,21 g eiwit per 1 kg lichaamsgewicht, en dat zijn vooral dierlijke eiwitten ³.

Naast de toegenomen vraag naar eiwitten als gevolg van bevolkingsgroei, wordt de toegenomen vraag naar eiwitten wereldwijd gedreven door sociaaleconomische veranderingen zoals stijgende inkomens, toenemende verstedelijking en vergrijzing. Hierbij wordt de bijdrage van eiwitten aan gezond ouder worden steeds meer erkend, net als de rol van eiwitten in een gezond voedingspatroon ⁴. Naarmate inkomens stijgen, kiezen mensen steeds meer voor energierijke diëten, die vaak meer eiwitten bevatten. Voor consumptie wordt verwacht dat de totale wereldwijde vraag naar voedsel tussen 2010 en 2050 met 30- 62% zal toenemen ⁵. De behoefte aan landbouw zal toenemen, om zowel mensen als dieren te kunnen blijven voeden. Huidige schattingen voorspellen dat

voor het voeden van de wereldbevolking in 2050 een verhoging van de totale voedselproductie met ~70% tussen 2005/07 en 2050 nodig zal zijn ^{6,7}. Dit leidt tot druk om het landbouwareaal uit te breiden. Landbouuitbreiding in natuurlijke ecosystemen tast de biodiversiteit aan en leidt tot een aanzienlijke uitstoot van koolstofdioxide ⁸. Bovendien neemt de productiviteitsgroei af en is verspilling nog nooit zo hoog geweest. Van al het geteelde voedsel wordt elk jaar wereldwijd ongeveer 40% (2,5 miljard ton voedsel, daarvan gaat ongeveer 1,3 miljard ton verloren op boerderijen in voor- en naoogst) niet opgegeten ⁹.

Dit alles betekent dat de vraag naar eiwitten in de toekomst groter wordt. Dat terwijl we inmiddels de planetaire grenzen hebben bereikt. Rockström et al. (2020) ¹⁰ berekende dat de voedselproductie wereldwijd vijf van de negen planetaire grenzen overschrijdt (Figuur 1).

In ieder geval is duidelijk dat voor een duurzame voedselproductie een verandering, een transitie, nodig is in de manier van productie én consumptie van ons voedsel. Een transitie die bovendien aansluit bij de behoefte aan een gezond dieet ¹¹.



Figuur 1: Een schatting van de overschrijding van de planetaire grenzen door het wereldwijde voedselsysteem. Geel en rood geven een "overschrijding" van de grenzen aan, groen geeft een "veilige" toestand binnen de grenzen aan ¹⁰.



UITDAGINGEN VAN AGROFOOD-SYSTEEM, LANDBOUW EN MILIEU IN RELATIE TOT DE EIWITTRANSITIE

Agrarische voedselsystemen zijn verantwoordelijk voor een derde van de totale antropogene uitstoot van broeikasgassen. Ze worden gegenereerd binnen de boerderij, door gewas- en veeteeltactiviteiten; door veranderingen in landgebruik, bijvoorbeeld ontbossing en ontwatering van veengebieden om ruimte te maken voor landbouw; en in pre- en postproductieprocessen, zoals voedselproductie, detailhandel, huishoudelijke consumptie en voedselverspilling¹²⁻¹⁵. In 2020 bedroeg de wereldwijde jaarlijkse uitstoot van antropogene broeikasgasemissies 52 Gt CO₂-eq*, waarvan de uitstoot van het agrofoodstelsel 16 Gt CO₂-eq bedroeg. Het aandeel van het agrofoodstelsel in de totale uitstoot in 2020 was dus 31%, een aandeel dat relatief geleidelijk afneemt (in 1990 was het 44%), zelfs toen de uitstoot van voedselsystemen in absolute hoeveelheden bleef toenemen¹⁴. Van de wereldwijde uitstoot van het agrofoodstelsel is 57% voor voedselproductie op dierlijke basis (inclusief diervoeder), 29% voor voedsel op plantaardige basis en 14% voor ander gebruik¹⁶.

Van het gehele agrofoodstelsel bedroeg de totale broeikasgasemissie binnen het 'farm gate' (van gewas- en veeteeltproductieprocessen, inclusief energieverbruik op het landbouwbedrijf) 7,2 Gt CO₂-eq; emissie van 'land use change' (als gevolg van ontbossing en veenlanddegradatie) bedroeg 3,5 Gt CO₂-eq; en emissies van pre- en post-

productieprocessen (productie van meststoffen, voedselverwerking, verpakking, transport, detailhandel, huishoudelijke consumptie en verwijdering van voedselafval) bedroegen 5,8 Gt CO₂-eq¹².

De laatste jaren is ook het besef gegroeid dat de landbouw door de uitstoot van broeikasgassen mede verantwoordelijk is voor klimaatverandering. De belangrijkste broeikasgassen in de agrarische sector zijn: CO₂, door de verbranding van fossiele brandstoffen voor energie; methaan, door pensfermentatie van de koe en mestopslag; en lachgas (N₂O), door bodembewerking, bemesting en mestopslag^{14, 17}. In Nederland is de landbouw in totaal verantwoordelijk voor ongeveer 14% van de uitstoot van broeikasgassen (26 Mt CO₂-eq in 2014)¹⁸. Van de 26 Mt CO₂-eq werd 54% uitgestoten door de veehouderij, 21% door gewasteelt en 27% door glastuinbouw¹⁸. Andere data laten zien dat in Nederland tussen 2014 - 2016 66% werd uitgestoten door de veehouderij¹⁹. Nederland wil een substantiële bijdrage leveren aan de Klimaatakkoord van Parijs 2015 en daarom treft het kabinet maatregelen die bijdragen aan 49% broeikasgasreductie in 2030, ten opzichte van 1990. In Europa pleit Nederland²⁰ voor een emissiereductie van 55% in 2030.

De uitstoot van broeikasgassen per kg voedsel verschilt erg per type voedsel: de productie van een kilogram rundvlees heeft een broeikasgas-emissie (BKG-emissie) van

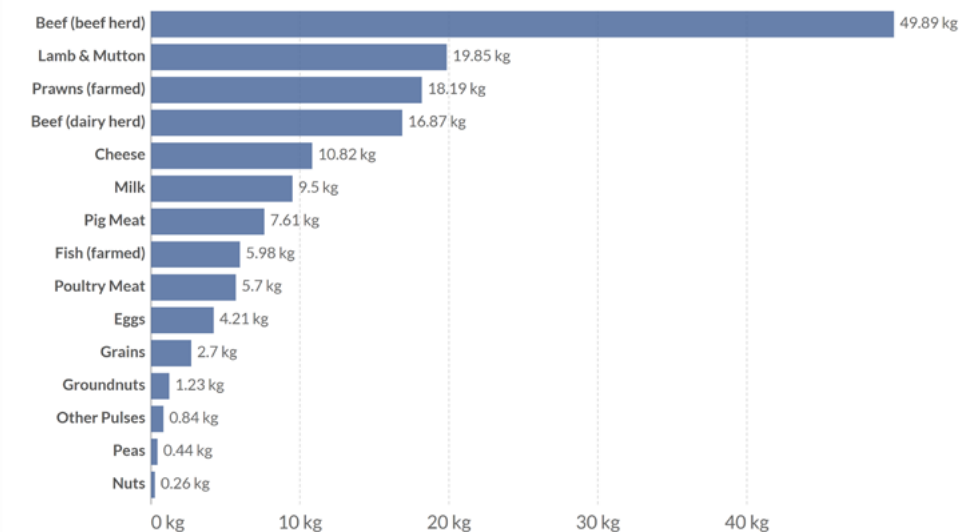
99,48 kg CO₂-eq²¹. Terwijl de productie van doperwten slechts een BKG-emissie heeft van 0,98 kg CO₂-eq/kg²¹. Over het algemeen hebben dierlijke voedingsmiddelen een grotere footprint dan plantaardige. Dit geldt ook wanneer de uitstoot wordt uitgedrukt per kg eiwit (Figuur 2). Als we alleen de uitstoot vergelijken die wordt veroorzaakt door de productie van eiwitten, zou rundvleeseiwit een meer dan 100x grotere footprint hebben dan erwteiwit. Daarbij moet in acht worden genomen dat voedsel nog vele andere belangrijke nutriënten bevat dan alleen maar eiwit.

De landbouw heeft momenteel echter meer uitdagingen. Kenmerkende problemen die gepaard gaan met landbouw en (dierlijke en plantaardige) voedselproductie, zijn naast de besproken BKG-emissies: een hoog energieverbruik per hoeveelheid geproduceerd voedsel, bodemdegradatie, uitspoeling van fosfor en stikstof, een grote waterfootprint, overmatig gebruik van pesticiden, verlies van biodiversiteit, aantasting van landschappen, en voedsel met een verminderde voedingswaarde, wat gevolgen heeft voor de menselijke gezondheid.

Greenhouse gas emissions per 100 grams of protein, 2010

Emissions are measured in [carbon dioxide-equivalents](#dod:carbondioxideequivalents).

Our World in Data



Source: Joseph Poore and Thomas Nemecek (2018). Additional calculations by Our World in Data. OurWorldInData.org/environmental-impacts-of-food • CC BY

Figuur 2: Footprint per 100 g eiwitproductie²¹.

*1 kg CO₂-eq betekent de hoeveelheid broeikasgassen equivalent aan de emissie van 1 kg CO₂.





De transitie naar duurzaam geproduceerde eiwitten en een verschuiving in de consumptie van eiwitbronnen is één strategie om de impact van de voedingsindustrie op het klimaat te verminderen²². Op dit moment halen Nederlanders gemiddeld 61% van hun eiwitten uit dierlijke en 39% uit plantaardige producten¹. In lijn met de eiwittransitie in humane voeding in Nederland is in de Transitie-agenda Biomassa en Voedsel 2018²³ en het Klimaatakkoord 2019 voorgesteld om de gemiddelde eiwitinname met 10-15% te verlagen en om de verhouding dierlijke – plantaardige/alternatieve eiwitten in het dieet om te draaien van 60:40 naar 40:60²⁴⁻²⁶. Voedingscentrum adviseert een 50:50-verhouding en zegt: 'Als iedereen een voedselpatroon van 50% dierlijk en 50% plantaardig eiwit zou hebben, in lijn met de aanbevelingen van de Schijf van Vijf, kan dat de milieu-impact uitgedrukt in broeikasgasemissies van het voedingspatroon met ongeveer 10 tot 13% verlagen'^{3, 27}.

Door meerdere onderzoeksgroepen wordt gekeken naar prognoses voor de landbouwsector met betrekking tot productie en consumptie van voedsel, zowel wereldwijd als in Europa en afzonderlijke landen. In april 2023 bracht de universiteit van Wageningen^{28,29} een online model uit, dat de situatie van het landbouwsysteem voor Europa en individuele landen voorspelt onder verschillende scenario's³⁰. Het model berekende een mogelijke vermindering van 71% in het gebruik van landbouwgrond en

29% per persoon in de uitstoot van broeikasgassen, terwijl we voldoende gezond voedsel produceren binnen een zelfvoorzienend Europees voedselsysteem (scenario CircHealth 28). In het CircHealth-scenario zou de Nederlandse consument dagelijks 28 g rood vlees en 34 g kippenvlees eten. In het CircHealth-scenario bedraagt de consumptie van dierlijke eiwitten 37% en plantaardige eiwitten 63%. Hoewel de ambitie is om de huidige consumptie om te draaien naar maximaal 40% dierlijke en 60% plantaardige eiwitten in 2030²⁶, als we het scenario van de universiteit van Wageningen volgen, zullen we in Nederland de inname van dierlijke eiwitten nog verder terugdringen. En hoewel de scenario's van consumptievoorspellingsmodellen alle benodigde componenten voor gezonde voeding bieden, gaat gezonde voeding verder dan dat. Voedingsmiddelen moeten bijvoorbeeld effectief gecombineerd worden om de biologische beschikbaarheid te verbeteren, en er moeten geschikte verwerkingsmethoden gekozen worden die belangrijke voedingsstoffen behouden en beschikbaar maken²⁸. Daarom moeten de huidige consumptie-prognosemodellen kritisch worden bekeken.

Bovendien rekenen de huidige prognosemodellen voor eiwitproductie alleen met de productie van dierlijke en plantaardige eiwitten, terwijl er een groeiende sector is in alternatieve eiwitbronnen zoals algen, insecten, micro-organismen en vlees geproduceerd door cellulaire landbouw.

Meerdere marketingonderzoeken voorspellen dat de consumptie van microbiële eiwitten en dierlijke eiwitten geproduceerd door cellulaire landbouw de komende jaren zal toenemen^{6, 30, 31}. Een consumptiemodel van Humpenöder et al. (2022)³² laat zien dat het vervangen van 20% van de rood vlees (eiwit)-consumptie door microbiële eiwitten wereldwijd tegen 2050 de jaarlijkse ontbossing en de daarmee verbonden CO₂-uitstoot met ongeveer de helft zou verminderen. Er is een toenemende behoefte om over te stappen op het concept van eiwitdiversificatie, waarbij alternatieve eiwitbronnen worden meegenomen in de toekomstige eiwitvoorspellingen.

³⁰ Scenario Agri Base (AgriBase matches empirical data to for example current crop production systems with associated areas while minimizing the difference with the current food supply), Scenario CirAgri (Circular Self-Sufficient Agricultural Europe meets our current food supply without imports. CirAgri applies production oriented circularity principles and meets today's food supply on a food group level), CirHealth (CirHealth scenario redesigns the food system based on circularity principles while reducing land use and producing enough healthy food within a self-sufficient European food system), CirPop+ (CirPop+ scenario redesigns the food system based on circularity principles while maximizing the production of healthy diets for Europe and beyond. This scenario is able to feed an additional 767 million people outside the EU (+149 %)).





NUTRITIONELE UITDAGINGEN VAN VERSCHILLENDE EIWITBRONNEN

Hoewel de footprint een goede maatstaf is voor de evaluatie van broeikasgassen (milieu), schiet deze tekort voor het evalueren van voedsel op duurzaamheid*** (voedsel duurzaamheid definitie^{33,34}). De belangrijkste functie van voedsel is de bijdrage aan de gezondheid. Hoe gezond een type voedingsmiddel is, hangt af van verschillende factoren zoals: het aantal en variabiliteit in nutriënten, de bio-beschikbaarheid en verteerbaarheid van nutriënten (met name eiwitten), en de hele voedselmatrix waarin een nutriënt/eiwit zich bevindt. Deze factoren samen vormen de gezondheidswaarde van een voedingsmiddel. Dit cruciale aspect wordt vaak over het hoofd gezien en maakt de discussie over het toekomstige dieet voor een groeiende bevolking nog complexer. Dierlijke eiwitten hebben meestal een hogere verteerbaarheid en een betere samenstelling van aminozuren, gerelateerd aan de behoefte van de mens. Eiwitbronnen van plantaardige oorsprong missen een paar essentiële aminozuren (Figuur 3). Als de noodzakelijke transitie naar meer plantaardige eiwitten moet plaatsvinden, is het cruciaal om de samenstelling en bio-beschikbaarheid van verschillende niet-dierlijke eiwitbronnen te evalueren. De verwachting is dat dierlijke eiwitten een belangrijk onderdeel van ons dieet blijven. Het gaat om het vinden van de juiste combinatie - een balans tussen dierlijke, plantaardige en alternatieve eiwitten zodat de transitie niet alleen bijdraagt aan een beter milieu, maar ook aan een gezonder dieet.

TABLE 1 | PDCAAS and DIAAS for selected isolated proteins and foods.

Food	PDCAAS	DIAAS	Limiting AA
MPC ^a	1.00	1.18	Met + Cys
WPI ^a	1.00	1.09	Val
SPI ^a	0.98	0.90	Met + Cys
PPC ^a	0.89	0.82	Met + Cys
RPC ^a	0.42	0.37	Lys
Whole milk ^a	1.00	1.14	Met + Cys
Chicken breast ^a	1.00	1.08	Trp
Egg (hard boiled) ^a	1.00	1.13	His
Cooked peas ^a	0.60	0.58	Met + Cys
Cooked rice ^a	0.62	0.59	Lys
Almonds ^a	0.39	0.40	Lys
Chickpeas ^a	0.74	0.83	Met + Cys
Tofu ^a	0.56	0.52	Met + Cys
Corn-based cereal ^a	0.08	0.01	Lys
Hydrolyzed collagen ^a	0.0	0.0	Trp

PDCAAS, protein digestibility-corrected amino acid score; DIAAS, digestible indispensable amino acid score; MPC, milk protein concentrate; WPI, whey protein isolate; SPI, soy protein isolate; PPC, pea protein concentrate; RPC, rice protein concentrate; Trp, tryptophan.
^aValues from Ref. [26].
^bValues from Ref. [24].
^cHydrolyzed collagen has a PDCAAS and DIAAS of 0 since it contains no Trp and is

Figuur 3: PDCAAS- en DIAAS-scores voor geselecteerde geïsoleerde eiwitten en voedingsmiddelen 35. PDCAAS (Protein Digestibility-Corrected Amino Acid Score), de hoogst mogelijke PDCAAS-waarde die een bepaald eiwit kan bereiken is 1,0, wat aangeeft dat het eiwit ten minste 100% van alle aminozuren levert die nodig zijn in een bepaald dieet. DIAAS (Digestible Indispensable Amino Acid Score), de ileale verteerbaarheid van de essentiële aminozuren.

Belangrijke uitdagingen en vragen in verband met niet-dierlijke eiwitbronnen die ik zie waar we voor staan, zijn hun gebruik en verwerking. Eiwitbronnen kunnen worden gebruikt als een heel product (zonder isolatie van het eiwit, en met alle aanvullende voedingsstoffen inclusief vitamines, antioxidanten, biologisch actieve stoffen en anti-nutritionele stoffen) of het eiwit kan worden geïsoleerd en verder worden gebruikt in voedingsproducten. Worden niet-dierlijke eiwitbronnen gebruikt als een heel product? Isoleren we de eiwitten als concentraat

(met nog enkele extra voedingsstoffen) of als isolaat (zuiver eiwit) en gebruiken we ze verder in voedingsproducten? Met de consumptie van meer plantaardige eiwitten zullen we ook meer anti-nutritionele stoffen consumeren die de bio-beschikbaarheid van sommige micronutriënten en eiwitten verminderen; hebben we hier oplossingen voor? En hoe gaan we om met de meer noodzakelijke voedselverwerking, zoals verwerking om de verteerbaarheid van eiwitten te vergroten, anti-nutritionele factoren te verwijderen en de microbiologische veiligheid van voedsel te garanderen, om de plantaardige en alternatieve eiwitbronnen te incorporeren in voedselproducten? Er is nog weinig bekend over de biochemische eigenschappen en (door verwerking veroorzaakte) veranderingen van verschillende eiwitbronnen in de voedselmatrix. Voedselverwerking staat dan voor meerdere uitdagingen bij de eiwittransitie.

Naast de uitdagingen op het gebied van functionaliteit van de eiwitten in de voedselmatrix (technische functionaliteit) en voor het menselijk lichaam (nutritionele functionaliteit), is een andere uitdaging tijdens de verwerking van plantaardig voedsel de ongewenste smaak van bepaalde plantaardige producten/eiwitten, zoals bitterheid³⁶. Echter, bij de productie van ultra-bewerkte “vleesvervangers” op grote schaal blijkt dat veel vegetarische en veganistische producten momenteel nog zwaar bewerkte ingrediënten, te veel zout en (verzadigd) vet of te weinig vezels bevatten. Terwijl we er steeds meer achter komen dat de consumptie van ultra-bewerkte**** voedingsmiddelen³⁷ (en voedingspatronen rijk aan ultra-bewerkte voedingsmiddelen) gezondheidsnadelen^{38,39} kan hebben, met name op het gebied van hart- en vaatziekten, cerebrovasculaire aandoeningen, depressie, ‘all-cause mortality’ en verhoogde prevalentie van een reeks van chronische ontstekingsziekten^{40,41}.

*** De FAO definieert duurzame voeding als “diets with low environmental impacts which contribute to food and nutrition security and to healthy life for present and future generations. Sustainable diets are protective and respectful of biodiversity and ecosystems, culturally acceptable, accessible, economically fair and affordable; nutritionally adequate, safe and healthy; while optimizing natural and human resources”³³. Consumenten verwijzen echter het vaakst naar ‘de impact op het milieu’ wanneer ze nadenken over voedselgerelateerde duurzaamheid³⁴, terwijl dit begrip en deze benadering voedsel niet volledig evalueren op duurzaamheid.

**** De classificatie van voedingsmiddelen qua bewerking is gebaseerd op hoe verwerkt een voedingsproduct is: klas 1) onbewerkte of minimaal bewerkte voedingsmiddelen, dit zijn bijvoorbeeld eetbare delen van planten of dieren (bijv. zaden, fruit, spieren, eieren, melk), klas 2) bewerkte culinaire ingrediënten (bijv. oliën, boter, suiker, zout), klas 3) bewerkte voedingsmiddelen, gemaakt door groep 2 voedingsmiddelen toe te voegen aan groep 1 voedingsmiddelen (bijv. ingeblikte groenten of vis, kaas, vers brood), en klas 4) ultra-bewerkte voedingsmiddelen, die grotendeels gemaakt zijn van stoffen die zijn afgeleid van voedingsmiddelen of additieven, met weinig of geen intacte groep 1 voedingsmiddelen (bijv. kant-en-klare diepvriesmaaltijden, frisdranken, verpakte snacks).





Onderzoek naar verwerkingsmethoden van eiwitten is niet alleen cruciaal, maar ook noodzakelijk gezien de invloed van verwerkingsmethoden op de verteerbaarheid van eiwitten. Deze kennis kan verder worden vertaald naar de bewerking van voedingsmiddelen, en kan leiden tot mildere bewerking van eiwitten en tot de productie van minder ultra-bewerkte voedingsmiddelen. Met andere woorden: in de voedselbewerking moet ook balans gevonden worden.

Uit bovenstaande kunnen we concluderen dat de eiwittransitie geen gemakkelijke taak is en complexer dan alleen het vervangen van 10 g dierlijk eiwit door 10 g plantaardig eiwit. De inzichten in deze complexiteit kunnen gezondere voedingspatronen met gezondere voedingsproducten/voedingskeuzes inspireren.

Voorgaand hebben we stil gestaan bij het product, maar eiwit is onderdeel van een

dieet. Wat gaan we eten om het milieu minder te belasten en onze gezondheid te verbeteren? De EAT-Lancet Commissie stelde zich tot doel een dieet te ontwikkelen dat zowel duurzaam als gezond is (Figuur 4). De commissie kwam tot de conclusie dat voedselpatronen met minder dierlijke en meer plantaardige producten goed zijn voor zowel het klimaat als de gezondheid²². Een gezond dieet bestaat volgens de commissie uit een grote variatie aan plantaardig voedsel, een kleine hoeveelheid voedsel van dierlijke oorsprong, meer onverzadigd dan verzadigd vet en een kleine hoeveelheid toegevoegde suikers, bewerkt voedsel en geraffineerde granen. Het voorgestelde voedselpatroon (met aanpassingen om te voldoen aan de micronutriënten-behoefte van specifieke bevolkingsgroepen) is dus vooral gebaseerd op plantaardige producten, maar heeft wel plek voor kleine hoeveelheden vis, vlees en zuivel^{22,42}. Een meer plantaardig dieet is voedzaam en zit vol vezels, gezonde vetten, eiwitten, vitaminen, mineralen en

biologisch actieve stoffen, die een positieve invloed kunnen hebben op de menselijke gezondheid⁴³. Ook de Schijf van Vijf van het Voedingscentrum adviseert mensen hoe ze gezondheid en duurzaamheid kunnen combineren⁴⁴. De schijf laat zien welke producten gezond zijn, maar ook welke keuzes beter zijn voor het milieu. Het Voedingscentrum erkent op zijn website dat gezondheid en duurzaamheid niet altijd samengaan, maar geeft twee manieren om die twee te combineren. Eén van die manieren is het vervangen van vlees door peulvruchten, noten of ei en de tweede manier is verlagen van onze voedingsinname⁴⁵.

Het is dus wel mogelijk om milieu-duurzaamheid en gezondheid te combineren: een meer plantaardig onbewerkt dieet is (doorgaans) zowel duurzamer als gezonder, en een grotendeels plantaardig dieet draagt bij aan de gezondheid en minder uitstoot van broeikasgassen⁴⁶. Een transformatie naar een gezond en duurzaam dieet vraagt een grote verandering in ons eetpatroon. Om ons huidige voedingspatroon te veranderen, is bovendien gedragsverandering van individuele consumenten nodig.

Voorbeeld uit de praktijk

Eet je op basis van de Schijf van vijf of niet? Als het antwoord "nee" is en je momenteel veel ultra-bewerkt voedsel eet, zou het vervangen van vlees door niet-dierlijke ultra-bewerkte producten minder impact hebben op het milieu, maar dit zal je gedrag niet veranderen in de richting van een gezonder voedingspatroon.



Figuur 4: Voedsel vormt een onlosmakelijk verband tussen de gezondheid van de mens en milieu²².





MICRO-ORGANISMEN ALS REGISSEURS VAN DE DUURZAME EIWITTRANSITIE

Bieden de met het blote oog onzichtbare organismen opties in de eiwittransitie, in de transitie van ons voedsel? Micro-organismen omvatten bacteriën, virussen, schimmels en eencellige organismen zoals protozoa. We komen ze overal tegen: in de bodem, planten, water, voedsel, maar ook in menselijke darmen. Ze spelen een cruciale rol in verschillende aspecten van het leven op aarde; 'Microbes run the world. It's that simple'⁴⁷. Ze zijn betrokken bij biologische processen zoals de vorming en afbraak van organisch materiaal in de bodem, stikstofbinding, ze maken nutriënten in de bodem voor planten beschikbaar en ze zorgen voor gewasweerbaarheid⁴⁸. Zo dragen ze bij aan de bodem- en plantengezondheid. In menselijke darmen zorgen ze voor vertering en opname van voedingsstoffen, ze produceren vitaminen zoals vitamine K en

beïnvloeden het immuunsysteem. Niet alle micro-organismen werken positief. Er zijn er ook die onder andere plant- of menselijke ziekten kunnen veroorzaken. Nuttige micro-organismen kunnen ook een goede bron van eiwitten zijn in ons dieet.

Uit het recente onderzoek blijkt dat micro-organismen een onderscheidende en cruciale rol kunnen vervullen in de eiwittransitie. De rol van micro-organismen in de Food (eiwit) Supply Chain zal in de volgende tekst vanuit de bovengenoemde invalshoeken worden besproken: de rol van micro-organismen in de bodem, in de "One Health" benadering, als alternatieve eiwitbron en ten slotte als factor die is beïnvloed door geconsumeerd voedsel/eiwitten en invloed heeft op humane gezondheid.



BODEM (MICRO-ORGANISMEN) ALS BASIS VOOR VOEDSELPRODUCTIE

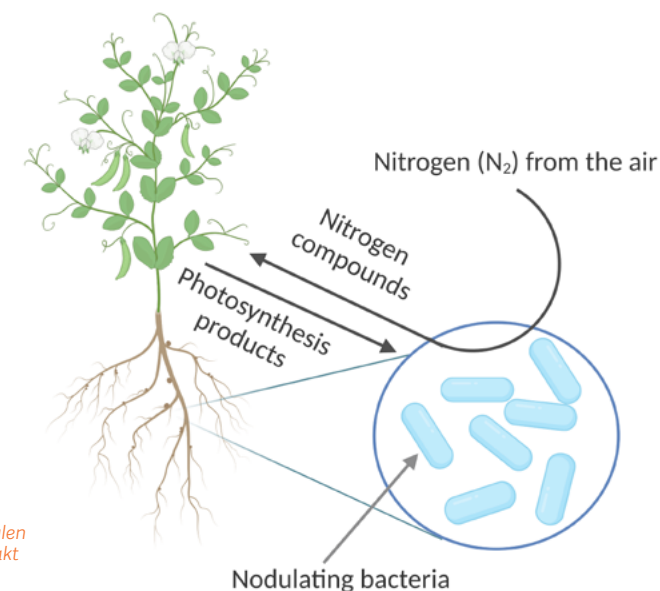
Het merendeel van de wereldbevolking eet een dieet op basis van in bodem geteelde gewassen (plantaardig voedsel) maar ook daar waar het dieet rijk is aan dierlijke producten, is het vee afhankelijk van in de bodem geteeld veevoer. De kwantiteit en voedingskwaliteit van gewassen is sterk afhankelijk van de bodem waarin ze groeien. Het verband tussen de productie van gewassen en de kwaliteit van de bodem is duidelijk aangetoond⁴⁹. Het is duidelijk dat inspanningen gericht op voedselzekerheid niet voorbij kunnen gaan aan het verband tussen bodem en voedsel. Het benutten van het potentieel van bodem micro-organismen in de landbouw wordt beschouwd als een zeer vruchtbare langetermijnoplossing voor voedselzekerheid en menselijke gezondheid⁵⁰.

Bodemorganismen weerspiegelen de chemische en fysische samenstelling van de bodem en haar beheer, en spelen een sleutelrol in de nutriëntencyclus, waaronder de omzetting van voedingsstoffen in vormen die beschikbaar zijn voor planten, gemakkelijker uitspoelen naar waterwegen of worden omgezet in broeikasgassen. Tussen bodemorganismen spelen bodemmicro-organismen ook een belangrijke rol in de koolstofkringloop, inclusief de verhoging van koolstof in de bodem, wat klimaatverandering kan helpen te temperen, terwijl ze de bodemstructuur verbeteren en zo het water beter vasthouden en daarmee het risico op bodemerosie verminderen^{51,52}. Bovendien kunnen bodem micro-organismen nuttige associaties aangaan met planten die

atmosferische stikstof symbiotisch kunnen vastleggen (*rhizobia* bij peulvruchten, Figuur 5) en voedingsstoffen zoals fosfor, zink, ijzer en stikstof opnemen en aan planten leveren. Bodem is het grote reservoir van micro-organismen⁵³, waar tot 95% van de microbiële cellen dormant kunnen zijn, en ongeveer 5% actief is⁵⁴. In het bodemreservoir zitten micro-organismen die belangrijke plagen en ziekteverwekkers kunnen zijn en aanzienlijke oogstverliezen veroorzaken. Maar ook micro-organismen die een rol in het bevorderen van de plantengroei en het beschermen van gewassen tegen fytopathogenen/biotische stress en abiotische stress hebben. Zo zorgen ze voor een veerkrachtige gewasproductie, maar beïnvloeden ze ook de nutritionele kwaliteit van het gewas^{55,56}. Om deze functie uit te voeren, produceren specifieke micro-organismen enzymen of componenten die verantwoordelijk zijn voor 'plant growth promoting properties' (PGPPs). Interessant is dat bodem micro-organismen een erfenis in de bodem kunnen achterlaten die de volgende generatie planten die in dezelfde bodem groeien kan beschermen⁵⁷. Onbalans in de abundantie van microbiële soorten kan leiden tot ziekte-uitbraken^{58,59} en verder tot een waarschijnlijke proliferatie van pathogene soorten^{60,61}.

Een speciale niche in de bodem vormen de plantenwortels en de grond in de buurt van de wortels - de rhizosfeer. De rhizosfeer is de hotspot van microbiële activiteit, hier vinden de meeste plant-microbe interacties plaats; de rhizosfeer vormt een kakofonie van de

Figuur 5: Symbiotische stikstof vastlegging in peulvruchten nodulen door rhizobacteria. (figuur gemaakt met BioRender)



communicatie tussen microben-microben, planten-microben en microben-planten^{62,63}. Vanuit de bodem/rhizosfeer kunnen de microben ook de plant binnendringen (endophytic microben). De samenstelling van deze plant-geassocieerde microbiële gemeenschappen is plant-host-specifiek⁶⁴. Bodem biologie speelt ook een grote rol bij de teelt van eiwitrijke gewassen. Bodem micro-organismen die leven rond de wortels van eiwitrijke gewassen (peulvruchten) kunnen atmosferische stikstof binden. Daarom vragen eiwitrijke gewassen minder of geen (kunst)mest, zijn meestal diepgeworteld en brengen stikstof terug in de bodem⁶⁵. Deze functie is een win-winsituatie voor de eiwittransitie. Door meer eiwitrijke gewassen zoals peulvruchten te introduceren, produceren we niet alleen meer plantaardige eiwitten en verminderen we de footprint van eiwitproductie, maar verminderen we ook de input van kunstmest dankzij de aanwezige microbiota. Huidig onderzoek in Nederland richt zich op veldbonen als het meest kansrijke eiwitgewas in Nederland⁶⁶, waar verschillende varianten worden getest

om onder specifieke (bijv. zoute) omstandigheden te worden geteeld. Om de diversiteit van gewassen te behouden ten behoeve van de biodiversiteit en ook de diverse bronnen van plantaardige eiwitten voor humane consumptie in het kader van de eiwittransitie, helpt het toepassen van kennis over bodem- en planten microbiota in rotatieschema's de veerkrachtige productie van gewassen met minder input van gewasbeschermingsmiddelen.

Voorbeeld uit de praktijk

Naar schatting leeft 80% van de planten op aarde samen met mycorrhiza (schimmels rond de wortels). De schimmels vormen een soort natuurlijke verlenging van het wortelstelsel waardoor planten de grond efficiënter kunnen koloniseren en zowel voedingsstoffen als water beter op kunnen nemen. De schimmel hyphes vormen een groot ondergronds netwerk dat vergelijkbaar is met snelwegen voor de beweging van andere micro-organismen, zoals bacteriën, of als glasvezels om de communicatie over lange afstanden veilig te stellen.





MICRO-ORGANISMEN ALS LINKING PIN TUSSEN BODEM, GEWASSEN EN HUMANE GEZONDHEID - ONE HEALTH

In de voedingsmiddelenindustrie worden micro-organismen vooral gezien als onruststokers, vanwege voedselveiligheidsproblemen. Aan de andere kant vinden ze ook een goede plek in de voedingsmiddelenindustrie, bijvoorbeeld voor de fermentatie van grondstoffen tot gezond en smaakvol voedsel. Hun rol in de voedselketen wordt de laatste jaren steeds duidelijker, vooral in het concept van "One Health" ⁶⁷ (Figuur 6). Dit concept verbindt de bodemmicrobiota, hun impact op plant-geassocieerde microbiota op de microbiële-, nutriënten- en smaakkwiteit ⁶⁸ van planten en via geconsumeerd voedsel verder op de menselijke of dierlijke gezondheid. Deze relaties kunnen zowel positieve als negatieve effecten op gezondheid hebben. Recent onderzoek bestudeerde ook het verband tussen het bodem- en plantmicrobiom en hun effecten op de (microbiële) samenstelling van melk ⁶⁷. In het licht van de eiwittransitie is dit een interessant aspect, dat kan helpen bij het sturen van het management van het melkveebedrijf.

De gedachte bij One Health is, dat langdurig intensief beheer van landbouwgrond met hoge input en het gebruik van aanzienlijke hoeveelheden pesticiden gericht is op de productiviteit van gewassen. Maar dit leidt tot een vereenvoudiging van het bodemvoedselweb ^{70,71} en tot een verminderde microbiële diversiteit in de bodem ⁷². Dit heeft een negatieve invloed op

veel bodemfuncties, waaronder de kringloop van nutriënten en koolstof, de weerstand tegen abiotische factoren zoals droogte ⁷³ en de groei en gezondheid van planten ⁵³. Een verminderde microbiële biodiversiteit in de bodem kan ook belangrijke gevolgen hebben voor het plant-geassocieerde microbiom ^{74,75}, dat daardoor een invloed kan hebben op de voedingskwaliteit van planten ⁷⁶ en smaakkwiteit van gewassen ⁶⁸.

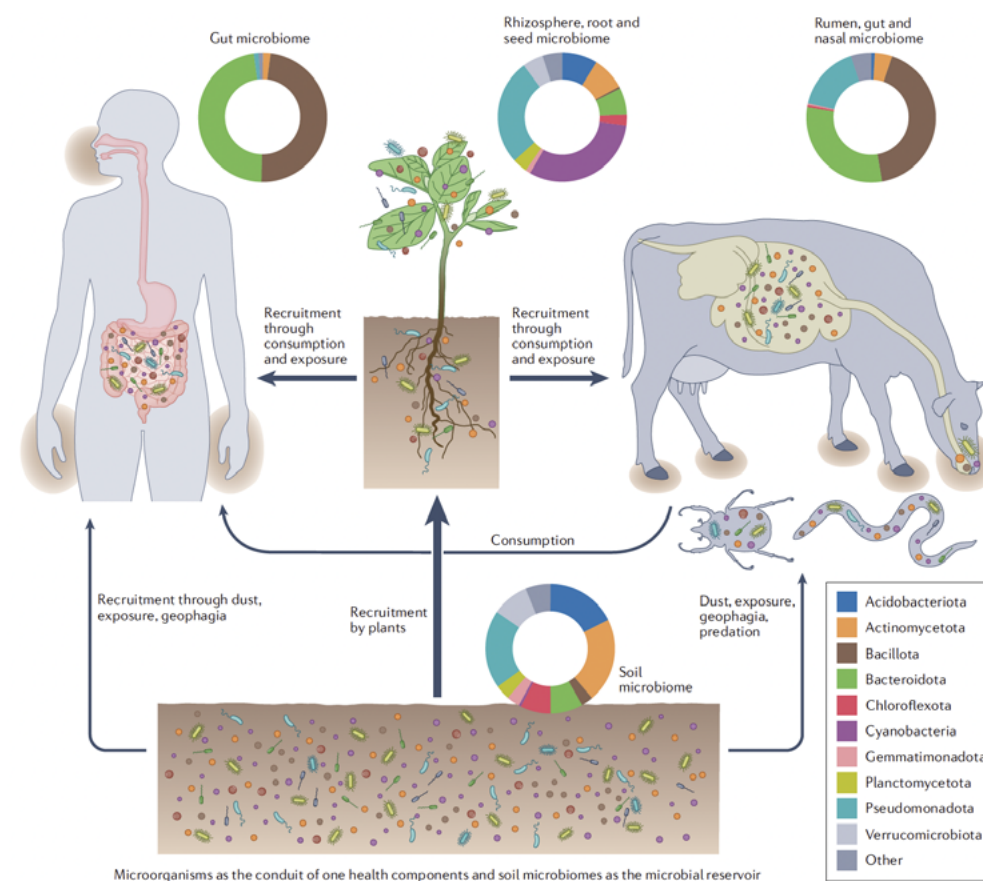
En hoe is dit alles verbonden met de humane gezondheid? De gezondheid van de mens wordt beïnvloed door de darmmicrobiota. De darmmicrobiota wordt beïnvloed door verschillende factoren, waaronder geconsumeerd voedsel. Als we voedsel eten, krijgen we niet alleen de micro- en macronutriënten binnen, maar ook de microbiota van het voedsel. In bewerkt voedsel is de voedselmicrobiota ongewenst (voedsel veiligheid), maar als we rauw fruit en rauwe groenten eten, eten we altijd ook de microbiota van de gewassen. Zoals het in de microbiële wereld is, kunnen microben gunstig of pathogeen zijn. Aangezien de bodem dient als reservoir voor deze microben, lijkt de manier waarop we het land bewerken en de bodemmicrobiota beïnvloeden, de sleutel te zijn voor de nuttige microben, de voedselkwaliteit en de smaak van de gewassen die we consumeren.

Aangezien de One Health benadering en ook de eiwittransitie dezelfde concepten hebben (focus op verlagen van milieu-impact in de

voedselketen, voldoende noodzakelijke voedingsstoffen in gewassen/voedsel en menselijke gezondheid), worden ze gezien als elkaar aanvullend, of beter gezegd elkaar versterkend. Het erkennen van deze aanpak kan zowel het milieu als de consument ten goede komen, vooral in de huidige tijd waarin consumenten wordt gevraagd om meer groenten en fruit en in het algemeen meer plantaardig voedsel te eten.

Voorbeeld uit praktijk

Uit Amerikaans onderzoek blijkt dat we per dag tussen ongeveer een miljoen tot bijna anderhalf miljard microbiële cellen eten. De meeste microbiële cellen eten we met een dieet dat de nadruk legt op fruit en groenten, mager vlees, zuivel en volle granen. Minder eten we met een dieet gericht op gemaksvlees, zoals fastfood, maar ook met een veganistisch dieet ⁷⁷.



Figuur 6: Bodem microbiota en One Health benadering ⁶⁷.



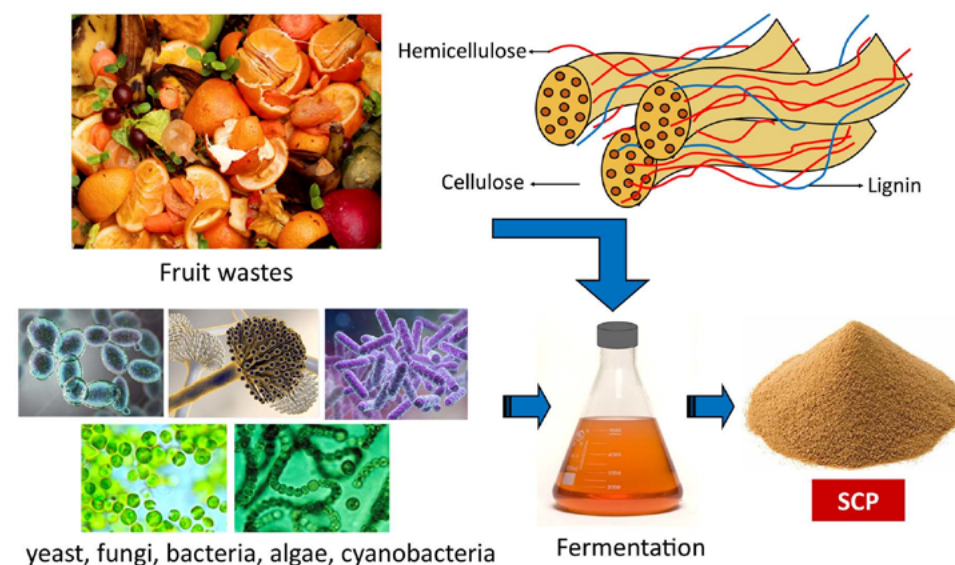
MICRO-ORGANISMEN ALS ALTERNATIEVE EIWITBRON – “THE NEW PROTEIN SUPPLY CHAIN”

De andere manier waarop micro-organismen gunstig kunnen zijn voor de eiwittransitie is hun gebruik als alternatieve eiwitbron. Bacteriën, gist, schimmels en algen hebben een hoog eiwitgehalte en kunnen speciaal voor dit doel worden gekweekt. Bijvoorbeeld als Single Cell Proteins (SCPs), tijdens het proces van Cellulaire Agricultuur ⁷⁸⁻⁸⁰ (Figuur 7).

Deze micro-organismen worden gekweekt in gecontroleerde omgevingen (net als tijdens fermentatie van zuivel of groenten) met behulp van verschillende substraten, zoals agrarische bijproducten of afvalmaterialen, die ze omzetten in eiwitrijke biomassa. Microbiële biomassa vormt eencellig eiwit (SCP) – dat verwijst meestal naar gedroogde of verwerkte biomassa van microben of naar de eiwitten die daaruit worden geëxtraheerd. Het kan worden ingenomen als supplement, ingrediënt of als hoofd-voedingsbron. Micro-organismen bieden verschillende voordelen als eiwitbron. Ze hebben een hoge groeisnelheid, vereisen minimale middelen in vergelijking met traditionele veeteelt en kunnen het hele jaar door geproduceerd worden. Bovendien kunnen ze worden aangepast om specifieke eiwitten te produceren of om voedingsprofielen te verbeteren ⁸⁰ (precisiefermentatie door genetisch gemodificeerde micro-organismen). Dankzij het potentieel voor duurzame fermentatie, en het gunstige voedingsprofiel, hebben SCPs de potentie om een groot onderdeel van ons dieet te worden ^{81, 82}.

De toepassing van microbiële cellen/ eiwitten in voedingsmiddelen stuit echter ook op een aantal uitdagingen, zoals technische (ongewenst hoog RNA-gehalte en dikke celwand), de voedselveiligheid en benodigde goedkeuringen van regelgevende instanties en veiligheidsinstanties, acceptatie door de consument en de economische uitdaging, omdat bij het implementeren van SCPs kapitaaluitgaven nodig zijn om de technologieën uit te breiden ⁸³⁻⁸⁵.

Het meest bekende geproduceerde microbiële eiwit is een mycoproteïne geproduceerd door *Fusarium venenatum*, bekend onder de merknaam QuornTM ⁷⁸. Mycoproteïne is door de Food and Drug Administration (FDA) in de VS sinds 2002 aangemerkt als GRAS ('Generally Regarded As Safe') ⁸⁶. *Fusarium venenatum* heeft een eiwitgehalte van meer dan 45% en samen met andere schimmels is dit een veelbelovende bron van essentiële aminozuren, met een PDCAA van 0.996 ⁸⁷. In vergelijking met andere eiwitrijke voedselbronnen bevatten mycoproteïneproducten ook redelijke hoeveelheden vitamine B9 (foliumzuur), vitamine B12, calcium, fosfor, magnesium en zink ^{87, 88}. Aangezien de vertakte structuur van schimmelmycelium lijkt op spiervezels, kan het mycoproteïne worden gebruikt om een vleesachtige textuur in voedselproducten te verkrijgen. De toepassing van mycoproteïnen als onderdeel van de oplossing voor eiwittransitie is daarom een veelbelovende richting.



Figuur 7: Single cell proteins productie (Cellulair agricultuur) uit reststromen ⁷⁷.

Voorbeeld uit de praktijk

Ontwikkelaars van voedingsproducten zijn vaak gewend om te werken met plantaardige of microbiële eiwitisolaten of -concentraten. Dit betekent dat het eiwit uit de planten en micro-organismen wordt geëxtraheerd. Het mycoproteïne verwijst niet naar een geïsoleerd eiwit. Het verwijst naar het hele schimmelorganisme zelf (zoals het eten van de hele sojaboon in plaats van geïsoleerd

soja-eiwit), dat tot 70% eiwit in drooggewicht kan bevatten. Vind je het vies om schimmels en andere micro-organismen te eten? We eten schimmels ook met ander voedsel, zoals blauwe kaas of Camembert, Brie, of met Tempeh. We eten ook bacteriecellen, bijvoorbeeld met yoghurt, die de bacteriën maken door fermentatie. De micro-organismen die specifiek gebruikt worden in de voedselproductie zijn veilig om te eten.



DARM MICRO-ORGANISMEN IN REACTIE OP VERSCHILLENDE EIWITBRONNEN

De laatst beschreven benutting van micro-organismen in de eiwittransitie is het gebruik van de kennis over darmmicrobiota. Ongeveer 1-2 kg microbiota bevindt zich in onze darmen. De darmmicrobiota speelt een rol in de voeding van de gastheer door de spijsvertering en de productie van gunstige metabolieten, zoals korte-keten-vetzuren (Short Chain Fatty Acids, SCFAs) en vitaminen, te bevorderen⁸⁹. De darmmicrobiota speelt ook een rol in het immuunsysteem en beïnvloedt de weerstand tegen pathogenen. Ze staan bekend als het "tweede brein" omdat ze in twee richtingen communiceren met onze hersenen (gut-brain/brain-gut axis) via het centrale zenuwstelsel⁹⁰. Zo kunnen ze bijvoorbeeld het gedrag en de ontwikkeling van psychologische symptomen beïnvloeden.

Het darmmicrobioom is zeer dynamisch, verandert met de leeftijd en kan zich aanpassen aan veranderingen in de voeding, waaronder verschuivingen in eiwitbronnen⁹¹. Daarom leveren voedingscomponenten (waaronder eiwitten) in onze voeding niet alleen noodzakelijke voedingsstoffen aan het menselijk lichaam, maar ook substraten voor de micro-organismen in de darmen. Onverteerde voedselcomponenten worden door de darmmicrobiota gemetaboliseerd tot een breed scala aan metabolieten. Deze producten van het microbiële metabolisme kunnen de gezondheid van de gastheer beïnvloeden en bijdragen aan het risico op ziekten⁹². Wat we eten vormt dus de structuur, samenstelling en functie van het darmmicrobioom, wat weer gevolgen heeft voor de menselijke fysische en ook psychologische gezondheid⁹³.

Eiwit is bijvoorbeeld het primaire substraat voor de darmmicrobiota om belangrijke nuttige SCFAs te produceren, maar ook schadelijke metabolieten (zoals ammoniak, aminen, waterstofsulfiden, fenolen en indolen)^{92,94}. De consumptie van een gevarieerd scala aan eiwitbronnen, zowel van dieren als van planten, wordt over het algemeen geassocieerd met een diverser darmmicrobioom⁹⁵. Een divers darmmicrobioom wordt vaak beschouwd als gunstig voor de algehele gezondheid⁹⁶. Als we kijken naar de eiwittransitie en het effect van het veranderen van voedingspatronen naar een dieet met meer plantaardige en alternatieve eiwitbronnen, naar verwerking van voedsel/eiwitten, kunnen we ons afvragen welke gevolgen dit zal hebben voor het darmmicrobioom en de menselijke gezondheid. Omdat verschillende plantaardige eiwitbronnen een verschillende verteerbaarheid hebben en de inhoud van plantaardige anti-nutriënten ook de bio-toegankelijkheid van micro-nutriënten in het menselijk lichaam kan beïnvloeden, is het belangrijk om het verband te erkennen tussen de eiwitbron, de samenstelling en verteerbaarheid ervan, de verwerking (van eiwitbron en voedselproduct) en het uiteindelijke effect op het darmmicrobioom (Figuur 8), als een motor voor de menselijke gezondheid.

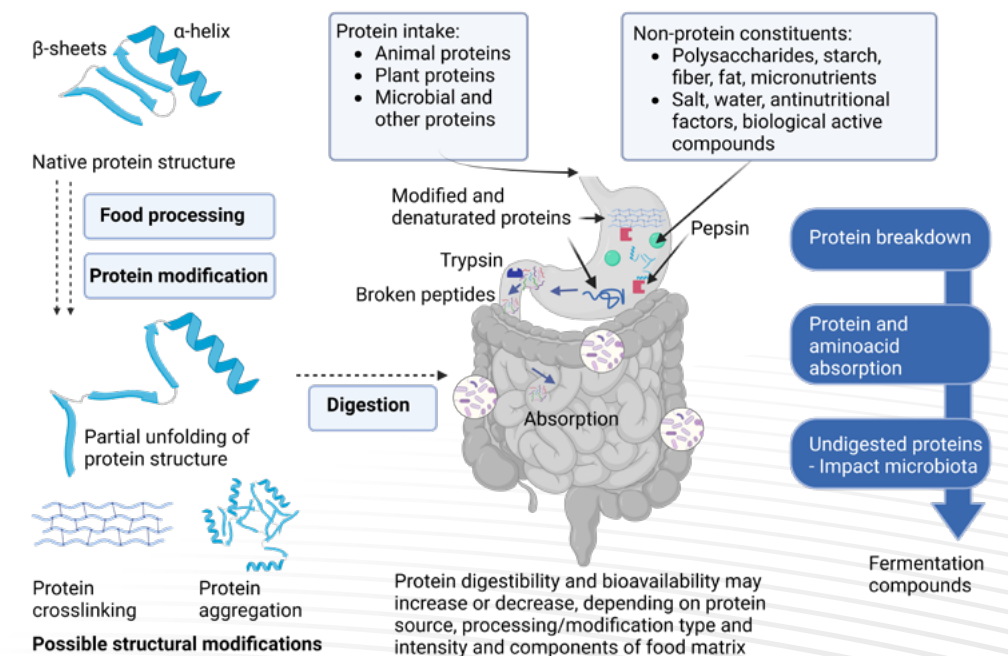
Binnen de eiwittransitie en voedings-aanbevelingen voor een "Planet proof" dieet komen nieuwe uitdagende onderwerpen naar voren voor de verschillende groepen mensen, ook voor oudere volwassenen. Dit is te wijten aan het feit dat spiermassa, kracht en fysieke functie afnemen met de leeftijd, wat kan

leiden tot sarcopenie. Omdat eiwitten essentieel zijn voor de skeletspierfunctie, hebben oudere volwassenen grotere hoeveelheden eiwitten nodig om de spiereiwitsynthese te stimuleren¹⁰⁰. Welke invloed hebben veranderingen in eiwitinname op oudere mensen en hun spiervorming? Kan het aanpakken van het darmmicrobioom leiden tot een verbeterde eiwitopname om sarcopenie te verminderen¹⁰¹? Deze vragen illustreren dat de eiwittransitie erkenning vereist van de verschillende voedingsbehoeften van individuele groepen en dat kennis over het effect op/van darmmicrobiota kan helpen om het proces van eiwittransitie te vergemakkelijken. Het is echter belangrijk te realiseren dat voedselconsumptie en de effecten ervan op de menselijke gezondheid verder gaan dan eiwitconsumptie en

beïnvloed worden door, gecombineerde factoren, zoals onder andere voedselmatrix, consumptiepatronen en levensstijl.

Voorbeeld uit de praktijk

Heb je ooit "vlinders" in je buik gevoeld als je opgewonden of nerveus bent? Of misschien heb je als je nerveus bent meer aandrang om naar het toilet te gaan of heb je zelfs last van diarree. Dat zijn je hersenen die tegen je darmen praten. De communicatie tussen darmen en hersenen is ook andersom. Volgens onderzoek van Dantas et al. (2022) van de Maastricht Universiteit⁹⁷ hebben veranderingen in je darmmicrobiota invloed op hoeveel risico je neemt en zelfs op hoe je je geld investeert. Hier vermindert de consumptie van microbiële probiotische stammen risicogedrag en bevordert het toekomstgerichte keuzes.



Figuur 8: Schematisch overzicht van invloed van eiwit bewerking op eiwitvertering en beschikbaarheid in het maag-darmkanaal en de invloed op darmmicrobiota^{98,99}. Figuur gemaakt met BioRender.





HET LECTORAAT

Uit het hierboven beschreven recente onderzoek blijkt dat micro-organismen een cruciale rol kunnen vervullen in de eiwittransitie.

Het lectoraat “Eiwittransitie” zal zich dan ook richten op hoe micro-organismen aantoonbaar bijdragen aan een gezonde bodem, gezonde gewassen met goede nutritionele waarde en smaak, en uiteindelijk gezonde mensen (het One Health concept). Daarnaast richt het lectoraat zich op de toepassing van micro-organismen als hoogwaardige eiwitbron voor humane consumptie.

Hierbij is duurzaamheid (bijvoorbeeld de footprint) een zeer belangrijk criterium. Omdat de eiwittransitie een aanpak vereist die verder gaat dan onderzoek naar het microbioom, is het onderzoeksteam van het lectoraat multidisciplinair en wordt ook onderzoek gedaan naar verdienmodellen, consumentenacceptatie, hybride voedsel ontwikkeling en de voedselomgeving. Deze “Soil to Society” benadering weerspiegelt de missie van het lectoraat.

Missie

De missie is het vertalen van bestaande en vergaren van nieuwe kennis van het microbioom om deze in te zetten voor een eiwitproductie en -consumptie in balans met natuur en gezondheid. De samenwerking en het samenbrengen van bodemgezondheid, voedingswaarde van gewassen, (microbieel) voedsel en menselijke gezondheid spelen hierin een sleutelrol.

Visie

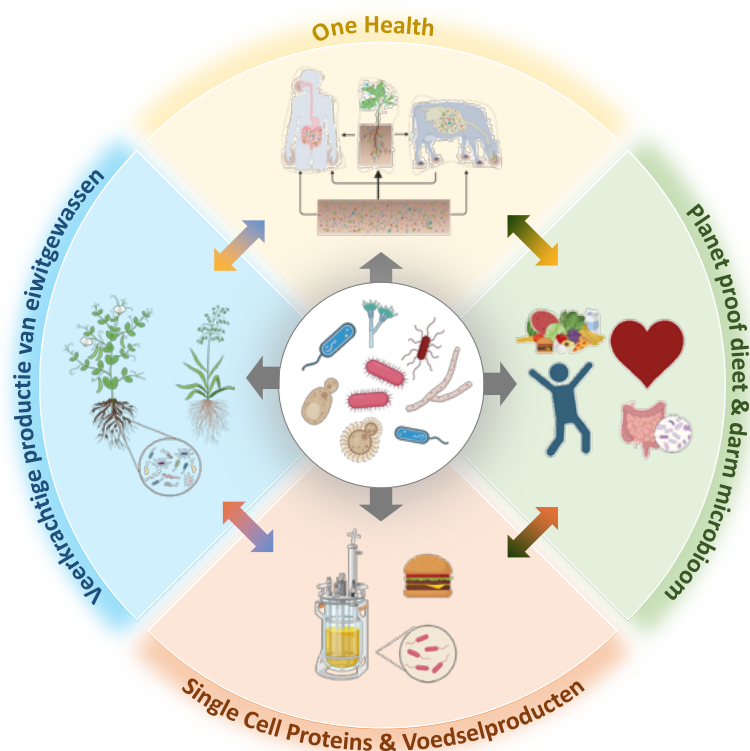
De visie van het lectoraat is dat deze systeembenadering leidt tot minder impact van de landbouw op het milieu, beter voedsel en een betere gezondheid van de mens.

ONDERZOEKSLIJNEN VAN HET LECTORAAT

Het lectoraat heeft vier onderzoekslijnen, die een overlap weerspiegelen tussen het thema eiwit transitie en HVHL opleidingen. Microbiologie is de rode draad.

Er zijn vier onderzoekslijnen, waarin de focus voor het ontwikkelen van nieuwe verdien-modellen en de verduurzaming van de (dierlijke) voedselproductie belangrijke uitgangspunten zijn. Deze vier onderzoekslijnen zijn (Figuur 9):

1. "One Health" - Microbiota als link tussen bodem, voedsel en mensen
2. Veerkrachtige productie van eiwitgewassen
3. Single cell proteins & ontwikkelen van nieuwe (hybride) voedselproducten
4. Planet proof dieet & darm microbiom
- Gezondheidsaspecten van verschillende eiwitbronnen



Figuur 9: Schematische samenvatting van onderzoekslijnen binnen het lectoraat, met microbiota als leidende draad. Dit schema toont (met pijlen) de overlappingen van onderzoekslijnen.

De centrale onderzoeksvraag van het lectoraat is het realiseren van de voedselketen/ systeemverandering naar een duurzame voedsel productie en consumptie, die in balans met onze natuur en gezondheid is. Deze onderzoeksvragen en uitdagingen staan centraal binnen het lectoraat:



Hoe zijn (bodem) microbiota, (nutritionele) plant kwaliteit en humane gezondheid verbonden?

Welke landbouwpraktijken ondersteunen nuttige bodemmicrobiota en de opname van nutriënten door planten? Zijn bodemmicrobiota en melksamenstelling met elkaar verbonden?



Hoe kunnen we weerbare eiwitrijke gewassen produceren?

Welke gewassen zijn geschikt voor de regio? Lokale eiwitvoorziening. Plant-microbe interacties, stikstoffixatie. Moleculaire veredeling van weerbare gewassen.



Hoe kunnen we microbieel eiwit produceren en in voedsel gebruiken?

Microbiële fermentatie, Single cell proteins, cellulaire agricultuur, voedselontwikkeling, LCA, mildere verwerking, vermindering van antinutritionele factoren.



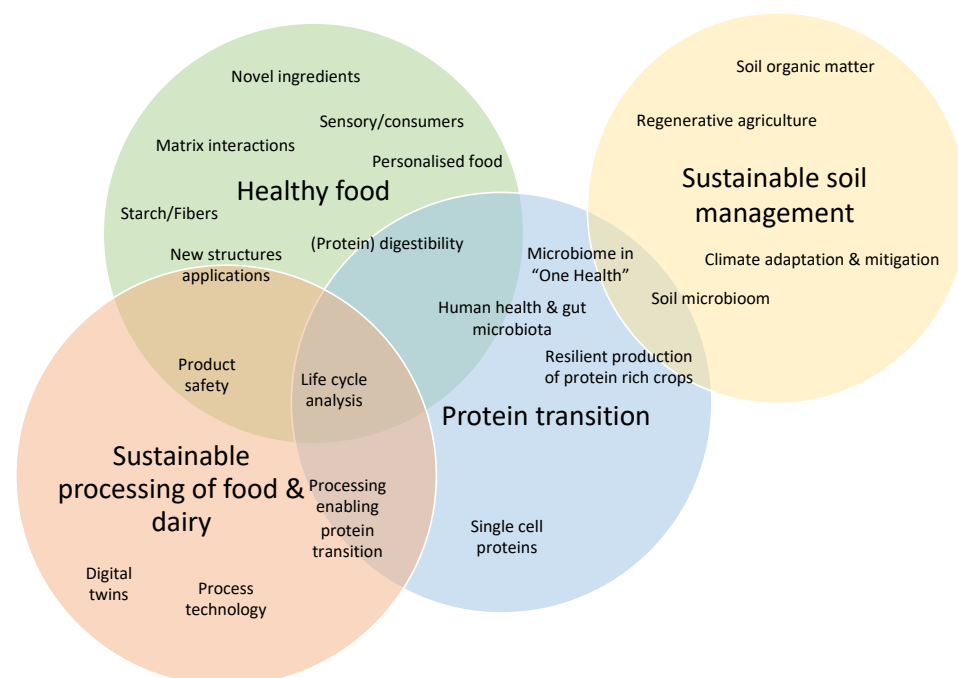
Hoe reageert het menselijk lichaam op verschillende eiwitbronnen?

Hoe beïnvloeden verschillende eiwitten/nieuwe voedselproducten het darmmicrobiom (tweede hersenen) en de menselijke fysieke en psychische gezondheid? Gebruik van Eten voor de Wetenschap platform. "Planet proof" diet.



Vanwege aanvullende expertises die nodig zijn om de inspanningen te bundelen, werkt het lectoraat Eiwittransitie nauw samen met

HVHL-lectoraten Duurzaam Bodembeheer, Duurzame Proces (zuivel) Technologie en Healthy Food (Figuur 10).



Figuur 10: Schema hoe het lectoraat Eiwittransitie is gekoppeld aan andere lectoraten in het voedseltransitie cluster (Duurzame proces (zuivel) technologie, Healthy Food) en Duurzaam bodembeheer.





VOORBEELDEN VAN PRAKTIJKGERICHT ONDERZOEK & ONDER- ZOEKSPROJECTEN

De vier onderzoekslijnen van het lectoraat Eiwittransitie zijn met elkaar verbonden. Zoals het schema (Figuur 9) laat zien, heeft onderzoekslijn #1 een overlap met #2 en #4, heeft onderzoekslijn #2 overlap met #1 en #3, enzovoort. De volgende tekst leidt u door de voorbeelden van praktijkgericht onderzoek die ik voorzie binnen de vier onderzoekslijnen van het lectoraat:

(1) Eerste onderzoekslijn onderzoekt de invloed van landbouwpraktijken op micro-organismen in de bodem en planten, zoals bacteriën, schimmels en protisten. Daarnaast onderzoekt deze lijn de invloed van bodemmicro-organismen op het nutriëntengehalte van gewassen en daarna op menselijke gezondheid ("One health" benadering). Met de intensivering en industrialisering van de landbouw is het huidige nutriëntengehalte van gewassen de afgelopen tachtig jaar gedaald. Welke invloed heeft dit op de menselijke gezondheid? Hierbij hoort ook onderzoek met melkveehouders naar de link tussen bodemmicro-organismen, en de kwaliteit van (kruidenrijk) grasland en melk. Dat kan impact hebben op het bedrijfsmanagement en verdienmodel. In deze onderzoekslijn leggen we focus op bodemregeneratie en microbiële bodemdiversiteit. Deze onderzoekslijn is in samenwerking met lectoraat Duurzame bodembeheer op HVHL. Deze onderzoekslijn overlapt met onderzoekslijn #2 (door onderzoek naar de interacties tussen bodemmicrobioom en planten en focus op de voedingskwaliteit van

planten) en #4 (onderzoek naar het effect van verschillende voedsel-/eiwitbronnen op het darmmicrobioom).

(2) Tweede onderzoekslijn richt zich op verhogen van productie van eiwitrijke gewassen, voor humane consumptie. In de eerste en tweede onderzoekslijn onderzoeken we nieuwe verdienmodellen voor boeren via valorisatie van hun producten. We willen bijvoorbeeld nagaan welke eiwitrijke gewassen het beste groeien op welke grond, hoeveel grond er nodig is en welke bedrijfsvoering daarbij past. Eiwitproductie moet voor agrariërs wel rendabel zijn. Mogelijk onderzoek hier is ook het telen van veerkrachtige eiwitrijke gewassen. Met een verhoogde productie van eiwitrijke gewassen zal deze onderzoekslijn naar verwachting bijdragen aan een vermindering van de stikstofemissies (en minder gebruik van kunstmest), door de bijdrage van stikstofbindende microbiota die met peulvruchten zijn geassocieerd. Deze onderzoekslijn overlapt met onderzoekslijn #1 (door onderzoek naar de interacties tussen bodemmicrobioom en plant en focus op de voedingskwaliteit van planten) en #3 (eiwitrijke gewassen als eiwitbron voor de ontwikkeling van nieuwe hybride voeding).

(3) Derde onderzoekslijn is gericht op alternatieve eiwitbronnen, zoals bronnen van bacteriën en schimmels (Single Cell Proteins) via Cellulaire agricultuur, maar mogelijk ook op andere biotechnologische toepassingen: bijvoorbeeld op het gebruik van reststromen om eiwitrijk voedsel te produceren. Ook staat de ontwikkeling van nieuwe, hybride (vlees eiwit en plantaardig/microbiële eiwit) producten centraal, samen met acceptatie van de consument voor deze nieuwe producten. Omdat de verwerking van plantaardige en microbiële eiwitten

kan worden geconfronteerd met meerdere uitdagingen om hun functionaliteit te garanderen en omdat milde en ook minder bewerking een belangrijke factor is voor het behoud van de menselijke gezondheid, om tegelijkertijd voldoende eiwitten in de toekomst te kunnen bieden, werkt deze onderzoekslijn samen met lectoraat Duurzame proces (zuivel) technologie. Deze onderzoekslijn overlapt met onderzoekslijn #2 (eiwitrijke gewassen als eiwitbron voor de ontwikkeling van nieuw hybride voedsel) en #4 (door de verteerbaarheid van nieuw voedsel in menselijke darmen te onderzoeken).

(4) Vierde onderzoekslijn legt de focus op de gezondheidsaspecten van een Planet proof dieet, waaronder verschillende eiwitbronnen onderzocht worden. Hoe beïnvloedt nieuwe hybride voedsel darm micro-organismen en psychische en fysieke gezondheid? Deze onderzoekslijn heeft twee nauwe samenwerkingsverbanden – (i) met de onderzoeksgroep van RUG, gezamenlijk met het platform Eten voor de Wetenschap^{37, 101}. Deze samenwerking stelt het lectoraat in staat om ook gedragsaspecten aan te pakken, (ii) en met lectoraat Healthy Food voor in vitro vertering: met simulatoren van de menselijke maag en darmen gaan we ook kijken hoe voedsel wordt verteerd. Hoe absorberen de darmen verschillende soorten plantaardige eiwitten en nieuwe voedselproducten, en wat kunnen we daarvan leren?



Het lectoraat doet momenteel onderzoek binnen meerdere transdisciplinaire projecten. U kunt ze zien op dit menu (Menu Lectoraat Eiwittransitie):



Steering soil microbiomes for better crop quality: The holy grail to improve human health

NWO, juni 2023 - juni 2029; We dragen bij aan de productie van gezonde, voedzame en smakelijke gewassen.

Ingrediënten: partners: LU - CML, LUMC, LU- IBL, LU - PA, RuG, NIOO-KNAW, NUTRIM, HVHL, LU - Institute of Psychology; co-funders: Normec Groen Agro Control, Netherlands, Biosintrum, Eurostyle BV, Koppert Cress, Van Der Knaap, N-xt fertilizers/ Soil Health BV, Groentekwekerij De Nieuwe Ronde; collaborating partners: Bac2nature foundation, Delphy, Maag Lever Darm Stichting, Plant Health Cure



HaVerHaal

Versnellingsagenda, mei 2023 - april 2024; "Het verhaal van de haver". We gaan haver als regionaal, gezond en duurzaam product neerzetten.

Ingrediënten: Bianca van der Bos (Ecolana), HVHL, Anouk Willems, Janco Heida



MicroMelk

Provincie Friesland/Biosintrum, juni 2023 - december 2023; Pionieronderzoek - het verband tussen bodemmicrobioom, nutriëntensamenstelling van gras en melksamenstelling.

Ingrediënten: Biosintrum, Eurostyle BV, HVHL



Libjende Lânbou It Heidenskip

Regiodeal, juni 2023 - november 2023; We doen nulmetingen bij melkveehouders ter voorbereiding op een Living Lab project, met de focus op veerkrachtige plantproductie, bodemgezondheid en productkwaliteit.

Ingrediënten: Melkveebedrijven Y.K.Galama, fam. Bokma, A.H. Kramer, HVHL, RuG, Galama Sustainable Solutions



Kansen voor eiwit productie en consumptie in de noordelijke regio

Gemeente Groningen, september 2023 - januari 2024; We dragen bij aan het opzetten van de visie op dierlijke en plantaardige eiwitproductie en -consumptie in de regio Noord.

Ingrediënten: HVHL



MBO student in actie voor plantaardig voedsel

Regieorgaan SIA, januari 2024 - december 2025; We gaan in co-creatie met jongeren (mbo studenten), hun voedselkeuzegedrag onderzoeken en interventies ontwerpen die op deze doelgroep aansluiten en plantaardig voedselkeuzegedrag stimuleren.

Ingrediënten: HAS Green Academy, Hanzehogeschool, Aeres, HVHL, De Haagse Hogeschool, Hogeschool van Amsterdam, InHolland, Koning Willem I College, Yuverta, Firda, MBO Westland, Aeres MBO Almere, Alfa-college, MBO College Lelystad, Voedingscentrum, JOGG, Jong Leren Eten, Gemeente Almere, Gemeente Súdwest-Fryslân, Stichting Flevo Campus, VISTA college



Voeding als medicijn

Provincie Friesland, september 2023 - januari 2024; We dragen bij aan een Friese oplossing voor aangepast voedsel en voeding vanuit de Friese voedselketen voor patiënten in de zorg.

Ingrediënten: HVHL, MCL, RuG/CF



Doetie's geiten

Versnellingsagenda, juli 2023 - december 2024; Bij een kleinschalige agrarisch ondernemer met natuur-inclusieve landbouw doen we onderzoek naar het microbioom en de impact op de valorisatie van de hiervan afkomstige producten.

Ingrediënten: Doetie Trinkts, The Chain Never Stops, Wilma Plooi, Successie Natuurzaken - Ecologisch adviesbureau, HVHL



Vers tot in de puntjes

CropXR, Nationaal Groeifonds, september 2023 - januari 2024; Onderwijs project in samenwerking met het lectoraat. We onderzoeken de verschillen tussen internal tipburn-resistente en niet-resistente slasoorten.

Ingrediënten: HVHL, ENZA Zaden

SAMEN NAAR BALANS IN EIWIT-PRODUCTIE EN CONSUMPTIE

Met de missie van het lectoraat om kennis over het microbioom te verspreiden en deze kennis toe te passen om de aspecten van eiwitproductie en -consumptie samen te brengen, draagt het lectoraat op een unieke manier bij aan de transitie naar meer plantaardige en alternatieve eiwitten in ons dieet. De (nieuwe) eiwitrijke producten moeten gezond zijn, goed verteerbaar en minder belastend voor het milieu. De toepassing van (nieuwe) kennis helpt met het balanceren van de polarisatie die het thema eiwittransitie met zich meebrengt.

De systeemverandering is de drijvende motivatie van de HVHL onderzoeksgroep eiwittransitie, waar transdisciplinariteit van docenten/onderzoekers kansen biedt om de eiwittransitie vanuit verschillende invalshoeken samen te benaderen. Als HVHL geven wij onderwijs aan toekomstige boeren, biotechnologen, voedselproducenten en deskundigen in vier transities¹⁰², waaronder ook in de eiwittransitie^{****}.

Het onderzoek van dit lectoraat draagt bij aan kennisdisseminatie, professionalisering

van docenten, opwekken van de nieuwsgierigheid van docenten, onderzoekers, en studenten, waarden van talenten en motivatie van het onderzoeksteam, up-to-date zijn van actuele ontwikkelingen in de eiwittransitie, en implementatie van het onderzoek in het transitiegericht onderwijs bij HVHL.

Zo kunnen onze studenten groeien als experts in transitie en deze kennis goed gebruiken in hun loopbaan. En zo kunnen wij een inspiratiebron zijn voor onze partners, met het verdiepen en verbreden van nieuwe inzichten, waar kennis zichtbaar, beschikbaar en bruikbaar is.

- **** Hogeschool Van Hall Larenstein stelt in haar instellingsplan transitie naar een betere aarde centraal. Daarvoor zet zij in op vier transities:
1. Naar aanpassingen voor klimaatverandering: adaptatie en mitigatie.
 2. Naar een duurzame keten voor landbouw en voedsel.
 3. Naar duurzaam waterbeheer.
 4. Naar een duurzame leefomgeving (biodiversiteit en -dierenwelzijn) in landelijke en stedelijke gebieden).



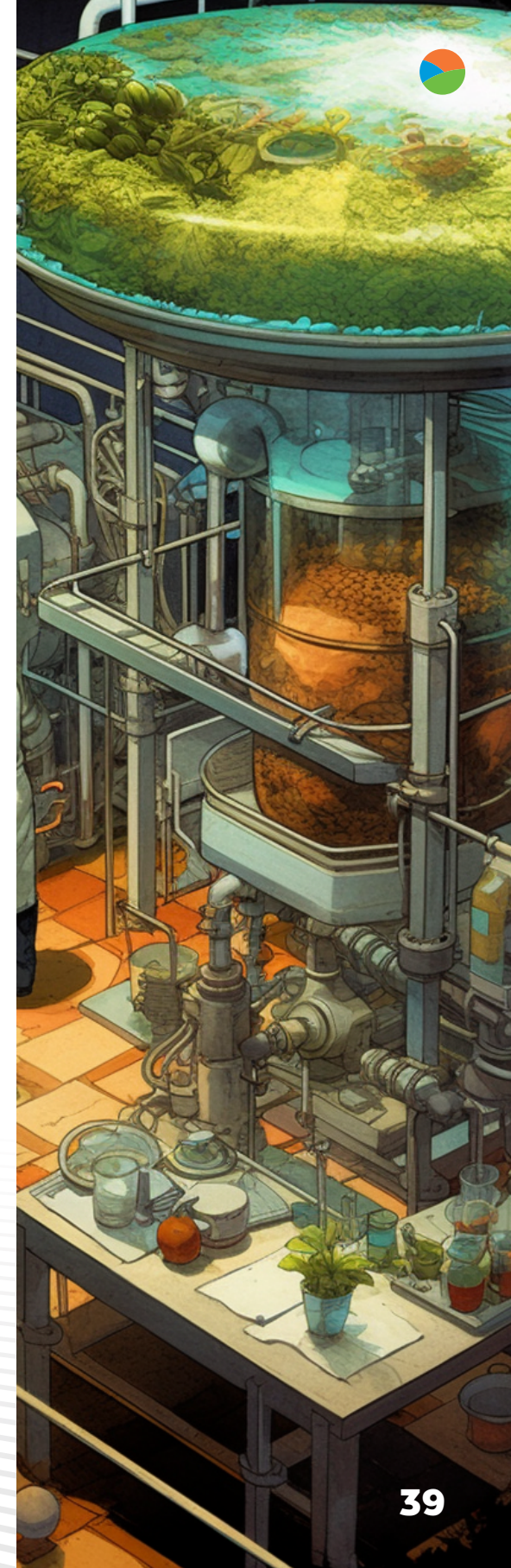


Samenwerking is een onmisbaar aspect voor het lectoraat. Bij de uitvoering van onderzoek zal samenwerking gezocht worden met kennisinstellingen, overheid, maatschappij (incl. onderwijs en onderzoek) en industrie/ondernemers. Een belangrijke manier van samenwerken met de partners is in Living Labs. De visie is om samen met de lectoraten Duurzame proces (zuivel) technologie, Healthy Food, en associate lectoraat Safety in the food chain een Living Lab "Voedseltransitie" te vormen. Living Labs bieden een uitstekende kans voor co-learning en co-creatie, gezamenlijk met alle betrokken partijen. Een Living Lab is geen specifiek laboratorium, zoals de meeste mensen zouden denken. We kunnen het ons voorstellen als een samenstelling van partners die verbonden zijn door een specifiek thema, die hetzelfde doel nastreven. Het kan gekoppeld zijn aan een fysieke locatie, maar dat hoeft niet. Het unieke aan het werken in een Living Lab is dat de gebruiker wordt meegenomen in het proces om de doelen te bereiken. Een van de definities stelt dat een Living Lab een open innovatiesysteem is waarin de gebruiker en samen leren centraal staan. Binnen het Living lab werken onderzoekers en studenten samen met gebruikers en publieke en private partners aan ontwerp, testen, prototypen en introductie van nieuwe technologieën, diensten, producten en systemen. Duurzame transitiegerichte Living Labs worden gezien als leeromgevingen waarin samen leren centraal staat; hoe je in een speelveld duurzame transitie kunt bewerkstelligen. Living Labs kunnen de kloof tussen wetenschap en maatschappij echt verkleinen.

Het lectoraat heeft de ambitie om de Living Lab aanpak en de onderzoeksprojecten in te bedden in verschillende opleidingen van HVHL. Omdat HVHL voor een positieve uitdaging staat in de omschakeling naar transitiegericht onderwijs, biedt dit een uitgelezen kans om samen te werken aan curriculumontwikkeling en aan vervlechting van onderzoek en onderwijs. Naast de opleiding Biotechnologie werkt het lectoraat samen met de bachelorprogramma's Voedingsmiddelentechnologie, Biologie & Medisch Laboratoriumonderzoek, Innovatieve Plantenteelt, IDFC (master programma Innovation of Dairy & Food Chains), Bedrijfskunde & Agribusiness, en Milieukunde. Er is ook aansluiting mogelijk bij andere opleidingen, zoals Chemische Technologie en Dier- en Veehouderij. Naast de samenwerking met deze bacheloropleidingen, werkt het lectoraat samen met het Docent Ontwikkel Team Biologie en draagt bij aan het actualiseren van curricula van havo en vwo met de One Health benadering. Het lectoraat werkt daarom niet alleen op de horizontale lijn, maar ook op de verticale onderwijslijn; de kennis brengen naar vwo en havo, maar ook naar mbo-studenten, naar hbo-bachelor- en masterstudenten, en hogere onderwijsniveaus, zoals PhD's.

De ambitie van het lectoraat is de samenwerking met kennisinstellingen, overheid, maatschappij (inclusief onderwijs en onderzoek) en industrie/ondernemers te stimuleren, zodat we samen verder kunnen komen. Ik ben in november 2022 met deze functie begonnen, en ik werk met veel plezier samen met mijn collega's, met studenten, met andere kennisinstellingen,

boeren, bedrijven, de overheid, artsen en particuliere sectoren. Ik ervaar veel motivatie en energie om het voedselsysteem duurzamer te maken en gezonde voeding veilig te stellen voor onze ouders, onszelf als we oud zijn, voor onze kinderen en toekomstige generaties.





STERKE POSITIE VAN NEDERLAND OP HET GEBIED VAN DIERLIJKE, PLANT-AARDIGE & ALTERNATIEVE EIWITTEN

Ter afsluiting wil ik terugkomen op eiwitten en de sterke positie die Nederland heeft in de productie van eiwitten. Nederland is al meer dan 150 jaar een 'eiwitrijk land'. Als experts op het gebied van agrovoeding, duurzaamheid en kennisdeling beschikt het land over vaardigheden op het gebied van eiwitproductie, verwerking, marketing, innovatie, technologie en logistiek. Door deze waardevolle vaardigheden te combineren met innovatieve expertise en een frisse mindset kan Nederland een nieuwe fase ingaan. Nederland wordt erkend als een toonaangevend land in de eiwittransitie vanwege zijn rijke geschiedenis in de eiwitproductie. De infrastructuur, kennis, het menselijk kapitaal en het wereldwijde netwerk dat is opgebouwd in de vlees-, zuivel- en vissector worden gebruikt en hergebruikt voor toekomstige oplossingen voor eiwitvoorziening.

Met andere woorden: waarbij dierlijke en alternatieve eiwitproductie complementair aan elkaar zijn en niet als concurrenten worden gezien.

Eiwittransitie vereist meerdere expertises. Om het consumptiepatroon en het consumentengedrag te veranderen, de impact van de landbouw op het milieu te verminderen en voldoende en gezond voedsel te produceren. Dit biedt kansen voor verschillende sectoren in de voedselketen. Hoewel veel nieuwe voedingsbedrijven al jaren bezig zijn met het winnen van eiwitten uit alternatieve bronnen, blijven wij leren en deze processen verbeteren. Veel interessante uitdagingen om op te lossen en over te leren onderweg naar minder impact van de landbouw op het milieu en naar een gezondere bevolking. En daar ga ik met mijn lectoraat een bijdrage aan leveren.



DANKWOORD

Ik ben ontzettend blij dat ik met het lectoraat sturing mag geven aan goed en praktijkgericht onderzoek, om daarmee een waardevolle bijdrage te kunnen leveren voor toekomstige generaties en onze HVHL-studenten in het bijzonder. Daarvoor ben ik veel dank verschuldigd.

Allereerst aan het College van Bestuur van Hogeschool Van Hall Larenstein en Niek de Boer, directeur onderzoek in Leeuwarden, voor het in mij gestelde vertrouwen. Niek, dankzij jou kreeg de eiwittransitie mijn aandacht, en geniet ik nu van de uitdagingen die dit onderwerp met zich meebrengt.

Dank aan de organisaties die op één of andere manier betrokken zijn bij het onderzoek in het lectoraat: provincies en gemeenten, bedrijven, agrarisch ondernemers, belangenorganisaties en ngo's.

Dank aan de kennispartners met wie we samenwerken: universiteiten, hogescholen, kennisinstellingen en lectorenplatforms en Leer en Kenniscentrum Bodem. Bijzonder bedankt, Gertjan van Dijk, voor de prettige samenwerking in het kader van het platform Eten voor de Wetenschap.

Dank aan mijn voormalige werkgevers, 'University of Chemistry and Technology Prague' en 'Czech Academy of Sciences' voor het gedegen milieuwetenschappelijke onderzoek dat mij vandaag de dag in staat stelt om de relaties tussen bodembioïologie en de menselijke gezondheid in te zien.

Dank aan alle collega's bij Hogeschool Van Hall Larenstein en in het bijzonder de mensen op de werkvloer. Ik waardeer de samenwerking enorm en zie ernaar uit om deze verder uit te bouwen. Speciale dank aan Emiel Elferink, Peter de Jong, Lizette Oudhuis, Koos Oosterhaven, Niek de Boer en Stefan Martens voor de hulp bij het vormgeven van de Nederlandse tekst van dit boek.

Bedankt, collega's in de kenniskring voor jullie gedrevenheid en inspiratie: Kika Lewak, Korrie Hoekstra, Wouter Suring, Rik Veldhuis, Rick Orij, Dick Bonarius, Pauline Drost, Anna Souza de Silva, Jacob Duinstra, Berend-Jan Dobma, Dewi van der Berg, Han Suelmann, Gertjan Klijnstra, Jendo Visser, Hanneke Elzerman, Karin van der Borgt, Emiel Elferink, Koos Oosterhaven, Marije Strikwold, Peter de Jong, en Lizette Oudhuis. Ik hoop en verwacht dat we nog veel mooi, goed en relevant onderzoek gaan doen.

Dank Corné van Dooren, Jessica Tepper, Pyt Sipma, Kirsten Knobel, en Jeroen Maljaars voor jullie inspirerende bijdrage aan deze middag en voor onze gezamenlijke zoektocht naar eiwitbalans.

Bedankt, Sebastiaan Latour, voor de prachtige illustratie die je hebt gemaakt om de scope van mijn lectoraat in één beeld te vangen.

Mijn gezin, familie en vrienden:

Lieve Ronald en Eske, jullie maken mij compleet en ik ben jullie zielsveel dankbaar voor jullie onvoorwaardelijke liefde gedurende alles wat op ons pad komt. Fijn dat jullie op dit bijzondere moment dicht bij mij zijn.

Lieve Els, Esther, Luuk, Lars, Niels en Sven. Ik ben jullie erg dankbaar voor de wijze waarop jullie mij in Nederland 'thuis' laten voelen en mij in alles steunen. Ook mijn familie in Tsjechië ben ik enorm dankbaar voor hun liefde en steun om mijn dromen na te streven.

Lieve vrienden, jullie verrijken mijn leven en het is fijn dat veel van jullie hier vandaag aanwezig zijn om dit bijzondere moment met mij te delen.

Ten slotte wil ik u allen in deze zaal bedanken voor uw aanwezigheid en bijdrage aan deze middag.





BIBLIOGRAFIE

1. RIVM (2018). *Wat eet Nederland. Voedselconsumptiepeiling*. Bilthoven: Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Geraadpleegd august 2022, <https://www.rivm.nl/voedselconsumptiepeiling>
2. Duluins, O., Riera, A., Schuster, M., Baret, P. V., & Van den Broeck, G. (2022). Economic implications of a protein transition: Evidence from walloon beef and dairy farms. *Frontiers in sustainability*, 6, 803872.
3. van Dooren, C., & Seves, M. (2019). Brondocument: Naar een meer plantaardig voedingspatroon. Voedingscentrum, In opdracht van Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, Den Haag, september 2019, 2e herziene druk.
4. Henchion, M., Hayes, M., Mullen, A. M., Fenelon, M., & Tiwari, B. (2017). Future protein supply and demand: Strategies and factors influencing a sustainable equilibrium. *Foods*, 6, 53.
5. van Dijk, M., Morley, T., Rau, M. L., & Saghai, Y. (2021). A meta-analysis of projected global food demand and population at risk of hunger for the period 2010–2050. *Nature Food*, 2, 494–501.
6. Colgrave, M. L., Dominik, S., Tobin, A. B., Stockmann, R., Simon, C., Howitt, C. A., Belobrajdic, D. P., Paull, C., & Vanhercke T. (2021). Perspectives on future protein production. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 69, 15076–15083.
7. FAO (2009). *How to feed the world - 2050: High-level Expert Forum*, Rome 12-13 Oct 2009, Geraadpleegd maart 2023, https://www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/docs/expert_paper/How_to_Feed_the_World_in_2050.pdf
8. Wirsenius, S., Azar, Ch., & Berndes, G. (2010). How much land is needed for global food production under scenarios of dietary changes and livestock productivity increases in 2030? *Agricultural Systems*, 103(9), 621–638.
9. WWF-UK, & Tesco (2021). Driven to waste: Global food loss on farms. Geraadpleegd mei 2023, https://wwf.panda.org/discover/our_focus/food_practice/food_loss_and_waste/driven_to_waste_global_food_loss_on_farms/
10. Rockström, J., Edenhofer, O., Gaertner, J., & DeClerck, F. (2020). Planet-proofing the global food system. *Nature Food*, 1, 3–5.
11. Ivanovich, C. C., Sun, T., Gordon, D. R., & Ocko, I. B. (2023). Future warming from global food consumption. *Nature Climate Change* 13, 297–302.



12. Tubiello, F., Karl, K., Flammini, A., Gutschow, J., Obli-Laryea, G., Conchedda, G., Pan, X., Qiu, S. Y., Heiðarsdóttir, H. H., Wanner, N., Quadrelli, R., Souza, L., Benoit, P., Hayek, M., Sandalow, D., Mencos Contreras, E., Rosenzweig, C., Rosero-Moncayo, J., Conforti, P., & Torero, M. (2022). Pre- and post-production processes increasingly dominate greenhouse gas emissions from agri-food systems. *Earth Systems Science Data*, 14(4), 1795–1809.
13. FAO (2020). *Emissions due to agriculture. Global, regional and country trends 2000–2018*, FAOSTAT Analytical Brief Series No 18, FAO, Rome, gedownload maart 2023, <https://www.fao.org/3/cb3808en/cb3808en.pdf>
14. FAO (2021). *FAOSTAT Emissions Shares*, access to the data, Geraadpleegd juni 2023, <https://www.fao.org/faostat/en/#data/EM>
15. FAO (2022). *The share of food systems in total greenhouse gas emissions*. Global, regional and country trends 1990–2019, FAOSTAT Analytical Brief Series No. 31, FAO, Rome, Geraadpleegd juni 2023, <https://www.fao.org/3/cb7514en/cb7514en.pdf>
16. Xu, X., Sharma, P., Shu, S., Lin, T. S., Ciais, P., Tubiello, F. N., Smith, P., Campbell N. & Jain, A. K. (2021). Global greenhouse gas emissions from animal-based foods are twice those of plant-based foods. *Nature Food*, 2, 724–732.
17. Gerber, P. J.; Steinfeld, H.; Henderson, B.; Mottet, A.; Opio, C.; Dijkman, J.; Falcucci, A.; & Tempio, G. (2013). Tackling climate change through livestock – A global assessment of emissions and mitigation opportunities. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome. <https://www.fao.org/3/i3437e/i3437e.pdf>
18. RVO (2016). *De Nederlandse landbouw en het klimaat*. Geraadpleegd juni 2023, https://www.rvo.nl/sites/default/files/2016/12/RVO_De%20Nederlandse%20landbouw%20en%20het%20klimaat_Broch_def.pdf
19. van Grinsven, H. J. M., van Eerdt, M. M., Westhoek, H., & Kruitwagen, S. (2019). Benchmarking eco-efficiency and footprints of Dutch agriculture in European context and implications for policies for climate and environment. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 3, 13.
20. Integraal Nationaal Energie- en Klimaatplan (2019). Geraadpleegd juni 2023, <https://open.overheid.nl/documenten/ronl-d5298e21-e4c7-476d-822c-d713cb38a71e/pdf>
21. Poore, J., & Nemecek, T. (2018). Reducing food's environmental impacts through producers and consumers. *Science*, 360(6392), 987–992.
22. EAT-Lancet Commission (2019). *Healthy diets from sustainable food systems: Food planet health*. Summary Report, Geraadpleegd september 2022, <https://eatforum.org/eat-lancet-commission/eat-lancet-commission-summary-report/>



23. Transitieagenda Biomassa en Voedsel (2018). Geraadpleegd april 2023, <https://open.overheid.nl/documenten/ronl-c763e08ee5ed9d2b08522cda0a92d67d4875c41d/pdf>
24. Klimaataakkoord (2019). Den Haag, Geraadpleed maart 2023, <https://www.klimaataakkoord.nl/binaries/klimaataakkoord/documenten/publicaties/2019/06/28/klimaataakkoord/klimaataakkoord.pdf>
25. Nationale Eiwitstrategie (2020). Geraadpleegd december 2022, <https://open.overheid.nl/documenten/ronl-6ea7577b-85a6-425a-9dad-b9b9cf695495/pdf>
26. KIA LWV (2021). *Kennis- en Innovatieagenda Landbouw, Water, Voedsel*. Topsectoren Agri & Food, Tuinbouw & Uitgangsmaterialen en Water & Maritiem. <https://kia-landbouwwatervoedsel.nl/wp-content/uploads/2021/01/KIA-LWV-20210106-100-versie.pdf>
27. Peters, S., Gerritsen, J., Valkenburg, J., Singhpovel, C., & Huppertz, T. (2020). Eiwittransitie in perspectief, *Voeding magazine*, 1, 19-23.
28. van Zanten, H. H. E., Simon, W., van Selm, B., Wacker, J., Maindl, T. I., Frehner, A., Hijbeek, R., van Ittersum, M. K., & Herrero M. (2023). Circularity in Europe strengthens the sustainability of the global food system. *Nature Food*, 4, 320–330.
29. WUR (2023). *Model of future agricultural production and consumption*, Interactive website, Geraadpleed juni 2023, https://cifos.site/?_ga=2.14799606.1557380153.1682936304-1217846135.1673967359
30. Research and Markets (2023). *Europe Alternative Protein Market Report 2023-2028: Competitive Developments, Strategies, Mergers and Acquisitions and New Product Developments*. Geraadpleed april 2023, <https://www.globenewswire.com/en/news-release/2023/03/09/2624260/28124/en/Europe-Alternative-Protein-Market-Report-2023-2028-Competitive-Developments-Strategies-Mergers-and-Acquisitions-and-New-Product-Developments.html>
31. Future Market Insights (2023). *Alternative protein market outlook (2023 – 2033)*. Geraadpleed juni 2023, <https://www.futuremarketinsights.com/reports/alternative-protein-market>
32. Humpenöder, F., Bodirsky, B. L., Weindl, I., Lotze-Campen, H., Linder, T., & Popp, A. (2022). Projected environmental benefits of replacing beef with microbial protein. *Nature* 605, 90–96.
33. FAO, B. (2010). Sustainable Diets and Biodiversity, Directions and solutions for policy, research and action. Burlingame, B.; Dernini, S. Food and Agriculture Organization of the United Nations and Biodiversity International.
34. Bussel, van, L. M., Kuijsten, A., Mars, M., & van 't Veer, P. (2022). Consumers' perceptions on food-related sustainability: A systematic review. *Journal of Cleaner Production*, 341, 130904.
35. Phillips, S. M. (2017). Current concepts and unresolved questions in dietary protein requirements and supplements in adults. *Frontiers in Nutrition*, 4, 13. Erratum in: *Frontiers in Nutrition* 2023, 9, 1078528.



36. Zeeb, B., Yavuz-Düzgün, M., Dreher, J., Evert, J., Stressler, T., Fischer, L., Özcelik, B., & Weiss, J. (2018). Modulation of the bitterness of pea and potato proteins by a complex coacervation method. *Food & Function*, 9(4), 2261-2269.
37. Monteiro, C. A., Cannon, G., Levy, R. B., Moubarac, J. C., Louzada, M. L., Rauber, F., Khandpur, N., Cediel, G., Neri, D., Martinez-Steele, E., Baraldi, L. G., Jaime, P. C. (2019). Ultra-processed foods: what they are and how to identify them. *Public Health Nutrition*, 22(5), 936-941.
38. Willems, A. E. M., Sura-de Jong, M., van Beek, A. P., & van Dijk, G. (2022). Self-initiated dietary changes reduce general somatic and mental symptoms in a relatively healthy Dutch population. *Preventive Medicine Reports*, 30, 102004.
39. Hall, K. D., Ayuketah, A., Brychta, R., Cai, H., Cassimatis, T., Chen, K. Y., Chung, S. T., Costa, E., Courville, A., Darcey, V., Fletcher, L. A., Forde, C. G., Gharib, A. M., Guo, J., Howard, R., Joseph, P. V., McGehee, S., Ouwerkerk, R., Rasinger, K., Rozga, I., Stagliano, M., Walter, M., Walter, P. J., Yang, S., & Zhou, M. (2019). Ultra-processed diets cause excess calorie intake and weight gain: An inpatient randomized controlled trial of ad libitum food intake. *Cell Metabolism*, 30(1), 67–77.e3.
40. Pagliai, G., Dinu, M., Madarena, M. P., Bonaccio, M., Iacoviello, L., Sofi, F. (2021). Consumption of ultra-processed foods and health status: a systematic review and meta-analysis. *British Journal of Nutrition*, 125(3), 308-318.
41. Chassaing, B., Compher, C., Bonhomm, B., Liu, Q., Tian, Y., Walters, W., Nessel, L., Delaroque, C., Hao, F., Gershuni, V., Chau, L., Ni, J., Bewtra, M., Albenberg, L., Bretin, A., McKeever, L., Ley, R. E., Patterson, A. D., Wu, G. D., Gewirtz, A. T., & Lewis, J. D. (2022). Randomized controlled-feeding study of dietary emulsifier carboxymethylcellulose reveals detrimental impacts on the gut microbiota and metabolome. *Gastroenterology*, 162(3), 743-756.
42. Beal, T., Ortenzi, F., & Fanzo, J. (2023). Estimated micronutrient shortfalls of the EAT–Lancet planetary health diet. www.thelancet.com/planetary-health, Viewpoint, *Lancet Planet Health*; 7, e233–37.
43. Himanshu, N., Mrinal, S., & Tejpal, D. (2022). Beneficial attributes and adverse effects of major plant-based foods anti-nutrients on health: A review. *Human Nutrition & Metabolism*, 28, 200147.
44. Voedingscentrum (2023). *Hoe eet je gezond en duurzaam?* Gedownload Geraadpleegd op: 1 maart 2023, van <https://www.voedingscentrum.nl/nl/gezond-eten-met-de-schijf-van-vijf/hoe-eet-je-gezond-en-duurzaam.aspx>
45. Voedingscentrum (2023). *Schijf van Vijf-vak: vis, peulvruchten, vlees, ei, noten en zuivel*. Geraadpleegd juli 2023, <https://www.voedingscentrum.nl/nl/gezond-eten-met-de-schijf-van-vijf/wat-staat-in-de-schijf-van-vijf-en-wat-niet/vis-peulvruchten-vlees-ei-noten-en-zuivel.aspx>



46. Willett, W., Rockström, J., Loken, B., Springmann, M., Lang, T., Vermeulen, S., Garnett, T., Tilman, D., DeClerck, F., Wood A., Jonell, M., Clark, M., Gordon, L. J., Fanzo, J., Hawkes, C., Zurayk, R., Rivera, J. A., De Vries, W., Sibanda, L. M., Afshin, A., Chaudhary, A., Herrero, M., Agustina, R., Branca, F., Lartey, A., Fan, S., Crona, B., Fox, E., Bignet, V., Troell, M., Lindahl, T., Singh, S., Cornell, S. E., Reddy, K. S., Narain, S., Nishtar, S., & Murray, C. J. L. (2019). Food in the Anthropocene: the EAT–Lancet Commission on healthy diets from sustainable food systems. *The lancet*, 393(10170), 447–492.
47. Committee on Metagenomics (2007). Challenges and functional applications. The new science of metagenomics: *Revealing the secrets of our microbial planet*. Committee on Metagenomics, Washington, DC: National Academies Press.
48. Cavicchioli, R., Ripple, W. J., Timmis, K. N., Azam, F., Bakken, L. R., Baylis, M., Behrenfeld, M. J., Boetius, A., Boyd, P. W., Classen, A. T., Crowther, T. W., Danovaro, R., Foreman, C. M., Huisman, J., Hutchins, D. A., Jansson, J. K., Karl, D. M., Koskella, B., Welch, D. B. M., Martiny, J. B. H., Moran, M. A., Orphan, V. J., Reay, D. S., Remais, J. V., Rich, V. I., Singh, B. K., Stein, L. Y., Stewart, F. J., Sullivan, M. B., van Oppen, M. J. H., Weaver, S. C., Webb E. A., & Webster, N. S. (2019). Scientists' warning to humanity: microorganisms and climate change. *Nature Reviews Microbiology*, 17, 569–586.
49. FAO, ITPS, GSBI, CBD, & EC (2020). State of knowledge of soil biodiversity - *Status, challenges and potentialities*, Report 2020. Rome, FAO. Geraagpleegd juni 2023, <https://doi.org/10.4060/cb1928en>
50. Suman, J., Rakshit, A., Ogireddy, S. D., Singh, S., Gupta, C., & Chandrakala, J. (2022). Microbiome as a key player in sustainable agriculture and human health. *Frontiers in Soil Science*, 2:821589.
51. Hemkemeyer, M., Schwalb, S. A., Heinze, S., Joergensen, R. G., & Wichern, F. (2021). Functions of elements in soil microorganisms. *Microbiological Research*, 252, 126832.
52. Miltner, A., Bombach, P., Schmidt-Brücken, B., & Kästner, M. (2012). SOM genesis: microbial biomass as a significant source. *Biogeochemistry*, 111, 41–55.
53. Armalytė, J., Skerniškytė, J., Bakienė, E., Krasauskas, R., Šiugždinienė, R., Karevieniė, V., Kerzienė, S., Klimienė, I., Sužiedėlienė, E., & Ružauskas, M. (2019). Microbial diversity and antimicrobial resistance profile in microbiota from soils of conventional and organic farming systems. *Frontiers in Microbiology*, 10, 892.
54. King, W. L., Kaminsky, L. M., Richards, S. C., Bradley, B. A., Kaye, J. P., & Bell, T. H. (2022). Farm-scale differentiation of active microbial colonizers. *ISME Communications*, 2, 39.
55. Hannula, S. E., Ma, H.-K., Pérez-Jaramillo, J. E., Pineda, A. & Bezemer, T. M. (2020). Structure and ecological function of the soil microbiome affecting plant-soil feedbacks in the presence of a soil-borne pathogen. *Environmental Microbiology*, 22, 660–676.
56. Jiménez-Gómez, A., Celador-Lera, L., Fradejas-Bayón, M., & Rivas, R. (2017). Plant probiotic bacteria enhance the quality of fruit and horticultural crops. *AIMS Microbiology* 3(3), 483-501.



57. Bakker, P. A. H. M., Pieterse, C. M. J., de Jonge, R., & Berendsen, R. L. (2018). The soil-borne legacy. *Cell*, 172(6), 1178–1180.
58. Berendsen, R. L., Pieterse, C. M. J., & Bakker, P. A. H. M. (2012). The rhizosphere microbiome and plant health. *Trends in Plant Science*, 17, 478–486.
59. Berg, G., Grube, M., Schlöter, M., & Smalla, K. (2014). The plant microbiome and its importance for plant and human health. *Frontiers in Microbiology*, 5, 491.
60. Van Elsas, J. D., Chiurazzi, M., Mallon, C. A., Elhottová, D., Křišťůfek, V., and Salles, J. F. (2012). Microbial diversity determines the invasion of soil by a bacterial pathogen. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109, 1159–1164.
61. Adam, E., Groenenboom, A. E., Kurm, V., Rajewska, M., Schmidt, R., Tyc, O., Weidner, S., Berg, G., de Boer, W., & Falcão Salles, J. (2016). Controlling the Microbiome: Microhabitat adjustments for successful biocontrol strategies in soil and human gut. *Frontiers in Microbiology*, 7, 1079.
62. Ling, N., Wang, T., & Kuzyakov, Y. (2022). Rhizosphere bacteriome structure and functions. *Nature Communications*, 13, 836.
63. Middleton, H., Yergeau, E., Monard, C., Combier, J. P., & El Amrani, A. (2020). Rhizospheric plant–microbe interactions: miRNAs as a key mediator. *Trends in plant science*, 26 (2), 132-141.
64. Smalla, K., Wieland, G., Buchner, A., Zock, A., Parzy, J., Kaiser, S., Roskot, N., Heuer, H., Berg, G. (2001). Bulk and rhizosphere soil bacterial communities studied by denaturing gradient gel electrophoresis: plant-dependent enrichment and seasonal shifts revealed. *Applied and Environmental Microbiology*, 67, 4742–4751.
65. Kumar, U., Sheleke, R. M., & Singh R. (2023). Editorial: Soil-plant-microbe interactions: An innovative approach towards improving soil health and plant growth. *Frontiers in Agronomy*, 5:1165328.
66. Fascinating (2022). *Veldboon meest kansrijke eiwitgewas voor Groningse boeren*. Geraadpleegd december 2022, <https://fascinating-groningen.nl/nieuws/veldboon-meest-kansrijke-eiwitgewas-voor-groningse-boeren/>
67. Banerjee, S., & van der Heijden, M. G. A. (2023). Soil microbiomes and one health. *Nature Reviews Microbiology*, 21, 6–20.
68. Escobar Rodríguez, C., Novak, J., Buchholz, F., Uetz, P., Bragagna, L., Gumze, M., Antonielli, L., & Mitter, B. (2021). The bacterial microbiome of the tomato fruit is highly dependent on the cultivation approach and correlates with flavor chemistry. *Frontiers in Plant Science*, 12, 775722.



69. Chemidlin Prévost-Bouré, N., Karimi, B., Sadet-Bourgeteau, S., Djemiel, C., Brie, M., Dumont, J., Campedelli, M., Nowak, V., Guyot, P., Letourneur, C., Manneville, V., Gillet, F. & Bouton, Y. (2021). Microbial transfers from permanent grassland ecosystems to milk in dairy farms in the Comté cheese area. *Scientific Reports*, 11, 18144.
70. Tsiafouli, M. A., Thébault, E., Sgardelis, S. P., de Ruiter, P. C., van der Putten, W. H., Birkhofer, K., Hemerik, L., de Vries, F. T., Bardgett, R. D., Brady, M. V., Bjornlund, L., Jørgensen, H. B., Christensen, S., D' Hertefeldt, T., Hotes, S., Hol, W. H. G., Frouz, J., Liiri, M., Mortimer, S. R., Setälä, H., Tzanopoulos, J., Uteseny, K., Pižl, V., Stary, J., Wolters, V., & Hedlund K. (2015). Intensive agriculture reduces soil biodiversity across Europe. *Global Change Biology*, 21, 973–985.
71. Morriën, E., Hannula, S., Snoek, L., Helmsing, N. R., Zweers, H., de Hollander, M., Soto, R. L., Bouffaud, M. L., Buée, M., Dimmers, W., Duyts, H., Geisen, S., Griffiths, M. G. R. I., Jørgensen, H. B., Jensen, J., Plassart, P., Redecker, D., Schmelz, R. M., Schmidt, O., Thomson, B. C., Tisserant, E., Uroz, S., Winding, A., Bailey, M., J., Bonkowski, M., Faber, J. H., Martin, F., Lemanceau, P., de Boer, W., van Veen, J. A., & van der Putten, W. H. (2017). Soil networks become more connected and take up more carbon as nature restoration progresses. *Nature Communications*, 8, 14349.
72. Frac, M., Hannula, E. S., Bělka, M., Salles, J. F., & Jedryczka, M. (2022). Soil mycobiome in sustainable agriculture. *Frontiers in Microbiology*, 13, 1033824.
73. Gao, C., Bodegom, P. M. van, Bezemer, T. M., Veldhuis, M. P., Mancinelli, R., & Soudzilovskaia, N. A. (2022). Soil biota adversely affect the resistance and recovery of plant communities subjected to drought. *Ecosystems*, 26, 675–685.
74. Hannula, S. E., Zhu, F., Heinen, R. & Bezemer, T. M. (2019). Foliar-feeding insects acquire microbiomes from the soil rather than the host plant. *Nature Communications*, 10, 1254.
75. Pangesti, N., Pineda, A., Hannula, S. E. & Bezemer, T. M. (2020). Soil inoculation alters the endosphere microbiome of chrysanthemum roots and leaves. *Plant Soil*, 455, 107–119.
76. Erisman, J. W. (2021). Nature-based agriculture for an adequate human microbiome. *Organic Agriculture*, 11, 225–230.
77. Lang, J. M., Eisen, J. A., & Zivkovic, A. M. (2014). The microbes we eat: abundance and taxonomy of microbes consumed in a day's worth of meals for three diet types. *PeerJ*, 2, e659.
78. Salazar-López, N. J.; Barco-Mendoza, G. A.; Zuñiga-Martínez, B. S.; Domínguez-Avila, J. A.; Robles-Sánchez, R. M.; Ochoa, M. A. V., González-Aguilar, G. A. (2022). Single-Cell Protein production as a strategy to reincorporate food waste and agro by-products back into the processing chain. *Bioengineering*, 9, 623.



79. Thiviya, P., Gamage, A., Kapilan, R., Merah, O., & Madhujith, T. (2022). Single cell protein production using different fruit waste: A Review. , 9(7), 178.
80. Graham, A. E., & Ledesma-Amaro, R. (2023). The microbial food revolution. *Nature Communication*, 14, 2231.
81. Derbyshire, E. (2022). Food-based dietary guidelines and protein quality definitions—time to move forward and encompass mycoprotein? *Foods*, 11, 647.
82. Derbyshire, E. J., Theobald, H., Wall, B. T., & Stephens, F. (2023). Food for our future: the nutritional science behind the sustainable fungal protein - mycoprotein. A symposium review. *Journal of Nutritional Science*, 12, e44.
83. Bourdichon, B., Casaregola, S., Farrokh, C., Frisvad, J. C., Gerds, M. L., Hammes, W. P., Harnett, J., Huys, G., Laulund, S., Ouwehand, A., Powell, I. B., Prajapati, J. B., Seto, Y., Ter Schure, E., Van Boven, A., Vankerckhoven, V., Zgoda, A., Tuijelaars, S., & Hansen, E. B. (2012). Food fermentations: Microorganisms with technological beneficial use. *International Journal of Food Microbiology*, 154(3), 87–97.
84. EFSA (2023). *Updated list of QPS-recommended microorganisms for safety risk assessments carried out by EFSA*. Geraadpleegd juli 2023, <https://zenodo.org/record/7554079>
85. EFSA Panel on Biological Hazards (BIOHAZ), Koutsoumanis K., Allende A., Alvarez-Ordóñez A., Bolton, D., Bover-Cid, S., Chemaly, M., Davies, R., De Cesare, A., Hilbert, F., Lindqvist, R., Nauta, M., Peixe, L., Ru, G., Simmons, M., Skandamis, P., Suffredini, E., Cocconcini, P. S., Escamez, P. S. F., Maradona, M. P., Querol, A., Suarez, J. E., Sundh, I., Vlask, J., Barizzzone, F., Correia, S., & Herman L. (2022). Scientific Opinion on the update of the list of QPS-recommended biological agents intentionally added to food or feed as notified to EFSA (2017–2019), *EFSA Journal*, 18, e05966.
86. Souza Filho, P. F., Andersson, D., Ferreira, J. A., & Taherzadeh, M. J. (2019). Mycoprotein: environmental impact and health aspects. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 35, 147.
87. Lübeck, M., & Lübeck, P. S. (2022). Fungal cell factories for efficient and sustainable production of proteins and peptides. *Microorganisms*, 10(4), 753.
88. Moo-Young, M., Chisti, Y., & Vlach, D. (1993). Fermentation of cellulosic materials to mycoprotein foods. *Biotechnology Advances*, 11, 469–479.
89. Rinninella, E., Cintoni, M., Raoul, P., Lopetuso, L. R., Scaldaferri, F., Pulcini, G., Miggiano, G. A. D., Gasbarrini, A., & Mele, M. C. (2019). Food components and dietary habits: keys for a healthy gut microbiota composition. *Nutrients*, 11(10), 2393.



90. Mayer, E. A., Tillisch, K., & Gupta, A. (2015). Gut/brain axis and the microbiota. *Journal of Clinical Investigation*, 125, 926–938.
91. Wu, S., Bhat, Z. F., Gounder, R. S., Mohamed Ahmed, I. A., Al-Juhaimi, F. Y., Ding, Y., & Bekhit, A. E.-D. A. (2022). Effect of dietary protein and processing on gut microbiota—A systematic review. *Nutrients*, 14, 453.
92. Diether, N. & Willing, B. (2019). Microbial fermentation of dietary protein: An important factor in diet–microbe–host interaction. *Microorganisms*, 7, 19.
93. Zhang, P. (2022). Influence of foods and nutrition on the gut microbiome and implications for intestinal health. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(17), 9588.
94. Fan, P., Li, L., Rezaei, A., Eslamfam, S., Che, D., & Ma, X. (2015). Metabolites of dietary protein and peptides by intestinal microbes and their impacts on gut. *Current Protein & Peptide Science*, 16, 646–654.
95. Di Rosa, C., Di Francesco, L., Spiezia, C., & Khazrai, Y. M. (2023). Effects of animal and vegetable proteins on gut microbiota in subjects with overweight or obesity. *Nutrients*, 15(12), 2675.
96. Manor, O., Dai, C. L., Kornilov, S. A., Smith, B., Price, N. D., Lovejoy, J. C., Gibbons, S. M., & Magis, A. T. (2020). Health and disease markers correlate with gut microbiome composition across thousands of people. *Nature Communications*, 11(1), 5206.
97. Dantas, A. M., Sack, A. T., Bruggen, E., Jiao, P., & Schuhmann, T. (2022). The effects of probiotics on risk and time preferences. *Scientific Reports* 12(1), 12152.
98. Kaur, L., Mao, B., Singh-Beniwal, A., Abhilasha, Kaur, R., Ming Chian, F., & Singh, J. (2022). Alternative proteins vs animal proteins: The influence of structure and processing on their gastro-small intestinal digestion. *Trends in Food Science & Technology*, 122, 275-286.
99. Ashkar, F. & Wu, J. (2023). Effect of food factors and processing on protein digestibility and gut microbiota. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 71(23), 8685–8698.
100. Prokopidis, K., Cervo, M. M., Gandham, A., & Scott, D. (2020). Impact of protein intake in older adults with sarcopenia and obesity: A gut microbiota perspective. *Nutrients*, 12(8), 2285.
101. De Marco Castro, E., Murphy, C. H., & Roche, H. M. (2021). Targeting the gut microbiota to improve dietary protein efficacy to mitigate sarcopenia. *Frontiers in Nutrition*, 8, 656730.
102. Eten voor de Wetenschap (2022). Platform voor onderzoek van voeding & gezondheid gerelateerde interventies, RuG & HVHL, Geraagpleed april 2023. www.etenvoordewetenschap.nl
103. HVHL Instellingsplan 2022-2025 (2022), *Groeien als experts in transitities*. Geraadpleegd december 2022, https://issuu.com/menc_hvhl/docs/instellingsplan_hvhl_2022-2025_en



©Hogeschool Van Hall Larenstein
www.hvhl.nl

Als University of Applied Sciences verbindt Hogeschool Van Hall Larenstein (HVHL) mensen die willen samenwerken aan een betere aarde. Met ons onderwijs en onderzoek leiden we mensen op die als ambitieuze professionals het verschil maken bij de belangrijkste maatschappelijke vraagstukken over de hele wereld. Professionals die hun idealen kunnen vertalen in innovaties, beleid, verdienmodellen en impact. Ons praktijkgerichte onderzoek maakt ons een betrouwbare partner binnen onze netwerken, waar we onze kennis toepassen en gezamenlijk ontdekken wat onze optimale bijdrage is aan de wereld van morgen.

Colofon

Licentieverwaarden



<http://doi.org/10.31715/2023.10>

Tekst

Dr. Martina Sura-de Jong

Editorial

Hogeschool Van Hall Larenstein

Design

David-Imre Kanselaar

Fotografie

Dr. Martina Sura-de Jong/
Midjourney A.I. met input van illustrator Jeroen Advocaat



Agora 1
Postbus 1528
8901 BV Leeuwarden
058 284 61 00

Larensteinselaan 26a
Postbus 9001
6880 GB Velp
026 369 56 95

www.hvhl.nl