

EFFECTEN VAN BEMESTING OP HET BODEMLEVEN EN DE STIKSTOFKRINGLOOP

september 2024

Bioclear earth

**project
bodemgezondheid in
Noord- Nederland**

**De rol van het
bodemmicrobioom in
de spotlight**

**Handvaten voor
beleid en praktijk**



Bioclear earth.nl

provincie Drenthe

provinsje fryslân
provincie fryslân 



Opdrachtgever

Provincie Drenthe
Provincie Fryslân
Provincie Groningen
FrieslandCampina

Auteur(s)

Eline Keuning, Jidske Knigge

© **Copyright**
2024 Bioclear earth

TREFWOORDEN:

Stikstof; mest;
digestaat;
bodemgezondheid;
bodemmicrobioom;
DNA van de bodem

INHOUDSOPGAVE

Pagina

1. Inleiding

5

Achtergrond en aanleiding van het onderzoek

6

Doelstelling

8

2. Proefopzet

9

3. Resultaten

10

Hebben we invloed op het bodemleven?

10

Wat betekenen micro-organismen voor de bodemgezondheid?

11

Digestaat heeft een positieve invloed op Trichoderma.

13

Effecten op wormen

14

De stikstofkringloop

16

4. Conclusies

19

5. Aanbevelingen

22

Literatuur

24



Voorwoord

Al heel lang ben ik gefascineerd door wat zich afspeelt in de bodem. Een bodem is een levend systeem waar het bij wijze van spreken drukker is dan in de kalverstraat in Amsterdam, alleen dan met bacteriën, schimmels, wormen en insecten. En allemaal vervullen ze daar verschillende functies, maar welke precies, dat is de vraag. En wat hebben we daaraan? Kunnen we die functies gebruiken in de verduurzamingsopgaven waar de landbouw voor staat?

Wij zijn heel blij dat we samen met de provincies Fryslân, Groningen en Drenthe en met Friesland Campina de gelegenheid hebben gekregen om in praktijkprojecten bij agrariërs onderzoek te doen naar de potentie van het levende bodemsysteem en meer inzicht op te doen hoe we de bodembioïologie als extra sturingsmechanisme kunnen benutten in de landbouwpraktijk. We willen dan ook alle deelnemende boeren bedanken voor hun betrokkenheid en inzet voor dit project.

Bijvoorbeeld, zoals in dit rapport beschreven, om de stikstofkringloop en de benutting van mest te verbeteren en de bodem tevens droogtebestendiger en dus klimaatadaptiever te maken. Dit heeft voor de praktijk waardevolle inzichten en eerste handelingsperspectieven opgeleverd die we in de komende jaren samen met de provincies, kennisinstellingen en instituten, agrofoodbedrijven en natuurlijk met agrariërs verder kunnen verkennen en toepassen in de praktijk.

Eline Keuning
Lead Soil health Bioclear earth

1. Inleiding

Kunnen we complexe opgaven zoals het stikstofdossier en het klimaatadaptatief maken van onze bodems effectief aanpakken door gebruik te maken van het potentieel van het bodemleven? Elke landbouwbodem huisvest een overvloed aan nuttige bacteriën en schimmels met diverse vitale functies die zowel de landbouw als het milieu ten goede kunnen komen. Uit het hier beschreven project blijkt dat de bodembioïologie een essentiële rol kan spelen die momenteel nog onvoldoende wordt benut.

In onze ontdekkingstocht hoe we bodemleven beïnvloeden en wat dit voor ons kan betekenen, zijn we begonnen met de rol van mest.

Mest speelt een centrale rol in onze landbouw. Het is een bron van nutriënten waaronder stikstof en draagt bij aan de organische stof en structuur van de bodem. Mest is een waardevol product, maar ons mestgebruik kent ook nadelen. Dit project had als doel beter te begrijpen wat de impact van verschillende soorten mest en mesttoedieningen is op het bodemleven, zodat de voordelen van mest optimaal benut kunnen worden en de nadelige effecten beter kunnen worden beperkt.



Achtergrond en aanleiding van het onderzoek

Er is veel onderzoek gedaan naar verschillende manieren van mesttoediening om ammoniakuitstoot naar de lucht te kunnen beperken. Dit heeft geleid tot het huidige mestbeleid waarbij de meest voorkomende mestsoort, drijfmest via zodebemesting moet worden aangebracht. Ondanks de belangrijke rol van mest voor de melkveehouderij, weten we nog weinig over de effecten op het bodemleven van verschillende mestsoorten en manier van mest toedienen.

Een alternatief voor drijfmest is om de drijfmest te vergisten tot biogas in een monomestvergister en het resterende digestaat toe te passen als meststof. De bevindingen van onderzoeken naar de effecten van digestaat als meststof lopen uiteen, met conclusies variërend van zeer positief in een grondig ecotoxicologisch onderzoek tot negatief. Een publicatie van Nieuwe Oogst in 2016 over de ervaringen in de Marke met het toepassen van digestaat (mono-mestvergisting), waarin stond dat het organisch stofgehalte op peil was gebleven en zelfs licht was toegenomen deed veel stof opwaaien. Er verscheen zelfs een publicatie als tegenreactie, waarin mogelijke nadelen voor het bodemleven als voornaamste zorg werd genoemd. Een goede onderbouwing van de effecten van digestaat op de bodem is derhalve zeer wenselijk.

In opdracht van de provincies Groningen, Fryslân en Drenthe en in samenwerking met FrieslandCampina, is door Bioclear earth een tweejarig praktijkonderzoek uitgevoerd bij melkveebedrijven in Friesland, Groningen en Drenthe. De bodemmicrobiologie is bij verschillende soorten organische mest:

- drijfmest met zodebemesting
- drijfmest bovengronds
- digestaat uit monomestvergisters met zodebemesting
- vaste mest bovengronds

In samenwerking met de Rijksuniversiteit Groningen is op de onderzochte percelen de wormenpopulatie geïnventariseerd en vergeleken.

DRIJFMEST, WAT IS DAT EIGENLIJK?

De meeste melkveebedrijven in Nederland maken gebruik van loopstallen. Mest en urine worden in een mestkelder opgevangen en vermengd. Natuurlijke enzymen uit de mest zorgen dat het ureum in de urine omgezet wordt in het veel vluchtigere ammoniak. Om deze emissies te verminderen, is sinds 1993 de zodebemesting verplicht gesteld, waarbij drijfmest niet langer op de zode wordt uitgereden maar via een snede in de zode wordt aangebracht.



MEST EN STIKSTOF: VRIEND EN VIJAND

In Nederland hebben we te maken met een te hoge stikstofemissie. Deze is voor een deel afkomstig van verkeer en industrie in de vorm van NO_x, maar ook voor een groot deel uit de landbouw: met name de emissie van ammoniak uit dierlijke mest. Dit zorgt o.a. voor stikstofdepositie in (kwetsbare) natuurgebieden. Bovendien blijkt dat op veel locaties de norm voor nitraat in grondwater, zoals vastgesteld in de kaderrichtlijn water (KRW), nog steeds wordt overschreden. In het 7e actieprogramma nitraatrichtlijnen (NAP) is daarom mestbeleid ook een belangrijk onderwerp.

Micro-organismen spelen een belangrijke rol bij de emissie van lachgas (N₂O) vanuit de bodem. De verwachting is dat het type mest en de manier van aanwenden deze micro-organismen beïnvloedt. In een vervolgonderzoek is daarom nuttig om de koppeling te maken tussen emissiemetingen en het bodemleven.

HET ONDERZOEKEN VAN DE BODEMMICROBIOLOGIE MET DNA TECHNIEKEN

Het onderzoeken van de bodemmicrobiologie gebeurt met de techniek Next Generation Sequencing (NGS). Hiermee worden stukken DNA in kaart gebracht die uniek zijn voor elk organisme. Vervolgens kunnen we met dit stukje DNA uit een database het bijbehorende organisme identificeren. Daardoor is het mogelijk om zeer veel informatie te verzamelen over een bodem: wat is de microbiële diversiteit, zijn er bacteriën aanwezig die stikstof kunnen vastleggen, zijn er bacteriën aanwezig die planten kunnen beschermen tegen stress? Door deze informatie te combineren met andere gegevens zoals chemische en fysische parameters krijgen we een unieke inzicht in het functioneren van een bodem.



Het bodemmicrobioom

Het bodemmicrobioom bevat de genetische informatie van alle micro-organismen die in de bodem leven. Deze genetische informatie bepaalt de functies en interacties van de micro-organismen binnen het ecosysteem. Door de analyse van het DNA van het bodemmicrobioom kunnen we de diversiteit en samenstelling van de microbiële gemeenschap in de bodem beter begrijpen.

Metagenomics is een techniek die wordt gebruikt om het DNA van het bodemmicrobioom te bestuderen. Deze methode maakt het mogelijk om het volledige genetische materiaal uit bodemmonsters te isoleren en te analyseren, zonder de noodzaak om individuele micro-organismen te kweken. Hierdoor kunnen wetenschappers ontdekken welke soorten microben aanwezig zijn en welke functies ze vervullen, zoals het afbreken van organisch materiaal, het vastleggen van stikstof, of het produceren van stoffen die planten beschermen tegen ziekten.

Doelstelling

In dit onderzoek willen we inzicht krijgen in hoe verschillende methoden van mesttoediening de wormen en het bodemmicrobioom beïnvloeden. We richten ons op zodebemesting met drijfmest; bovengrondse toediening van drijfmest en vaste mest. Daarnaast bekijken we zodebemesting met mest-digestaat, waarbij het digestaat van mono-mestvergisting als meststof wordt gebruikt.

Het doel is om te begrijpen hoe deze verschillende methoden het bodemleven beïnvloeden en welke effecten dit heeft op de stikstofkringloop en droogtegevoeligheid van de bodem. Door deze kennis kunnen we beter bepalen welke mesttoedieningstechnieken het meest duurzaam en effectief zijn voor zowel de landbouw als het milieu.



2. Proefopzet

Bij 11 melkveebedrijven in Noord Nederland zijn gedurende twee jaar bodemonsters genomen in blijvend graslandpercelen. De bodem is een dynamisch levend systeem, daarom is er meerdere malen bemonsterd gedurende het groeiseizoen.

Er zijn vier verschillende 'condities' onderzocht in dit project:

- Drijfmest zodebemesting
- Drijfmest bovengronds
- Vaste mest bovengronds
- Digestaat afkomstig van monomestvergisting met zodebemesting

De percelen zijn geselecteerd in samenwerking met de melkveehouders.

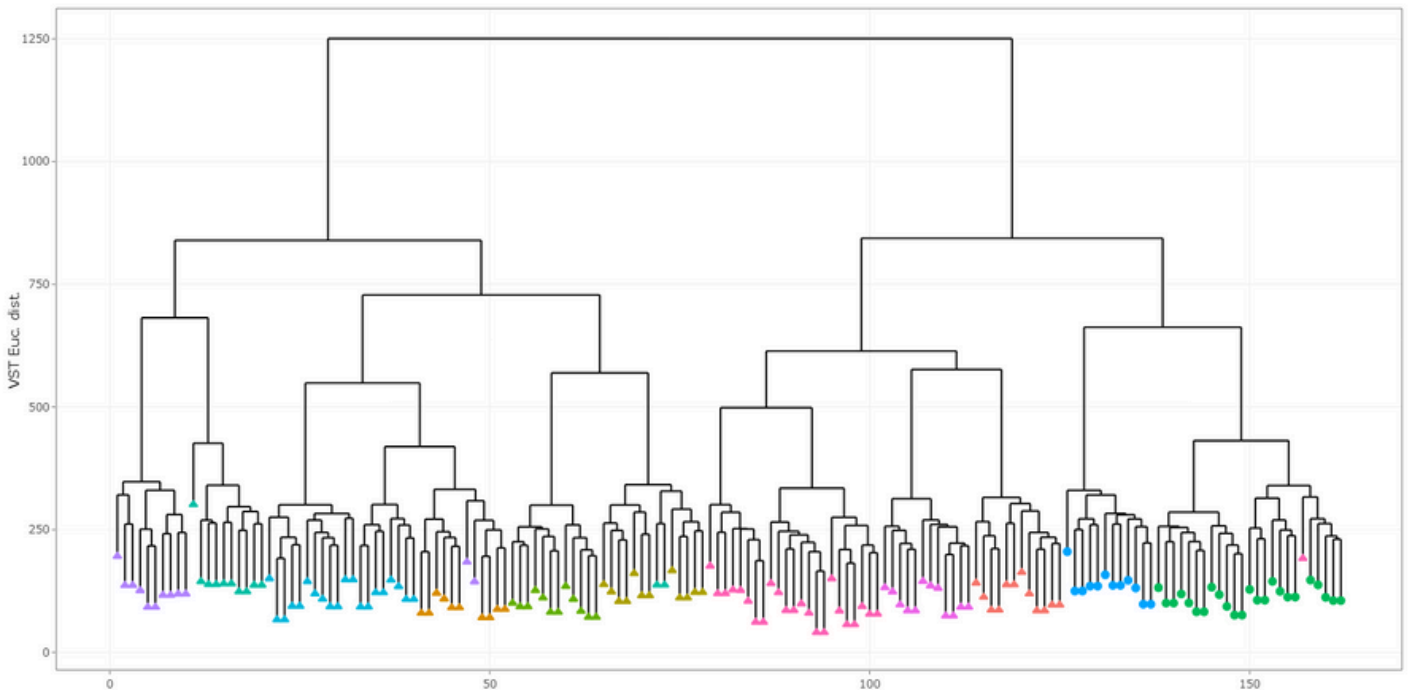
Meetmoment	Ronde	Toelichting
Maart 2021	1	Voor eerste bemesting, nulmeting
April 2021	2	Na eerste bemesting
Juni 2021	3	Na de tweede bemestingsronde en de eerste snede van het gras
September 2021	4	Na de derde bemestingsronde en de derde snede van het gras
April 2022	5	Na de eerste bemesting
September 2022	6	Na de derde bemestingsronde en de derde snede van het gras

Tabel 1: Overzicht van de vier bemonsteringsmomenten gedurende het groeiseizoen



3. Resultaten

Hebben we invloed op het bodemleven?

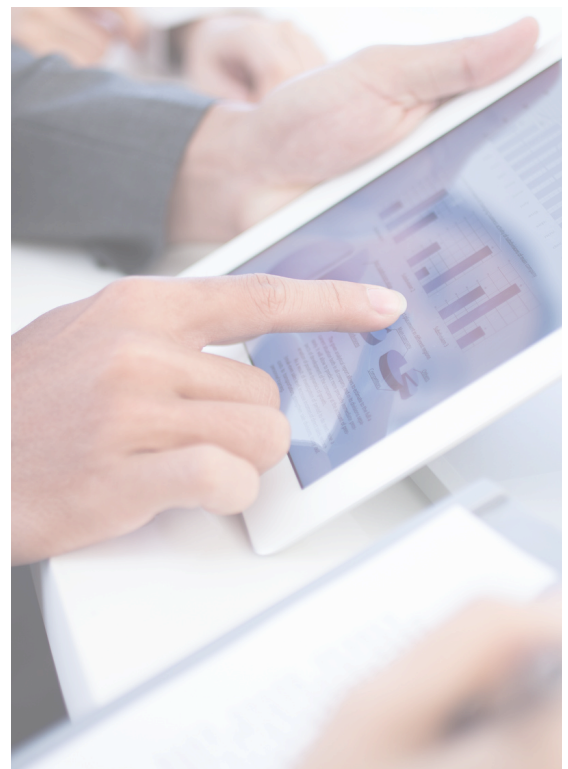


Figuur 1: De bodemmicrobiomen zijn hierboven weergegeven als een stamboom. Elk punt bevat de informatie over de samenstelling van het microbioom van een monster. Hoe dichter de punten bij elkaar liggen, hoe meer ze op elkaar lijken. Elk deelnemend bedrijf heeft zijn eigen kleur. Hieruit blijkt dat elk bedrijf haar eigen unieke microbioom heeft en dat de boer door beheer voor een flink deel bepaalt (ca. 40%) hoe het microbioom eruit ziet.

Om bodembioogie als bron van nieuwe handelingsperspectieven te gebruiken is de belangrijkste vraag die eerst moet worden beantwoord: kunnen we het bodemmicrobiom aansturen?

Dit is onderzocht door middel van statistische toetsen, zoals de PERMANOVA toets, PCA en netwerkanalyses. Uit de PERMANOVA toets blijkt dat beheer een duidelijke invloed heeft op de samenstelling van het microbiom. Tevens blijkt dat zowel het type mest als de wijze van toediening (bovengronds of via zodebemesting) een significant effect hebben op de bodemmicrobiologie, zowel voor bacteriën als schimmels. De boer blijkt met beheer voor een groot deel het microbiom te sturen: de som van zijn of haar beheer bepaalt tot wel 40% van de samenstelling. De keuze van het type mest en de manier van toedienen zijn hier onderdelen van.

Deze toets is ook in staat om de zekerheid van de uitkomst te bepalen. De invloed van zodebemesting of bovengronds is voor alle groepen het meest zeker. Dit is weergegeven in figuur 2.



Wat betekenen micro-organismen voor bodemgezondheid?

Om de effecten van de verschillende mestsoorten op de bodemgezondheid te bepalen zijn alle verzamelde microbiomen gegroepeerd op basis van functie en met elkaar vergeleken. Hieruit zijn een aantal nieuwe inzichten ontstaan.

De manier van mest toedienen beïnvloedt:

- de aanwezigheid van plantengroei bevorderende bacteriën
- de aanwezigheid van mycorrhiza schimmels

Hogere aanwezigheid nuttige bacteriën en schimmels bij bovengronds bemesten

Bij het bovengronds toepassen van mest, en zeker bij vaste mest, is de aanwezigheid van Planten Groei Bevorderaars gemiddeld hoger. Ook het aandeel van de nuttige schimmels die planten helpen (mycorrhiza) is hoger bij bovengronds bemesten.

Bij deze schimmels valt op dat vooral bij het gebruik van drijfmest via zodebemesting pieken en dalen in de aanwezigheid optreden, terwijl dit bij de andere mestvormen veel stabiel is. Het aandeel van de Planten Groei Bevorderaars is het laagst bij de met digestaat bemeste bodems.

Een hogere aanwezigheid van deze soorten heeft de volgende verwachte voordelen:

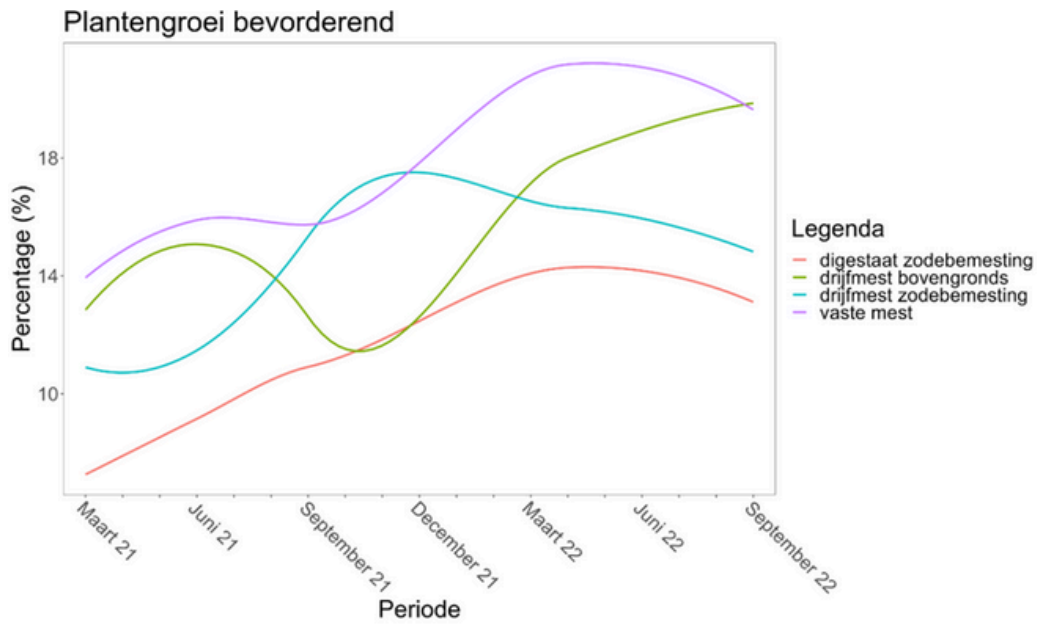
- betere benutting van nutriënten door het gewas
- beter bestand tegen stress zoals periodes van droogte of juist hevige regenval (klimaatadaptatie)
- minder last van ziektes

Hoewel schimmels en bacteriën meestal niet met het blote oog zichtbaar zijn, vormen ze samen het grootste deel van de biomassa in de bodem. In 1 gram Nederlandse bodem zitten vaak meer dan 6000 duizend soorten bacteriën en meer dan 1000 soorten schimmels. Deze talrijke soorten vervullen belangrijke functies in het bodemecosysteem en beïnvloeden daarmee de opbrengst en zelfs de smaak van het gewas.

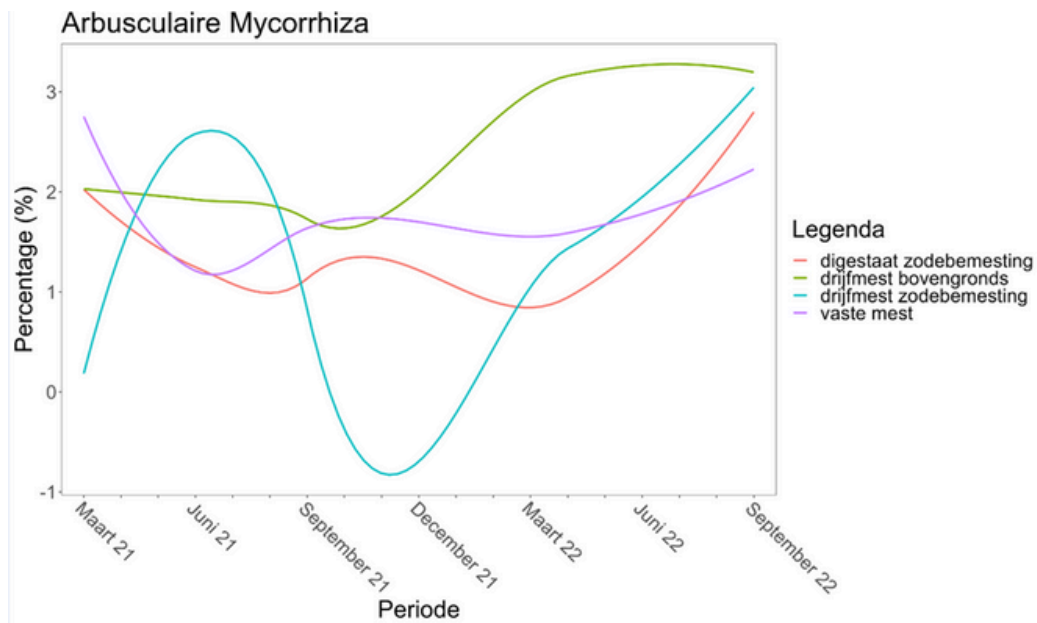
Een belangrijke groep bacteriën wordt in de wetenschappelijke literatuur de 'Plant Groei Bevorderaars' genoemd. Deze bacteriën leveren planten diverse diensten in ruil voor suikers die ze nodig hebben om te groeien. Zo zijn er bijvoorbeeld soorten die nutriënten leveren zoals stikstof en fosfaat, maar ook soorten die ingewikkelde stoffen produceren die planten beschermen tegen ziekteverwekkers of stress door droogte (Majeed et al., 2018; Numan et al., 2018).

IN 1 GRAM NEDERLANDSE BODEM ZITTEN VAAK MEER DAN 6000 SOORTEN BACTERIËN EN MEER DAN 1000 SOORTEN SCHIMMELS!

Een van de meest bekende plantengroei bevorderende schimmels zijn de arbusculaire mycorrhiza (AM) schimmels. Deze schimmels kunnen een samenwerking aangaan met de wortels van een groot aantal planten, waaronder grassen. Deze schimmels vergroten het worteloppervlakte en zorgen voor een verbeterde opname van voedingsstoffen en bescherming tegen ziekteverwekkers, droogte- en zoutstress (Begum et al., 2019).



Figuur 3: Het percentage van de bacteriën met plantengroei bevorderende eigenschappen door de tijd per mestsoort. Hierbij valt op dat vaste mest het hoogste percentage van de bacteriën heeft.



Figuur 4: Het percentage van de schimmels die vallen onder de Arbusculaire Mycorrhiza schimmels door de tijd. Zodebemesting veroorzaakt pieken en dalen in de aanwezigheid van deze nuttige schimmels.

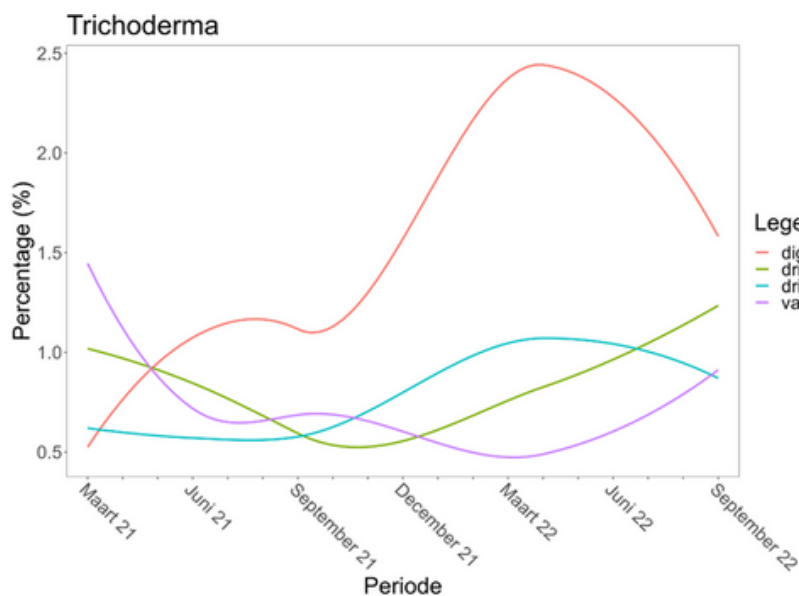
Mest-digestaat heeft een positieve invloed op Trichoderma



Trichoderma is een schimmel die de groei van planten bevordert en ziekten onderdrukt, en heeft een grote potentie voor de landbouw, vooral onder stressvolle omstandigheden (Zin & Badaluddin, 2020; Siemering et al., 2016). Deze schimmel wordt door sommige akkerbouwers aangekocht en gebruikt als bio-inoculum (entstof) om de gewas weerbaarheid te vergroten. Het hoogste aandeel Trichoderma wordt gevonden in de bodems die digestaat ontvangen.

IN THE SPOTLIGHT: BACILLUS

In de bodems waar bovengronds wordt bemest zijn meer plantgroei bevorderende bacteriën te vinden dan in de bodems met zodebemesting. Een groot aandeel van deze bacteriën behoort tot het genus Bacillus. Deze soort staat bekend om hun plantengroei bevorderende en ziekte-onderdrukkende eigenschappen (Shafi et al., 2017). Ook spelen Bacilli een belangrijke rol in de weerbaarheid van het gewas in periodes van droogte (Azeem et al., 2022). Het is daarom aannemelijk dat het meer voorkomen van deze soorten in bodems waar bovengronds wordt bemest positief is voor het gewas en dat dit gewas ook beter bestand is tegen droogte.



Figuur 5: Het percentage van de schimmels die vallen onder het nuttige geslacht *Trichoderma*. Hierbij valt op dat digestaat een stimulerend effect heeft op de aanwezigheid van deze schimmels.

ZIEKTEVERWEKKENDE SOORTEN VOOR MENS EN DIER

In elke bodem zijn er wel eens soorten die potentieel ziekteverwekkend kunnen zijn voor mensen of dieren met een zwak immuunsysteem, maar dat is een normaal onderdeel van de natuurlijke omgeving. In geen van de bodems die we onderzocht hebben binnen dit project zijn zorgwekkende ziekteverwekkende soorten aangetroffen. Ook hebben we geen bewijs gevonden dat digestaat meer ziekteverwekkers bevat dan (drijf)mest.

Effecten op wormen

Het effect van type bemesting op de wormenstand in de percelen is bepaald door Postdoc onderzoeker Jeroen Onrust van de Rijksuniversiteit Groningen. In de percelen komen grofweg twee groepen regenwormen het meeste voor; de grijze en rode regenworm. Rode wormen zijn onder te verdelen in de zogeheten schimmel-etende pendelaars en strooiselwormen.

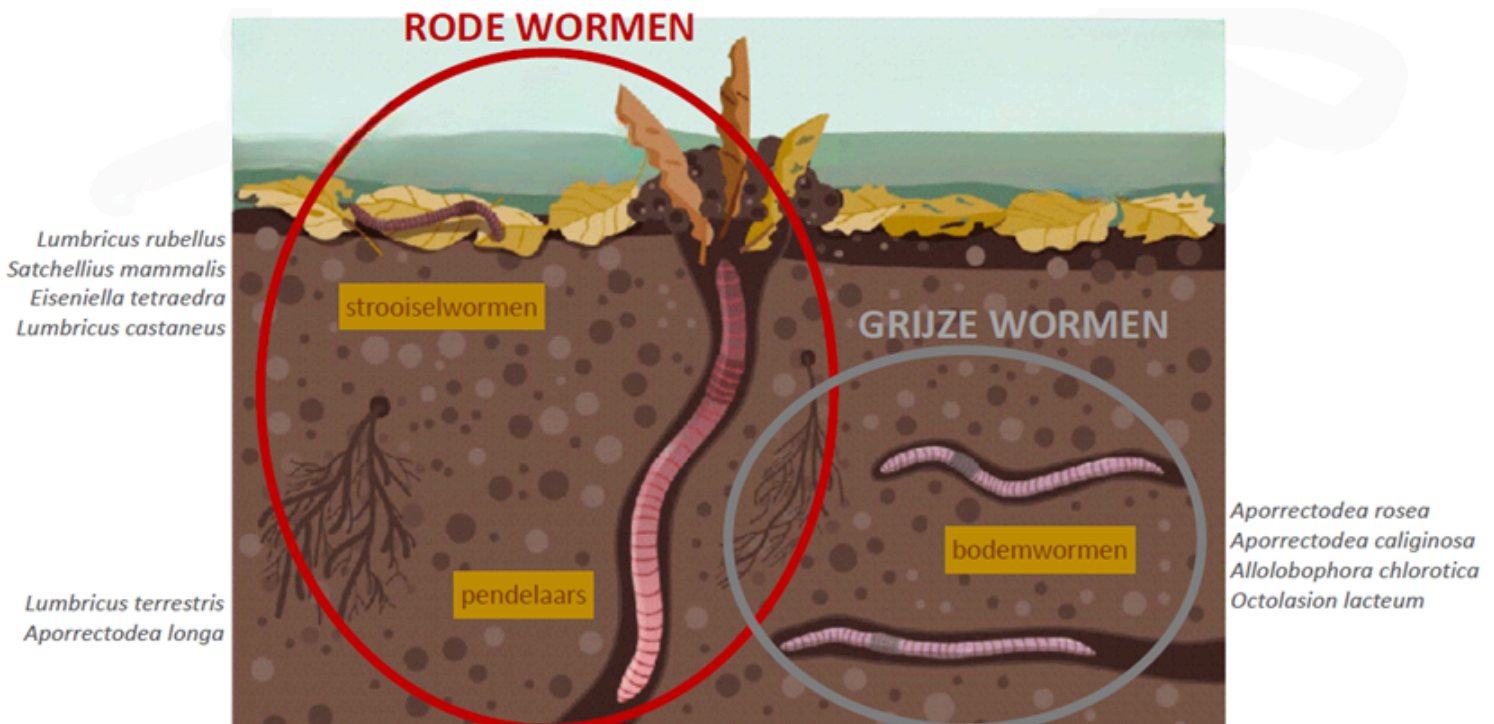
Een hoog aantal rode wormen is een indicatie voor een gezonde bodem

Pendelaars graven verticale gangen en trekken organisch materiaal dat op het land ligt de bodem in, terwijl strooiselwormen in de strooisellaag leven en organisch materiaal verteren. Rode wormen spelen hierdoor een belangrijke rol in waterinfiltratie van het land en het inbrengen en afbreken van organisch materiaal en het hierdoor beschikbaar maken van nutriënten voor de bodem. Een perceel met een hoog aantal rode wormen is een indicatie voor een gezonde bodem. In tegenstelling tot de grijze worm kunnen rode wormen makkelijk verstoord worden door bijvoorbeeld ploegen of zodebemesting, waardoor de populatie afneemt. Grijze wormen zijn bacterie-etters en komen nauwelijks naar de oppervlakte, waardoor ze minder makkelijk beschikbaar zijn als voedselbron voor dieren die jagen op zicht of gehoor zoals kieviten en steenuilen.

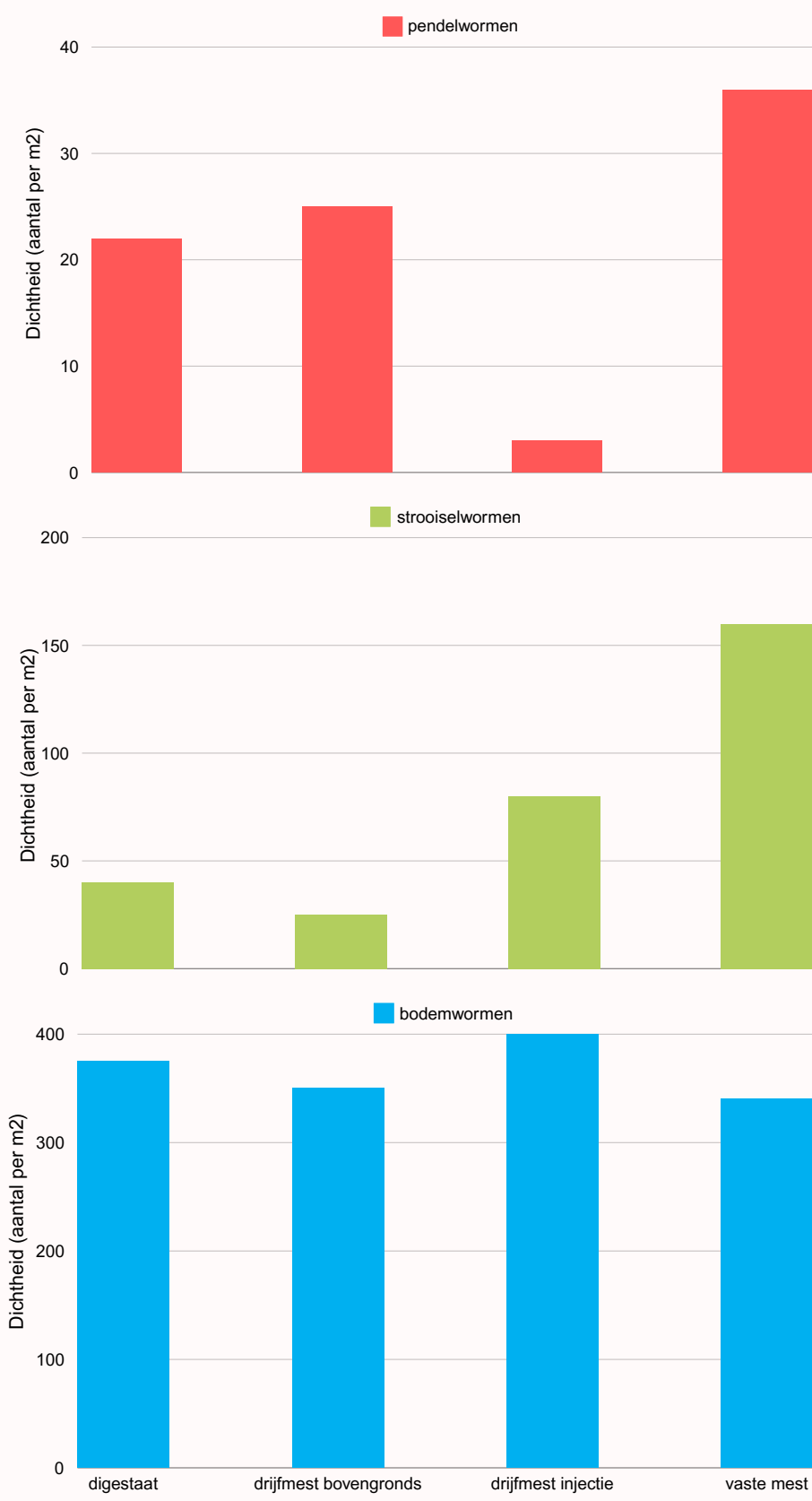
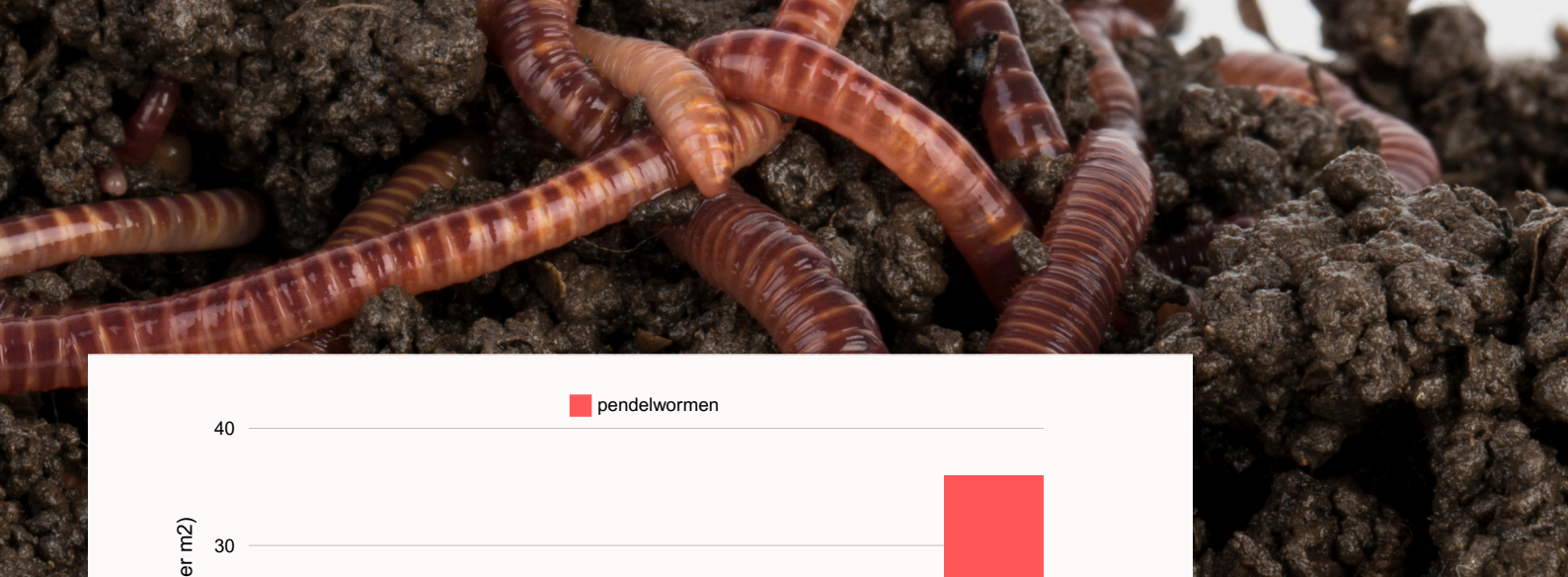
Uit de wormentelling blijkt dat in de meeste bodems de wormendichtheid hoog is, maar dat dit met name grijze wormen zijn. De bodems waar de meeste rode wormen voorkomen zijn de bodems waar vaste mest (bovengronds) wordt uitgereden (Figuur 7). Dit is te verklaren omdat in vaste mest veel organisch materiaal zit zoals stro waar de rode wormen van leven. Ook wordt door het bovengronds uitrijden de bodem minder verstoord dan bij zodebemesting.

Het aantal pendelaars is het laagst bij de bodems waar drijfmest zodebemesting plaats vindt. Opvallend is dat de bodems waar mest-digestaat wordt toegepast een hoger aandeel pendelaars heeft dan de bodems waar drijfmest zodebemesting plaats vindt. Verder valt op dat het aandeel adulte regenwormen in de meeste bodems laag is. Dit geeft aan dat de bodems verstoord worden, waardoor de oudere wormen niet overleven. Oudere, grotere (rode) wormen zijn belangrijk voor een gezonde bodem, omdat deze meer grond kunnen verzetten en meer organisch materiaal de bodem inbrengen dan jonge wormen.

Samengevat blijkt uit de wormentelling dat bemesten met vaste mest het beste is voor de populatie rode en adulte wormen. Zodebemesting zorgt voor verstoring van de bodem en minder organisch materiaal op het land, waardoor de populatie rode wormen lager is.



Figuur 6: Overzicht ecologische groepen regenwormen. (bron: Presentatie Jeroen Onrust 7 april 2022)



Figuur 7: Aandeel pendelwormen, strooiselwormen en bodemwormen in de verschillend bemeste bodems. (Bron: Presentatie Dr. Jeroen Onrust 7 april 2022).

De stikstofkringloop

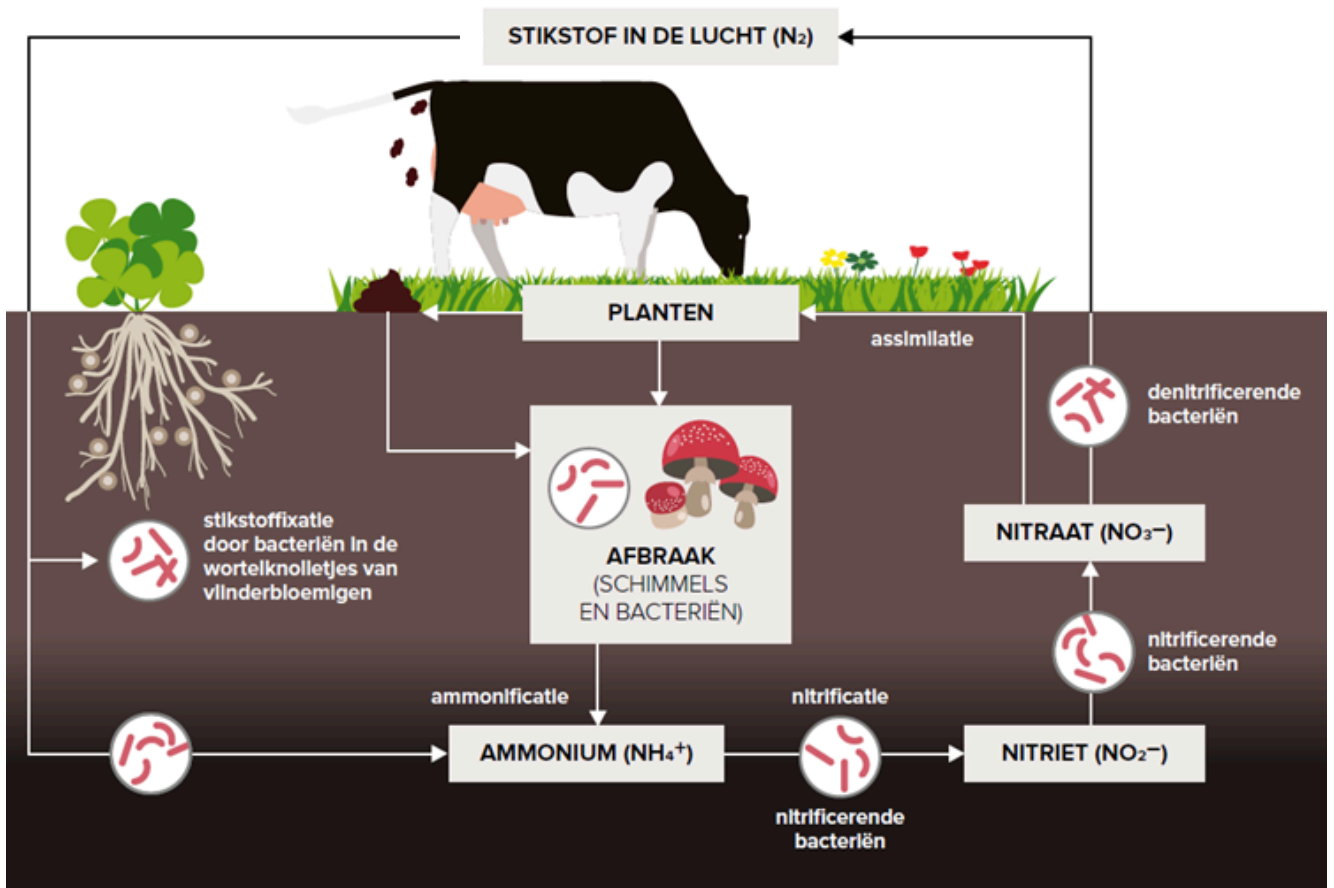
Stikstof (N) is een essentieel element voor al het leven op aarde. In Figuur 8 is een vereenvoudigde weergave van deze kringloop gepresenteerd, waarin de belangrijke rol van micro-organismen direct opvalt. Deze micro-organismen zijn verantwoordelijk voor verschillende processen, zoals het vastleggen van stikstof uit de lucht, de afbraak van organisch materiaal waarbij ammonium en nitraten vrijkomen, en het omzetten van ammonium in nitraat. De stikstofkringloop is behoorlijk complex omdat er veel verschillende vormen van stikstof zijn en ze op verschillende manieren kunnen worden omgezet.

Om de invloed van bemesting op deze soorten te onderzoeken, is het aandeel van de soorten betrokken bij nitrificatie, denitrificatie en stikstof-fixatie in de bodem bepaald. Op deze manier zijn de verschillende processen in de stikstofkringloop te volgen in de tijd en wordt het effect van bemesting op de organismen die betrokken zijn bij de stikstofkringloop inzichtelijk.

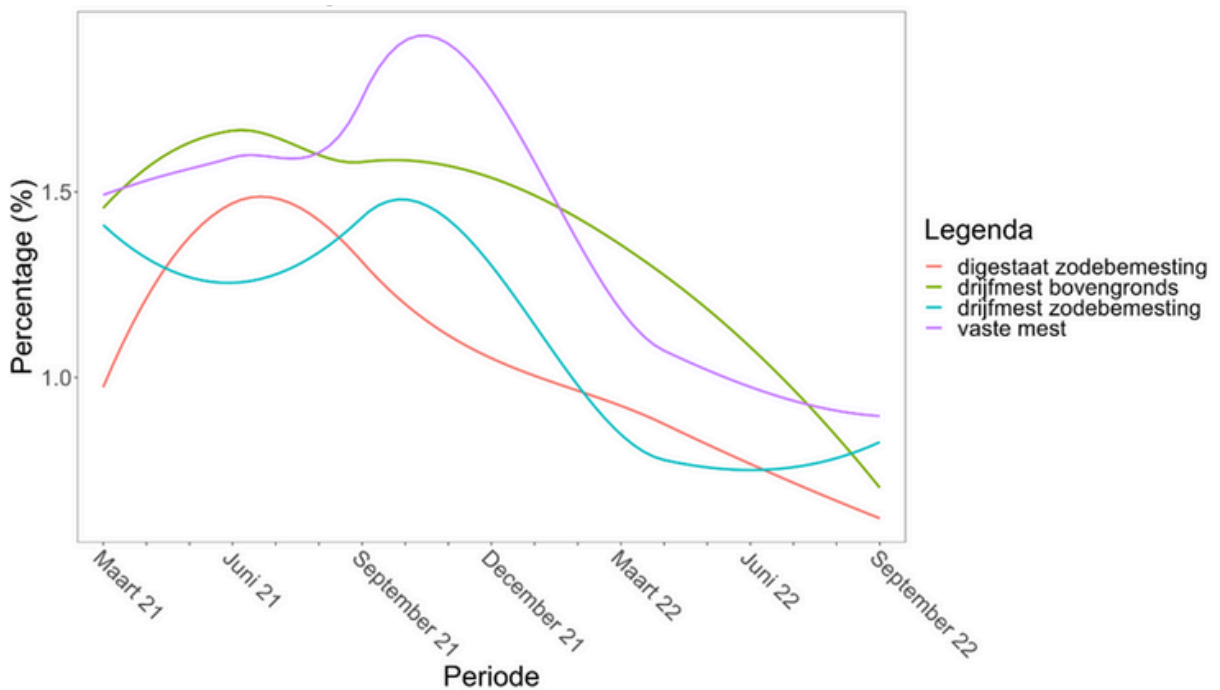
Stikstof leveranciers

Uit de metingen blijkt dat het percentage van de bacteriën die stikstof (N_2) kunnen vastleggen uit de lucht hoger is waar bovengronds wordt bemest (Figuur 9). Op deze percelen wordt minder of geen kunstmest uitgereden (maximaal 90 kg/ha). Uit de chemische analyses blijkt dat de beschikbaarheid van stikstof in deze percelen goed is.





Figuur 8: De stikstofkringloop. Micro-organismen spelen een belangrijke rol bij de omzetting van verschillende stikstofverbindingen. Bron afbeelding: www.veeteelt.nl



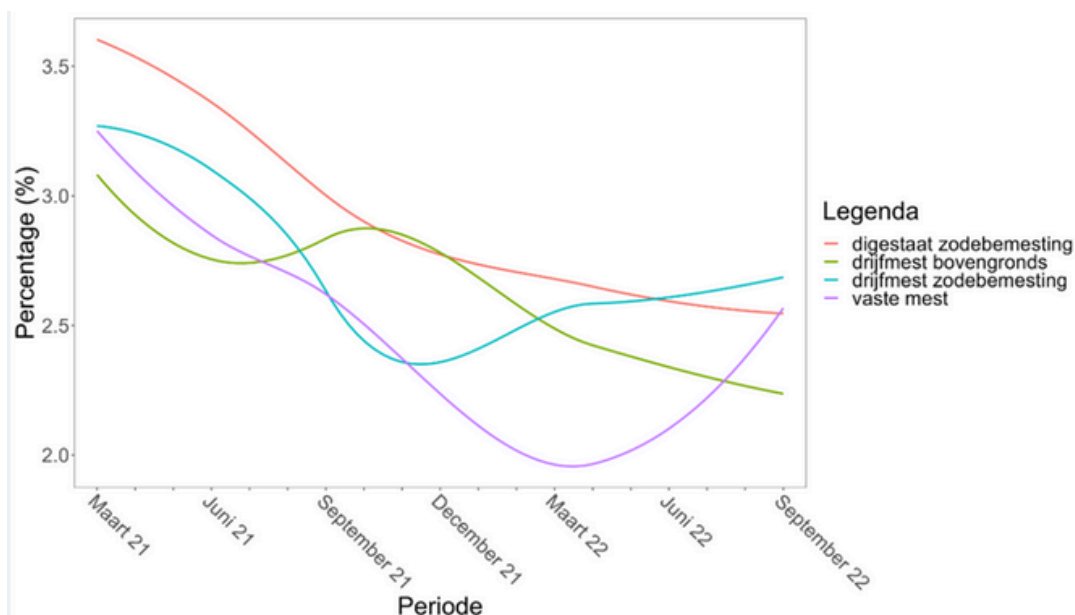
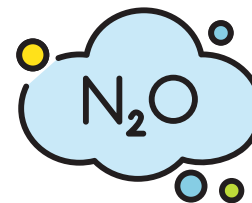
Figuur 9: Het percentage van de bacteriën die stikstof leveren aan de bodem (stikstofixatie) in zandbodems door de tijd.

Nitrificatie / Denitrificatie

Nitraatopruimers (denitrificatie)

Denitrificerende bacteriën kunnen nitraat omzetten in stikstofgas (N_2) en het sterke broeikasgas lachgas (N_2O), dit gebeurt met name wanneer er een overschot aan nitraat in de bodem aanwezig is. Digestaat bodems bevatten de meeste denitrificerende soorten, gevolgd door drijfmest zodebemesting (Figuur 10).

Het hoogste aandeel denitrificerende bacteriën wordt gevonden bij bodems die bemest worden met mest-digestaat en het laagste aandeel denitrificerende organismen bij bodems die vaste mest krijgen.

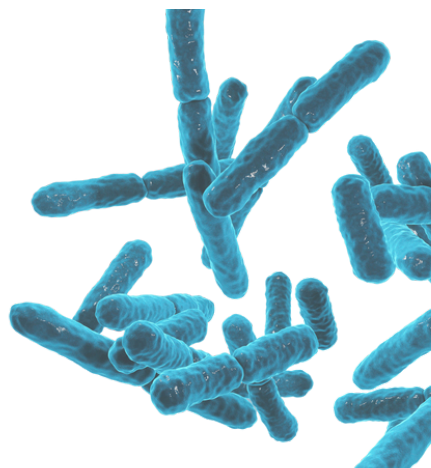


Figuur 10: Het percentage van alle bacteriën die kunnen denitrificeren in zandbodems door de tijd heen.

Nitraatmakers (nitrificatie)

Mest-digestaat heeft in beide meetjaren veruit het hoogste aandeel aan bacteriën die nitraat produceren en vaste mest heeft stabiel juist het laagste aandeel. Het risico op uitspoeling van nitraat is daarmee groter bij de toepassing van digestaat en het laagst bij de toepassing van vaste mest.

Bij drijfmest valt op dat er verschillen zijn tussen de beide meetjaren. In het eerste meetjaar (4 meetmomenten) vertoonde zodebemesting een hoger percentage van deze nitraatmakers. In het tweede meetjaar (2 meetmomenten) bleek het percentage juist gemiddeld hoger te zijn bij bovengronds bemesten. Dit heeft mogelijk met de drogere weersomstandigheden te maken in het tweede jaar.

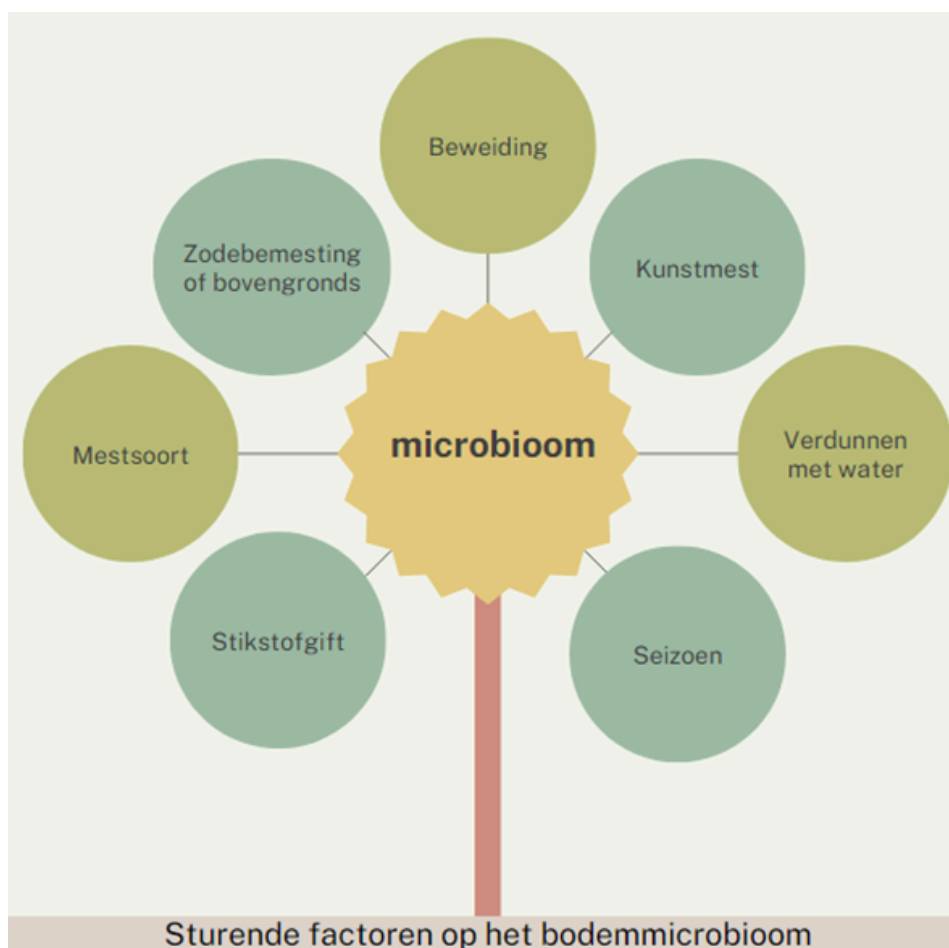


4. Conclusies

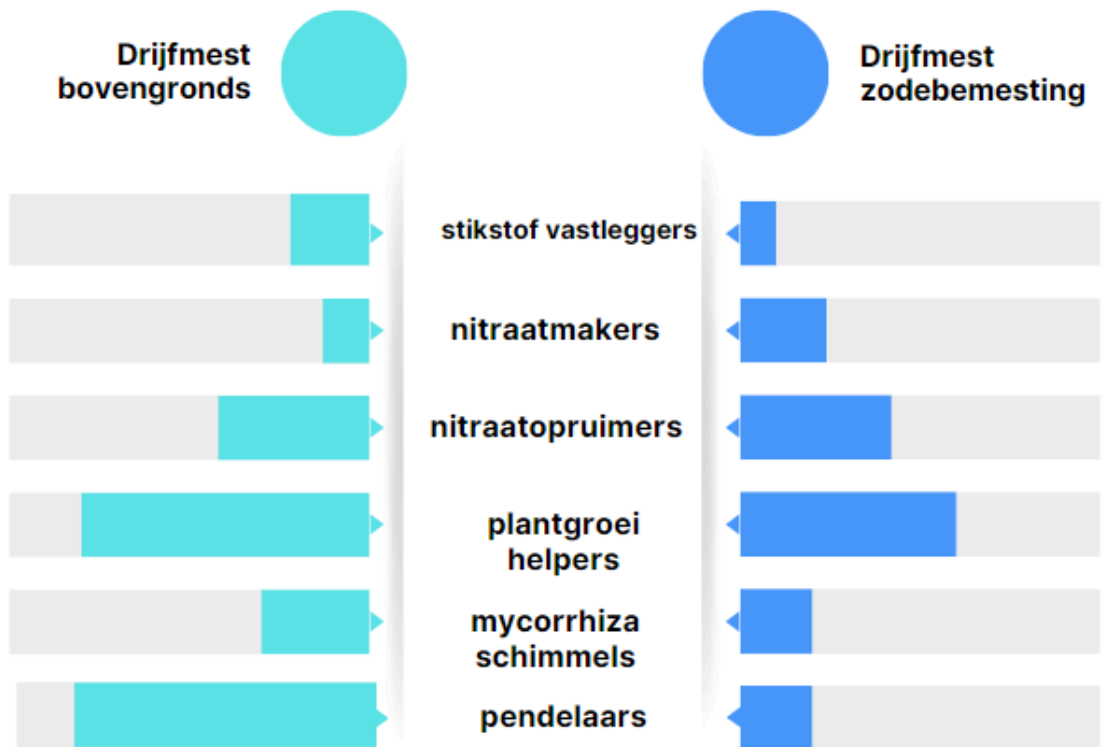
In onze ontdekkingsstocht naar de potentie van het bodemleven voor de landbouw heeft dit project aangetoond dat het soort mest en de manier van aanwenden een sturende werking op de samenstelling van het bodemleven heeft. Daarnaast bleek dat nuttige functies die het bodemleven uitvoert ook worden beïnvloed door de mestvorm en aanwendingsmanier. Veruit de meest sturende factor op het bodemmicrobioom bleek de boer zelf te zijn in dit onderzoek. De som van zijn of haar beheer bepaalt tot 40% van de samenstelling. Dit opent tal van mogelijkheden om het bodemleven in te zetten in de verduurzamingsopgaven voor de landbouwsector.

Maakt de manier van bemesten uit voor het bodemleven?

Drijfmest zodebemesting is een maatregel die is ingevoerd om milieuschade door ammoniak emissie te verminderen. Dit project werpt een nieuw licht op deze maatregel, zodebemesting blijkt vaak niet gunstig uit te pakken voor het bodemleven. Bodems die bovengronds worden bemest bleken in dit onderzoek vaak beter te scoren op bodembioologie met interessante eigenschappen zoals het vastleggen van stikstof, het maken van plantgroeihormonen en het bijstaan van planten ten tijde van stress. Ook de rode wormen (pendelaars) gedijen beter bij bovengrondse bemesting.



Figuur 11: De sturende factoren op het bodemmicrobioom. De boer bepaalt een groot deel van deze factoren.



Figuur 12: Vergelijking van verschillende functionele groepen tussen drijfmest bovengronds en drijfmest via zodebemesting.

Bovengronds bemesten stimuleert de groei van schimmels en bacteriën die goed zijn voor gewasontwikkeling, plantgezondheid en de weerbaarheid tegen droogte. Gedurende het hele groeiseizoen is het aandeel van deze micro-organismen bij bovengrondse bemesting hoger dan bij zodebemesting. In het licht van toenemende droogteperiodes zijn deze soorten essentieel voor boeren die zich aan willen passen aan het veranderende klimaat. Bovendien bevordert bovengronds bemesten de populatie rode wormen in de bodem, die helpen bij het vrijmaken van voedingsstoffen en het verbeteren van de bodemstructuur. Ook dienen deze wormen als belangrijke voedselbron voor weidevogels.

Gratis stikstof door bodembioogie

Bij het bovengronds verspreiden van drijfmest of vaste mest wordt de bodem beter benut om stikstof vast te leggen. Een bodem die op biologische wijze stikstof vastlegt, heeft minder kunstmest nodig.

Door de kunstmestgift te verminderen, worden risico's op nitraatuitspoeling en uitstoot naar de lucht verminderd. Ook wordt bespaard op kosten, energie en de grote CO₂-footprint van kunstmest.

Deze bevindingen bieden concrete en goed onderbouwde inzichten die gunstig kunnen zijn voor de bodemkwaliteit, bijvoorbeeld in het kader van klimaat adaptieve bodems en kunnen resulteren in een verbeterde stikstofbenutting. Dit kan leiden tot veerkrachtige bodems die beter bestand zijn tegen periodes van droogte, een verminderd gebruik van kunstmest, lagere emissies van lachgas en methaan.

Mest-digestaat: kansen en uitdagingen

Het gebruik van digestaat als meststof roept discussie op, vooral over de mogelijke impact op het bodemleven, zoals de introductie van ziekteverwekkers of vermindering van de biodiversiteit. Uit de resultaten van dit onderzoek blijkt echter dat het gebruik van digestaat als meststof niet leidt tot een hogere aanwezigheid van ziekteverwekkers in vergelijking met andere bemestingsmethoden. De microbiologische diversiteit is zelfs gelijk aan of zelfs hoger op percelen die bemest zijn met digestaat. Na de eerste bemesting neemt alleen het aantal plantengroei-bevorderende mycorrhiza schimmels toe in de percelen met digestaat, wat suggereert dat digestaat een positief effect heeft op deze belangrijke schimmelgroep.

Het is interessant om in toekomstig onderzoek vaker metingen te verrichten kort na de eerste mestgift. Verder is het percentage van de plantengroei-bevorderende *Trichoderma* schimmel in de digestaatbodems hoger dan bij drijfmest zodebemesting en vergelijkbaar met percelen die bovengronds worden bemest.

Desondanks is het totale percentage plantengroei-bevorderende bacteriën en arbusculaire mycorrhizaschimmels lager bij digestaat dan bij bovengrondse bemesting. Daarnaast stimuleert digestaat de aanwezigheid van nitrificeerders, dit vergroot de kans op uitspoeling van nitraat.

Nieuwe invalshoek: DNA van de bodem

Dit onderzoek geeft door middel van een geheel nieuwe aanpak meer inzicht in de effecten van verschillende mestsoorten op de bodemgezondheid en de stikstofomzettingen in de bodem. De nieuwe aanpak is gebaseerd op het meten van het volledige microbiële bodemleven (het bodemmicrobioom) door middel van moderne DNA analysetechnieken die in de afgelopen tien jaar beschikbaar zijn gekomen.

Elke bodem blijkt zijn eigen unieke fingerprint te hebben waarin heel veel informatie ligt opgeslagen over de condities, de historie, de kwaliteit en het beheer van de bodem. Zodoende zorgt elke boer door de manier waarop hij zijn land bewerkt in combinatie met de grondeigenschappen voor een eigen unieke fingerprint van zijn land.

5. Aanbevelingen

BODEMMICROBIOLOGIE ALS INDICATOR VOOR BODEMGEZONDHEID



Dit onderzoek toont aan dat micro-organismen krachtige indicatoren zijn voor verschillende processen in de bodem, die op reproduceerbare wijze kunnen worden gemeten. Bodemmicrobiologie is flexibel en kan zich goed aanpassen aan verschillende omstandigheden in de bodem. Bijvoorbeeld, een overvloed aan stikstof in de bodem leidt tot een toename van bacteriën die stikstof kunnen omzetten. Tegelijkertijd vormt bodemmicrobiologie een robuust systeem met een diversiteit aan hoofdsoorten die in elke bodem te vinden zijn. Door de combinatie van robuustheid en aanpassingsvermogen kunnen veranderingen in de bodem, veroorzaakt door factoren zoals bemesting, droogte of ziekte, worden geïdentificeerd. Hierdoor kunnen conclusies worden getrokken over onder andere nutriëntenkringlopen en bodemgezondheid.

In dit onderzoek is gebleken dat de boer met zijn of haar beheer het onzichtbare bodemleven aanstuurt en voor een groot deel de samenstelling van het bodemleven bepaalt. Verder ontrafelen hoe we met bodembeheer (naast bemesting) het bodemleven beïnvloeden en hier gericht gebruik van maken, biedt perspectieven voor toekomst bestendige landbouw.

Uit dit tweejarige onderzoek komen een aantal handelingsperspectieven die het waard zijn om te overwegen:

Bovengrondse mesttoediening

Bovengronds bemesten komt uit het onderzoek naar voren als een interessant handelingsperspectief, met twee belangrijke voordelen voor boer en milieu:

- De microbiologie van de bodem is gezonder, dit draagt bij aan de gewasgezondheid, gewasopbrengst en droogtebestendigheid van het perceel.
- Er zijn meer micro-organismen die stikstof gratis kunnen vastleggen. Dit biedt de potentie te besparen op kunstmest. Door te besparen op kunstmest wordt het risico op uitspoeling van stikstof naar het milieu verminderd en tegelijkertijd de kosten verlaagd.

Klimaatadaptief bodembeheer

Bovengrondse bemesting lijkt door het stimuleren van micro-organismen die een bodem droogtebestendiger maken, goed te passen in het actieprogramma Klimaatadaptief Nederland. Binnen de landbouwopgave is een van de doelstellingen gebiedsgericht klimaatadaptief bodembeheer. De resultaten in dit onderzoek wijzen uit dat bovengrondse bemesting een vorm van klimaatadaptief beheer kan zijn. Dit zou gebiedsgericht kunnen worden toegepast bij bijvoorbeeld droogtegevoelige zandgronden.

Bij bovengronds bemesten (zowel drijfmest als vaste mest) wordt de natuurlijke capaciteit van de bodem om stikstof vast te leggen beter benut. Door de stikstofgift met kunstmest te verminderen, worden risico's op nitraatuitspoeling verminderd, terwijl kosten, energiegebruik en de CO₂-uitstoot van kunstmest worden verlaagd. Dit handelingsperspectief van bovengronds mest uitrijden in combinatie met (tot 100 kg N) minder kunstmest, verenigt economische besparingen met ecologische voordelen.

Manier van mest aanwenden en broeikasgassen

De manier van mest aanwenden heeft mogelijk ook invloed op de emissies van lachgas en methaan vanuit de bodem. De verwachting is dat bij bovengronds bemesten minder emissie van deze broeikasgassen plaats vindt. Dit kan nader worden onderzocht met emissiemetingen.

Digestaat als drijfmestvervanger

Bemesting met digestaat heeft de volgende voordelen ten opzichte van drijfmest:

- Een aantal plantgroei bevorderende schimmels komen meer voor in bodems die bemest worden met digestaat ten opzichte van bodems die bemest worden met drijfmest via zodebemesting.
- De aanwezigheid van pendelaars (rode wormen) blijven beter op peil in vergelijking met drijfmest zodebemesting.
- Digestaat draagt bij aan duurzame energieproductie en minder emissies van methaan en ammoniak. In combinatie met de positieve effecten op de bodemgezondheid ten opzichte van drijfmest middels zodebemesting lijkt digestaat voor de bodem een even goede en op sommige punten betere meststof dan drijfmest.

Uitspoeling nitraat en lagere aanwezigheid plantgroei stimulerende bacteriën

Mest-digestaat is een snelle bron van stikstof, wat betekent dat in percelen die ermee worden bemest veel stikstof beschikbaar is. Dit blijkt ook uit het feit dat we meer nitrificerende organismen aantreffen in deze percelen. Hierdoor is er wel een hoger risico op het uitspoelen van stikstof in vergelijking met andere bemestingsmethoden. Dit kan worden verbeterd door de (kunst)mestgift op digestaatpercelen aan te passen, bijvoorbeeld door minder (kunst)mest toe te dienen tijdens de eerste gift in het voorjaar. Hierdoor worden naar verwachting plantengroei bevorderende bacteriën en schimmels gestimuleerd, wat een positieve impact heeft op zowel de ecologie als de economie (lagere kosten). We bevelen daarom aan om meer onderzoek te doen naar de optimale manier om digestaat als meststof toe te passen. Hierbij kan ook worden gedacht aan het toepassen van mest-digestaat in combinatie met bijvoorbeeld compost om micro-organismen uit de groep Plant Groei Bevorderaars te stimuleren.



Aanbevelingen in het kort:

- **De mogelijkheden voor bovengronds bemesten met drijfmest en mest-digestaat verruimen.**
- **De invloed van de boer op het bodemleven verder ontrafelen om gericht sturen van het bodemleven mogelijk te maken.**
- **De effecten van mest-digestaat op de bodem en het bodemleven, evenals de optimale manier van toediening nader onderzoeken.**
- **De effecten van bemesting op bodemleven koppelen aan emissiemetingen van ammoniak en broeikasgassen om te onderzoeken hoe een gezonde bodem kan bijdragen aan het beperken van emissies.**

Literatuur

Azeem, M., Haider, M. Z., Javed, S., Saleem, M. H., & Alatawi, A. (2022). Drought Stress Amelioration in Maize (*Zea mays* L.) by Inoculation of *Bacillus* spp. Strains under Sterile Soil Conditions. *Agriculture*, 12(1), 50.

Begum, N., Qin, C., Ahanger, M. A., Raza, S., Khan, M. I., Ashraf, M., .. & Zhang, L. (2019). Role of arbuscular mycorrhizal fungi in plant growth regulation: implications in abiotic stress tolerance. *Frontiers in plant science*, 10, 1068.

Gerritsen, J., Hornung, B., Ritari, J., Paulin, L., Rijkers, G. T., Schaap, P. J., ... & Smidt, H. (2019). A comparative and functional genomics analysis of the genus *Romboutsia* provides insight into adaptation to an intestinal lifestyle. *BioRxiv*, 845511.

Leger, R. J., & Wang, J. B. (2020). *Metarhizium*: Jack of all trades, master of many. *Open biology*, 10(12), 200307.

Majeed, A., Muhammad, Z., & Ahmad, H. (2018). Plant growth promoting bacteria: role in soil improvement, abiotic and biotic stress management of crops. *Plant cell reports*, 37(12), 1599-1609.

Numan, M., Bashir, S., Khan, Y., Mumtaz, R., Shinwari, Z. K., Khan, A. L., .. & Ahmed, A. H. (2018). Plant growth promoting bacteria as an alternative strategy for salt tolerance in plants: a review. *Microbiological research*, 209, 21-32.

Ren, A. T., Abbott, L. K., Chen, Y., Xiong, Y. C., & Mickan, B. S. (2020). Nutrient recovery from anaerobic digestion of food waste: impacts of digestate on plant growth and rhizosphere bacterial community composition and potential function in ryegrass. *Biology and Fertility of Soils*, 56, 973-989.

Thambugala, K. M., Daranagama, D. A., Phillips, A. J. L., Kannangara, S. D., & Promptuttha, I. (2020). Fungi vs. Fungi in Biocontrol: An Overview of Fungal Antagonists Applied Against Fungal Plant Pathogens. *Frontiers in cellular and infection microbiology*, 10, 604923. <https://doi.org/10.3389/fcimb.2020.604923>

Shafi, J., Tian, H., & Ji, M. (2017). *Bacillus* species as versatile weapons for plant pathogens: a review. *Biotechnology & Biotechnological Equipment*, 31(3), 446-459.

Siemering, M. Ruark, A. Geven. *The Value of Trichoderma for Crop Production* University of Wisconsin--Extension, Cooperative Extension (2016)

Volkogon, V., Dimova, S., Volkogon, K., Sidorenko, V., & Volkogon, M. (2021). Biological Nitrogen Fixation And Denitrification In Rhizosphere Of Potato Plants In Response To The Fertilization And Inoculation. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 5, 154.