



Kringloop organische stof én bodemweerbaarheid bevorderen

Joeke Postma, Stefan Jansen, Milan Franssen, Mirjam Schilder, Johnny Visser, Jaap Bloem en Gerard Korthals



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

Kringloop organische stof én bodemweerbaarheid bevorderen

Joeke Postma¹, Stefan Jansen², Milan Franssen³, Mirjam Schilder¹, Johnny Visser⁴, Jaap Bloem⁵ en Gerard Korthals¹

1 Wageningen University & Research | Biointeracties en Plantgezondheid

2 Deltares

3 Delphy

4 Wageningen University & Research | Open Teelten

5 Wageningen University & Research | Dierecology

Dit onderzoek is in opdracht van Topsector Agri & Food uitgevoerd in het kader het PPS-project "Kringloop organische stof én bodemweerbaarheid bevorderen" (LWV19166) en aangevuld met resultaten vanuit het KB-34 programma "Circular and climate neutral society" (KB-34-008-001).

WR is een onderdeel van Wageningen University & Research, samenwerkingsverband tussen Wageningen University en de Stichting Wageningen Research.

Wageningen, november 2022

Rapport WPR-1183

Joeke Postma, Stefan Jansen, Milan Franssen, Mirjam Schilder, Johnny Visser, Jaap Bloem en Gerard Korthals, 2022. *Kringloop organische stof én bodemweerbaarheid bevorderen*. Wageningen Research, Rapport WPR-1183. 68 blz.; 30 fig.; 9 tab.; 38 ref.

Dit rapport is gratis te downloaden op <https://doi.org/10.18174/579469>

Van uiteenlopende typen organische producten is getest of ze ziektevering in de bodem kunnen verhogen. De producten verschilden in samenstelling, gehalte organische stof, afbreeksnelheid (gemeten met Oxitop) en typen organische stoffracties (gemeten met Rock-Eval pyrolyse). Ziektevering werd bepaald in potproeven met vijf verschillende bodempathogenen, namelijk *Pythium ultimum*, *Rhizoctonia solani* AG2-2IIIB, *Streptomyces scabies*, *Meloidogyne hapla* en *Pratylenchus penetrans*. Daarnaast zijn potentieel mineraliseerbare stikstof (PMN) en heet water extraheerbare koolstof (HWC) in de bodem bepaald als maat voor gemakkelijk afbreekbare (labiele) N en C.

Trefwoorden: organische reststromen, ziektevering, bodembioogie, effectieve organische stof, Oxitop, Rock-Eval pyrolyse

© 2022 Wageningen, Stichting Wageningen Research, Wageningen Plant Research, Business unit Biointeracties en Plantgezondheid, Postbus 16, 6700 AA Wageningen; T 0317 48 07 00; www.wur.nl/plant-research

KvK: 09098104 te Arnhem
VAT NL no. 8113.83.696.B07

Stichting Wageningen Research. Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enige andere manier zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Stichting Wageningen Research.

Stichting Wageningen Research is niet aansprakelijk voor eventuele schadelijke gevolgen die kunnen ontstaan bij gebruik van gegevens uit deze uitgave.

Rapport WPR-1183

Foto omslag: Suikerbieten in veldproef te Vredepeel met 10 verschillende organische toevoegingen

Deelnemende en financierende partijen:



Inhoud

Samenvatting	5
1 Inleiding	7
1.1 Aanleiding	7
1.2 Probleemstelling	8
1.3 Doelstelling	8
1.4 Achtergrondkennis over de rol van organische stof bij ziektevering	8
1.5 Aanpak en leeswijzer	9
2 Karakterisering organische producten	10
2.1 Organische producten en hun herkomst	10
2.2 Klassieke analyses	13
2.2.1 Methode	13
2.2.2 Resultaten	13
2.3 Rock-Eval pyrolyse	16
2.3.1 Methode	16
2.3.2 Resultaten	17
2.4 Interpretatie van de gemeten eigenschappen van de organische producten	25
3 Effect van organische producten na toediening aan de bodem	30
3.1 Proefopzet	30
3.2 Bodemindicatoren HWC en PMN	33
3.2.1 Methode	33
3.2.2 Resultaten	33
3.3 Ziektevering <i>Pythium ultimum</i>	36
3.3.1 Methode	36
3.3.2 Resultaten	36
3.4 Ziektevering <i>Rhizoctonia solani</i>	38
3.4.1 Methode	38
3.4.2 Resultaten	38
3.5 Ziektevering <i>Streptomyces scabies</i>	40
3.5.1 Methode	40
3.5.2 Resultaten	40
3.6 Ziektevering <i>Meloidogyne hapla</i>	42
3.6.1 Methode	42
3.6.2 Resultaten	42
3.7 Ziektevering <i>Pratylenchus penetrans</i>	44
3.7.1 Methode	44
3.7.2 Resultaten	44
3.8 Samenvatting en correlaties tussen ziektevering en bodemparameters	46
3.8.1 Overzicht bodemanalyses en ziektevering na toevoeging van de producten aan de bodem	46
3.8.2 Correlaties tussen bodemparameters en ziektevering	48
4 Discussie en synthese	50
4.1 Discussie ziektevering en achterliggende mechanismen	50
4.2 Relevante producteigenschappen voor ziektevering	52
4.3 Conclusies	53
Literatuur	56

Bijlage 1	Eigenschappen organische producten – zware metalen	59
Bijlage 2	Rock-Eval methode	60
Bijlage 3	Rock-Eval pyrogrammen	63
Bijlage 4	Correlatie eigenschappen organische producten met PCA	65
Bijlage 5	Correlatie tussen ziektevering en bodemeigenschappen per organisch product met RDA	66

Samenvatting

Hergebruik van veilige organische producten in de landbouw is een belangrijke voorwaarde voor het realiseren van kringlooplandbouw. Organische toevoegingen dragen bij aan bodemvruchtbaarheid, bodemstructuur, watervasthoudend vermogen, maar voeden en stimuleren ook het bodemleven waardoor schade door ziekteverwekkers onderdrukt kan worden. Over stimulering van ziektevering en welke organische producten hieraan kunnen bijdragen is nog weinig bekend.

De belangrijkste onderzoeksvragen in dit onderzoeksproject waren:

- Welke organische producten kunnen ziektevering verhogen? En is dit specifiek per pathogeen?
- Welke eigenschappen van organische producten zijn relevant voor ziektevering?

Dit rapport beschrijft een brede screening van uiteenlopende typen organische materialen die getoetst zijn op hun vermogen om ziektevering van de bodem te stimuleren. Hiervoor zijn 25 organische producten van diverse herkomst geselecteerd. Samenstelling, stabiliteit en organische stof karakteristieken werden bepaald, gebruikmakend van de Oxitop en Rock-Eval pyrolyse methode. Producten werden vervolgens door een zandgrond gemengd (Vredepeel, 4% OS); grond zonder toevoeging en grond met kunstmest N dienden als controles. Potentieel mineraliseerbare stikstof (PMN) en heet water extraheerbare koolstof (HWC) werden bepaald als maat voor gemakkelijk afbreekbare (labiele) N en C in de bodem. Ziektevering werd bepaald in potproeven tegen vijf aan de bodem toegevoegde pathogenen: (1) wegval tuinkers door *Pythium ultimum*, (2) ziekteverspreiding in suikerbiet door *Rhizoctonia solani* AG2-2IIB, (3) schurft in radijs door *Streptomyces scabies*, (4) wortelknobbels in sla door *Meloidogyne hapla*, en (5) groeireductie in sla door *Pratylenchus penetrans*.

Ziektevering was pathogeen-specifiek; effecten van de producten verschilden per biotoets:

- Pythium-biotoets: haarmeel, zaadmeel, digestaat plantaardig, chitine, champignon voetjes, cellulose+N en pleurotis+substraat+N reduceerden de aantasting t.o.v. de bemeste controle, terwijl diverse andere producten niet significant verschilden met de bemeste controle maar wel met de onbemeste controle. De ziektevering correleerde met de PMN in de bodem die als indicator voor microbiële biomassa wordt beschouwd.
- Rhizoctonia-biotoets: haarmeel, verenmeel, cellulose+N en pleurotis+substraat reduceerden de aantasting t.o.v. de bemeste controle.
- Streptomyces-biotoets: groencompost, cellulose en biochar verlaagden de schurft-aantasting t.o.v. de bemeste controle.
- Meloidogyne-biotoets: haarmeel, Tradiphos en cellulose+N reduceerden het aantal wortelknobbels dan de onbemeste controle.
- Pratylenchus-biotoets: haarmeel, runderbeendermeel, groencompost, zaadmeel, biochar, digestaat plantaardig, Tradiphos, cellulose en cellulose+N gaven minder groeireductie door *Pratylenchus* dan de onbemeste controle.

Producteigenschappen die correleerden met ziektevering in één of meer biotoetsen waren de aan stikstof gerelateerde parameters zoals N-gehalte en een lagere C/N ratio. Voor de biotoets met *Streptomyces gold* juist dat een hogere C/N ratio correleerde met ziektevering. Ook het fosfaat- en zwavelgehalte in de producten correleerde soms met ziektevering. Anders dan verwacht correleerde respiratiesnelheid niet met ziektevering. Per biotoets leken verschillende organische stoffracties gemeten met Rock-Eval pyrolyse relevant te zijn voor ziektevering. Een complicatie bij het bepalen van correlaties tussen producteigenschappen en ziektevering van de bodem is dat niet alle producten in dezelfde concentratie aan de bodem konden worden toegepast omdat ze teveel verschilden in hun eigenschappen, en dat effecten veelal dosis afhankelijk zijn.

Samenvattend kan gesteld worden dat diverse van de getoetste organische producten de ziektevering van de bodem stimuleerden in de uitgevoerde potproeven tegen één of meer van de onderzochte pathogenen.

Dit type onderzoek zegt vooral iets over de korte termijn effecten van organische producten op de ziektevering van de bodem. De effecten waren pathogeen-specifiek, zodat er niet één enkele producteigenschap kan worden aangewezen die voor de ziektevering in alle systemen zorgt. Vooral C/N ratio, stikstof-, fosfaat- en zwavelgehalte waren voor ziektevering relevante producteigenschappen. Daarnaast gaf de nieuw toegepaste Rock-Eval pyrolyse techniek aanwijzingen dat de te onderscheiden organische stoffracties in de producten meer inzicht kunnen geven in ziektevering van enkele van de getoetste pathogenen. Als bodemparameter is de potentieel mineraliseerbare stikstof (PMN) vooralsnog het meest indicatief voor ziektevering. Voor meer inzicht in korte en lange termijn effecten van organische producten op ziektevering is vervolgonderzoek onder veldomstandigheden nodig.

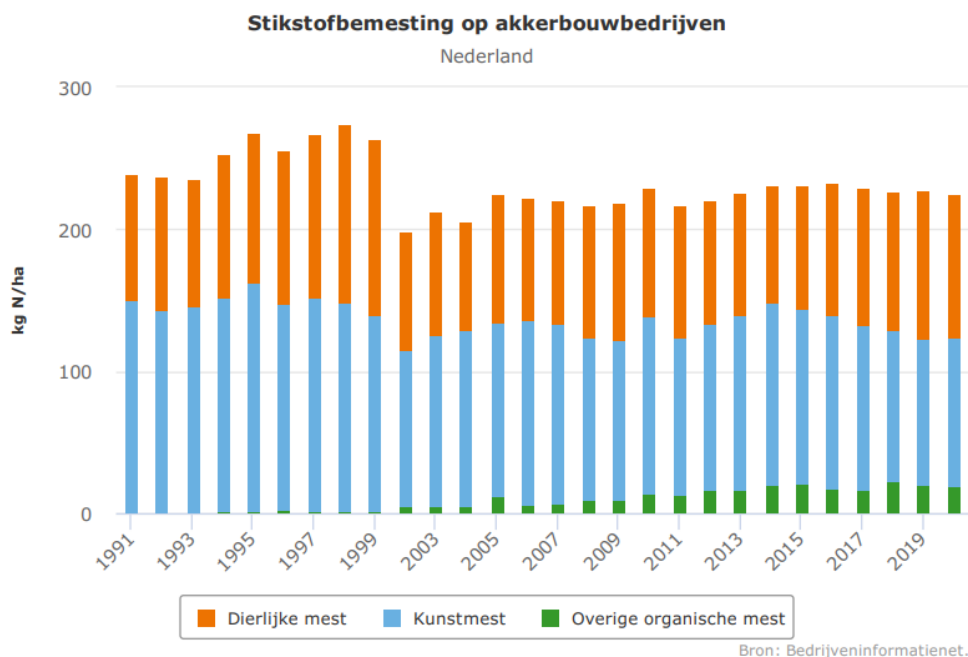
Dit onderzoek is uitgevoerd als onderdeel van de PPS 'Kringloop organische stof én bodemweerbaarheid bevorderen' (LWV19166) en aangevuld met resultaten vanuit het KB-34 programma "Circular and climate neutral society" (KB-34-008-001), met financiering van Topsector Agri & Food, Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, Brancheorganisatie Akkerbouw, Darling Ingredients International Rendering and Specialities B.V., AquaMinerals B.V., Vereniging Afvalbedrijven (VA), Branche Vereniging Organische Reststoffen, PH Petersen Saatzucht Lundsgaard GmbH, GMB BioEnergie B.V., Delphy B.V., en Cirkellab.

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Circulariteit en hergebruik van materialen wordt steeds belangrijker naarmate de wereldbevolking verder groeit, onder andere om te voorkomen dat grondstoffen uitgeput raken, maar ook om te zorgen dat de wereld leefbaar blijft. Ook in de Landbouwvisie van het Ministerie van Landbouw Natuur en Voedselkwaliteit (LNV, 2018) wordt het belang van kringlopen heel nadrukkelijk benoemd. Dit heeft zich vertaald in de door de topsectoren geformuleerde missie voor nieuw onderzoek: "In 2030 is in de land- en tuinbouw het gebruik van grondstoffen en hulpstoffen substantieel verminderd en worden alle eind- en restproducten zo hoog mogelijk verwaard" (PPS-call tekst 2019). Hergebruik van veilige organische producten in de landbouw is dan ook een belangrijke voorwaarde voor het realiseren van kringlooplandbouw. In de landbouwpraktijk is het benutten van organische reststromen een opkomende trend. De cijfers t.a.v. stikstofbemesting laten zien dat naast het gebruik van dierlijke mest, ook de toepassing van 'overige organische mest' toeneemt ten koste van het kunstmestgebruik (Fig. 1.1); 10% van de stikstof (N) bemesting in akkerbouw is in 2020 afkomstig van 'overige organische mest'.

Ook het gebruik en de beschikbaarheid van gewasbeschermingsmiddelen moeten de komende jaren verder afnemen (strengere eisen en minder toegelaten middelen), zodat andere maatregelen en meer robuuste teeltsystemen ontwikkeld moeten worden om schade door bodempathogenen te voorkomen. Om dit te bereiken is een gerichte inzet van organische stof één van de opties ter verbetering van de bodemkwaliteit. Organische stof is de motor van het bodemleven, en kan hierdoor een weerbaardere bodem creëren. Hiermee stimuleert het gebruik van organische producten, inclusief geschikte reststromen, de teelt van gezonde gewassen en draagt het bij aan de onderdrukking van schade door ziekteverwekkers. Het in dit rapport beschreven onderzoek richt zich met name op het effect dat verschillende organische reststromen op de ziekteverwerendheid van bodempathogenen kan hebben.



Figuur 1.1 Gebruikte stikstofbemesting in de akkerbouw ingedeeld dierlijke mest, kunstmest en overige organische mest. Bron: Agrimatie

<https://www.agrimatie.nl/ThemaResultaat.aspx?subpubID=2232&themaID=2282&indicatorID=2772>

1.2 Probleemstelling

Organische stof in de bodem is in hoge mate bepalend voor de bodemkwaliteit. Het toevoegen van organische materialen in de akkerbouw heeft dan ook positieve effecten op bodemstructuur, watervasthoudend vermogen, bodemvruchtbaarheid en bodembiologie (Abbott et al., 2018). Vooral dierlijke mest en compost hebben een lange traditie als organische toevoegingen, maar er is een toenemend aantal andere producten dat voor specifieke doelen gebruikt kan worden (Urrea et al., 2019). In de literatuurstudie van Termorshuizen & Postma (2021) worden 15 groepen van organische reststoffen besproken t.a.v. hun positieve eigenschappen voor de bodem en mogelijke risico's. De meeste producten hebben als hoofddoel het verhogen van het organische stofgehalte in de bodem of het verbeteren van de bodemvruchtbaarheid. Slechts twee van de 15 besproken producten kunnen specifiek worden ingezet tegen bodempathogenen (Termorshuizen & Postma, 2021). Organische stof stimuleert echter ook het bodemleven en kan de ziekteverende eigenschappen van de bodem positief beïnvloeden. Maar stimulering van het bodemleven betekent niet automatisch dat de ziektevering gestimuleerd wordt. Voor ziektevering zijn vele factoren relevant: 1) type en dosis organische stof, 2) timing en manier van inwerken, 3) pathogeen-gewas combinatie en 4) teeltsysteem, bodemtype en weersomstandigheden. Hoewel er interessante effecten van organische producten tegen bepaalde bodempathogenen zijn gevonden, is de variatie nog te groot voor een betrouwbare toepassing. Voor een gerichte stimulering van ziekteverendheid met organische stof ontbreekt nog veel kennis.

1.3 Doelstelling

Dit project heeft als doel om het vermogen van organische reststromen om ziektevering van de bodem te stimuleren verder te verkennen. Hierbij zijn we op zoek naar de eigenschappen van de organische materialen die leiden tot ziektevering, om zodoende meer inzicht te krijgen in welke typen producten tot verhoogde ziektevering kunnen leiden.

Dit vertaalt zich in de volgende onderzoeksvragen:

- Welke organische producten kunnen ziektevering verhogen? En is dit specifiek per pathogeen?
- Welke eigenschappen van organische producten zijn relevant voor ziektevering?

1.4 Achtergrondkennis over de rol van organische stof bij ziektevering

Het meeste onderzoek naar de stimulering van ziektevering van de bodem door organische stof tot nu toe is uitgevoerd met compost. Maar ook diverse andere organische materialen kunnen ziektevering tegen plant-pathogenen beïnvloeden. Zo is in de PPS 'Sturen op bodemweerbaarheid door toediening van organische materialen' (TKI-AF-15261) aangetoond dat keratine en chitine bevattende producten bodemgebonden plant-pathogenen kunnen onderdrukken (Postma et al., 2020; Andreo-Jimenez et al., 2021). Dit is in lijn met resultaten uit de lange termijn proef te Vredepeel waar het effect van chitine op plant-pathogene nematoden en de schimmel *Verticillium dahliae* is aangetoond (Korthals et al., 2014). Ook cellulose-rijke producten kunnen soms ziektevering stimuleren (Clocchiatti et al., 2021). In een uitgebreid literatuuroverzicht tonen Bonanomi et al. (2010) aan dat ziektevering verschilt per pathogeen en type organische stof dat wordt toegediend, maar ook dat er daarbinnen nog veel variatie is.

De aan organische producten toegeschreven effecten zijn soms te positief. Termorshuizen & Postma (2021) waarschuwen voor het gebruik van onrealistisch hoge doseringen van organische producten. In de literatuur worden effecten van organische materialen vaak onderzocht bij niveaus die te hoog zijn voor een praktijktoepassing, bijvoorbeeld omdat dergelijke hoge toepassingen niet zijn toegestaan of omdat de toepassing dan veel te kostbaar is. Ook worden de effecten veelal gevonden bij toepassing in potgrond of gesteriliseerde veldgrond. Resultaten van zulke experimenten zeggen weinig tot niets over de effectiviteit onder veldomstandigheden, omdat substraat, potgrond en gesteriliseerde grond praktisch geen ziekteverende eigenschappen hebben. Vergelijken daarmee hebben veldgronden al een behoorlijk niveau

aan ziekteverende eigenschappen, zodat het moeilijker is de ziektevering verder te verhogen (Termorshuizen & Postma, 2021).

Verschillende mechanismen kunnen ten grondslag liggen aan het ziekteverend vermogen van een bodem. Er wordt onderscheid gemaakt tussen algemene en specifieke biotische ziektevering, en ziektevering door abiotische factoren (Termorshuizen et al. 2020). Of een bodem ziekteverend is verschilt bovendien per pathogeen. Om het effect van organische materialen op ziektevering van de bodem te bepalen, volstaat dus niet één enkele meting; 'de' ziektevering bestaat niet. Daarnaast is er een risico dat pathogenen die zich op organische stof kunnen vermeerderen (saprotroof vermogen), en dan juist meer aantasting geven direct na toevoeging van organische stof (Termorshuizen et al. 2020). In dit onderzoek hebben we daarom vijf bodemgebonden plant-pathogenen geselecteerd waarvan verwacht wordt dat ze via verschillende mechanismen reageren op toediening van organische materialen. (1) Algemene ziektevering, gebaseerd op de activiteit van een groot aantal verschillende micro-organismen die met de ziekteverwekker concurreren om ruimte en voedingsstoffen (Weller et al., 2002), speelt een sterke rol bij kiemplantenziekte veroorzaakt door *Pythium ultimum* (Bongiorno et al., 2019). (2) *Rhizoctonia solani* lijkt vooral gevoelig voor specifieke ziektevering, die wordt veroorzaakt door de aanwezigheid van bepaalde micro-organismen die een antagonistische werking hebben tegen *R. solani* (Andreo-Jimenez et al., 2021). (3) *Streptomyces scabies* wordt door zowel abiotische factoren zoals vocht en pH, als door microbiële concurrentie beïnvloed. (4) De nematode *Meloidogyne hapla* wordt vermoedelijk tot op zekere hoogte geremd door specifieke micro-organismen (Termorshuizen et al. 2020). (5) Voor *Pratylenchus penetrans* is recent een toetsysteem ontwikkeld. Voor deze plant-parasitaire nematode zijn er aanwijzingen dat het door organische stof beïnvloed wordt, zonder dat duidelijk is welk mechanisme hierbij een rol speelt.

Om meer grip op te krijgen op het stimuleren van ziektevering met organische stof is gekozen voor een brede screening van uiteenlopende typen organische producten die in allerlei eigenschappen verschillen, waarbij het effect op ziektevering voor de vijf bovengenoemde pathogenen in biotoetsen is bepaald. De experimenten werden onder geconditioneerde omstandigheden uitgevoerd, waarbij de producten in realistische doseringen aan een akkerbouwgrond zijn toegevoegd.

1.5 Aanpak en leeswijzer

Dit onderzoek bouwt voort op de kennis en expertise uit de PPS 'Sturen op bodemweerbaarheid door toediening van organische materialen'. Het onderzoek richt zich op het identificeren van nieuwe geschikte organische (rest)stromen, waarbij we door de variatie in eigenschappen van de producten meer te weten willen komen over de karakteristieken van de organische producten die voor ziektevering zorgen. Er is gekozen voor een brede screening, waarbij een scala aan uiteenlopende typen organische producten zijn gekarakteriseerd, waarna hun vermogen om de ziektevering van de bodem te verhogen is getest.

In Hoofdstuk 2 wordt de karakterisering van 25 organische producten beschreven. Hiervoor zijn klassieke analyses voor compost-karakterisering gebruikt, inclusief respiratiemetingen met Oxitop. Daarnaast is de Rock-Eval pyrolyse techniek toegepast om de organische stoffracties te karakteriseren. Dit is een methode die sinds enkele jaren getest wordt voor het karakteriseren van producten en van organische stof in de bodem.

In Hoofdstuk 3 wordt het effect van de producten nadat ze aan grond zijn toegevoegd beschreven. Focus ligt hierbij op ziektevering van bodempathogenen getest in vijf verschillende gewas-pathogeen combinaties. Daarnaast zijn potentieel mineraliseerbare N (PMN) en heet water extraheerbare koolstof (HWC) van de grond met toevoegingen als maat voor gemakkelijk afbreekbare (labiele) N en C bepaald. PMN correleert vaak met de microbiële biomassa in de bodem. HWC in de bodem bestaat voor een groot deel uit polysacchariden (slijm) van microbiële oorsprong, dat een rol speelt bij de vorming van bodemstructuur (aggregaten). Beide worden gezien als vroege indicator voor veranderingen in bodemkwaliteit omdat ze sneller veranderen dan de totale hoeveelheid organische stof in de bodem.

Hoofdstuk 4 combineert de gegevens van hoofdstuk 2 en 3 op zoek naar eigenschappen van organische producten die indicatief zijn voor ziektevering.

2 Karakterisering organische producten

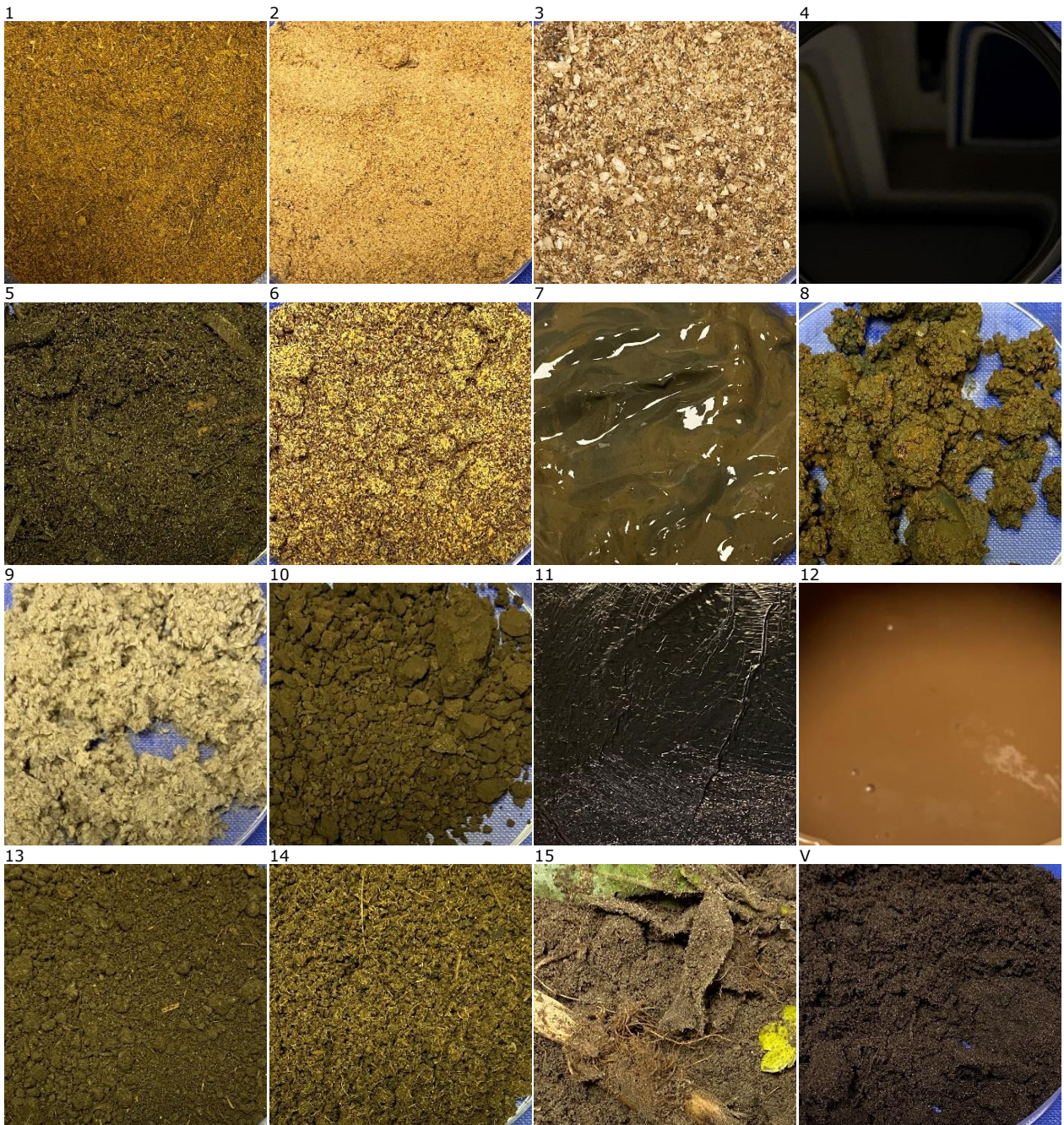
2.1 Organische producten en hun herkomst

In totaal zijn 25 organische producten met heel verschillende eigenschappen en van uiteenlopende herkomst getoetst. In Tabel 2.1.1 staan alle gebruikte producten met een korte beschrijving en hun herkomst. Foto's van de meeste producten zijn weergegeven in Fig. 2.1.1. De producten, veelal reststromen, zijn aangeleverd door de partners uit het project LWV19166 en in 2020 en 2021 getoetst (nr. 1 t/m 16 in Tabel 2.1.1). Een aantal extra producten zijn binnen het KB project KB-34-008-001 getoetst (nr. 17 t/m 25 in Tabel 2.1.1; aangeduid met 2021KB) en ook in dit rapport opgenomen. Van een aantal producten zijn verschillende batches geanalyseerd. Grond van de proeflocatie Vredepeel (V) is gebruikt om alle organische producten mee te mengen voor de bepaling van het effect op ziektevering (experimenten in Hoofdstuk 3). Alleen de grond zonder toevoegingen is gekarakteriseerd.

Veel nieuwe reststromen zijn afkomstig uit de voedingsmiddelenindustrie, variërend van de vleessector (veren, haren, beenderen), suikerverwerking, koffiebrandereien, visverwerking, paddenstoelen- en insectenkweek. Ook drinkwater- en waterzuivering hebben reststromen met hoge organische stoffracties. Groencompost, geproduceerd van verschillende plantaardige reststromen, wordt tot nu toe het meest algemeen gebruikt in de landbouw als organische meststof of bodemverbeteraar. Behalve in herkomst, verschillen al deze producten in nutriëntensamenstelling en in de type en kwaliteit van de organische stof. De karakterisering van deze producten is via een set aan methoden in de compostanalyse van Eurofins Agro (paragraaf 2.2) en de Rock-Eval pyrolyse door Deltares (paragraaf 2.3) uitgevoerd.

Tabel 2.1.1 Geanalyseerde organische producten en de controle grond met hun herkomst in drie onafhankelijke experimenten (2020, 2021 en 2021KB).

Nr	Product	Batch	Beschrijving	Herkomst	Leverancier
1	Haar-meel	2020, 2021, 2021KB	Voedingsmiddelenindustrie - keratine – verhit (150 °C)	dier	Darling Ingredients
2	Veren-meel	2020, 2021KB	Voedingsmiddelenindustrie - keratine – verhit (150 °C) (Kerapro)	dier	Darling Ingredients
3	Runderbeender-meel	2020	Voedingsmiddelenindustrie – verhit (Ruminant PAP)	dier	Darling Ingredients
4	Humuszuur	2020	Waterzuivering van varkensmest	dier-mest	Darling Ingredients
5	Groencompost	2020, 2021	Plantaardig – gecompoteerd	plant	BVOR
6	Zaad-meel	2020, 2021	Ontvet Brassica zaad - geperst (TERRAFIT-BIOFUM®)	plant-zaad	P.H. Petersen Saatsucht Lundsgaard
7	Coagulatieslib-B	2020	Drinkwaterzuivering (Bergambacht)	rivierwater	Aquaminerals
8	Coagulatieslib-N	2020	Drinkwaterzuivering (Nieuwegein)	rivierwater	Aquaminerals
9	Cellulose	2020	Waterzuivering – gedroogd (Recell®)	riool	Aquaminerals
10	Biochar	2020	Zeefgoed uit waterzuivering – hydrothermal liquefaction (300 °C)	riool	Aquaminerals
11	Humuszuur (HumVi)	2021	Drinkwaterzuivering	grondwater	Aquaminerals
12	Kaamera	2021	Waterzuivering– alginaat - bewerkt	riool	Aquaminerals / Kaamera Market Hub
13	Tradiphos®	2020, 2021	Zuiveringsslib – gecompoteerd (70 °C)	riool	GMB BioEnergie BV
14	Digestaat plantaardig	2020, 2021	Reststroom suikerwinning – vergist	plant	Cosun Beet Company
15	Schone bagger	2020	Slootbagger in depot: plantaardig + slib	plant + grond	Cirkellab
16	Koffie PR pellets	2021	Reststroom koffie - verhit	plant	Cirkellab
17	Chitine-garnaal	2021KB	Garnalenpellen - gedroogd en gemalen (Sol-actif®)	dier	France Chitine
18	Champignon	2021KB	Champignons - gedroogd en gemalen	schimmel	J. Baars
19	Champignon voetjes	2021KB	Uitgeperste champignonvoetjes, met aanhangend substraat	schimmel	Scelta Mushrooms
20	Pleurotis + substraat	2021KB	Substraat doorgroeit met oesterzwam	schimmel	Scelta Mushrooms
21	Insect exuvia	2021KB	BSF insectenweek, vervellingshuidjes, gedroogd (16 uur 60 °C), gemalen	dier	Bestico
22	Insect frass	2021KB	BSF insectenweek, poep en restvoer, gedroogd (16 uur 60 °C), gemalen	dier	Bestico
23	Koemest + houtsnippers	2021KB		dier	Via H. de Boer
24	Koemest (vers)	2021KB		dier	Via H. de Boer
25	Kippenmest (vers)	2021KB	Biologisch bedrijf te Overberg	dier	via L. Polei
V	Vredepeel grond	2020, 2021	Grond van akkerbouwperceel	grond	Proefboerderij Vredepeel



Figuur 2.1.1 Foto's van verschillende producten; productnummers staan boven de foto's (zie Tabel 2.1.1 voor meer informatie over de producten). Nr. 11 is gedroogde humuszuur i.p.v. het vloeibare product.

2.2 Klassieke analyses

Eigenschappen van de 25 organische producten zijn in drie onafhankelijke experimenten bepaald. Alle organische producten van het experiment in 2020, de nieuwe batches in 2021 en de producten van het KB project in 2021 zijn met behulp van de compostanalyse van Eurofins Agro geanalyseerd.

Coagulatieslib-B en -N zijn na 2020 niet verder onderzocht omdat het OS gehalte laag was, terwijl er anderzijds veel metalen aanwezig waren. Ook schone bagger is na 2020 niet verder getest omdat het OS gehalte erg laag was. Hiervoor zijn alternatieve producten toegevoegd.

2.2.1 Methode

De eigenschappen van de producten zijn bepaald volgens standaardprocedures van de "compostanalyses" door Eurofins Agro. Van alle producten zijn de nutriënten samenstelling, pH, EC en (zware) metalen bepaald. Organische stof (OS) gehalte is bepaald middels gloeiverlies bij 550 °C. De respiratie is gemeten met de Oxitop-methode (Grigatti et al., 2007), waarbij 10 gram vers gezeefd materiaal werd ingezet voor deze bepaling. Aan alle producten is 1 g Vredepeelgrond toegevoegd als microbiële ent, zodat alle producten dezelfde micro-organismen kregen die nodig zijn om de respiratie op gang te helpen. De meting is in duplo uitgevoerd. Dit is ook dezelfde grond die gebruikt is voor de experimenten in Hoofdstuk 3. De Oxitop methode wordt door Eurofins Agro niet uitgevoerd met vloeistoffen. Om toch een idee te krijgen van de respiratie-snelheid van de vloeistof Humuszuur (Humvi) in 2021, is dit product volledig ingedroogd voor de Oxitop meting.

EOS berekening

Effectieve organische stof (EOS) is gedefinieerd als de hoeveelheid organische stof die één jaar na toediening nog over is in de bodem en dan deel uitmaakt van de bodem-organische stof. Voor het schatten van de EOS waarden van de gebruikte producten, is de korte-termijn respiratie gemeten met Oxitop geëxtrapolerd naar het effect in één jaar. De respiratiesnelheid is gebruikt voor een berekening van de humificatiecoëfficiënt (HC) volgens rekenregels die zijn afgeleid door Moolenaar et al. (2002). De HC die staat voor de fractie of het percentage van de organische stof die een jaar na toediening nog over is. De EOS wordt berekend uit een vermenigvuldiging van HC met de hoeveelheid organische stof (OS) in het product. Zie onderstaande formules:

$$\text{Effectieve organische stof (EOS): } \text{EOS} = \text{OS} * hc \quad (1)$$

Waarin: OS = organische stof (g/kg DS) en hc = humificatiecoëfficiënt (fractie van organische stof die 12 maanden na toediening resteert in de bodem; kg OS per kg OS)

$$\text{De humificatiecoëfficiënt (hc) wordt als volgt berekend: } hc = e^{4,7((a+1)^{-0,6} - a^{-0,6})} \quad (2)$$

$$\text{Waarin } a \text{ de a-waarde is, gegeven door: } a = 11,34 * (\text{resp. snelh.})^{-0,7272} \quad (3)$$

2.2.2 Resultaten

Hoe sterk alle producten van elkaar verschillen t.a.v. hun samenstelling is te zien in Tabel 2.2.1 en 2.2.2. Enkele voorbeelden om dit te illustreren zijn: organische stof varieert van 6 tot 98%, N-totaal 2,5 tot 148 g/kg, C/N ratio 3,3 tot 45,2 (Tabel 2.2.1), pH 2,4 tot 9,8 (Tabel 2.2.2). Producten verschillen ook sterk in hun nutriëntensamenstelling, zoals hoge fosfaatgehalten in runderbeendermeel, Tradiphos, Kaumera en kippenmest (Tabel 2.2.2). Producten met hoge kaliumgehalten zijn humuszuur, champignon, gevolgd door de kippenmest, insectenproducten, koeienmest, pleurotis + substraat en koffie PR pellets (Tabel 2.2.2).

Respiratiesnelheid gemeten met Oxitop varieert van 2,0 (zaadmeel) tot 68,4 (pleurotis + substraat) mmol O₂/kg OS/uur, met 141,3 voor champignon-voetjes als extreme uitschieter (Tabel 2.2.1). Dit is een belangrijke parameter die indicatief is voor de afbraaksnelheid van de OS en tevens gebruikt kan worden om de EOS te schatten. Deze parameter wordt in paragraaf 2.4 verder besproken en vergeleken met andere gemeten waarden.

Concentraties zware metalen van de producten zijn opgenomen in Bijlage 1. Voor het doel van dit onderzoek, effect van de producten op ziektevermindering, zijn deze data minder relevant. Deze informatie kan wel belangrijk zijn voor toelating van organische producten, omdat de Nederlandse meststoffenwet aangeeft wat de maximale concentratie zware metalen is per productcategorie (zie ook nieuwe verordening bemestingsproducten EU 2019/1009 per 16-7-2022).

Van sommige organische producten missen een aantal metingen. Zoals in paragraaf 2.2.1 bij de methode beschreven staat, wordt de respiratiesnelheid van vloeistoffen of te natte producten niet door Eurofins Agro met de Oxitop-methode bepaald. Daarnaast missen soms andere waarden (EC, zware metalen) om andere praktische redenen.

Tabel 2.2.1 Eigenschappen organische producten (per kg DS) (Eurofins compost-analyse).

Nr	Product	Droge stof (g/kg)	OS (%)	N-tot (g/kg)	C/N berekend	Resp.snelh. (mmol O ₂ /kg OS/uur)	a-waarde ¹⁾	hc ¹⁾ (kg/kg)	EOS ¹⁾ (g/kg)
1	Haar-meel 2020	974	98.2	146.6	3.3	30.5	0.9	0.18	178
1	Haar-meel 2021	970	98.4	146.7	3.4	18.3	1.4	0.34	331
1	Haar-meel 2021KB	937	97.8	148.1	3.3	47.0	0.7	0.09	85
2	Veren-meel 2020	942	98.2	148.2	3.3	33.9	0.9	0.15	151
2	Veren-meel 2021KB	941	97.4	144.2	3.4	58.2	0.6	0.06	54
3	Runderbeender-meel	927	53.0	68.5	3.9	44.7	0.7	0.10	51
4	Humuszuur	111	74.4	104.4	3.6	*	*	*	*
5	Groencompost 2020	676	25.3	10.1	12.5	3.0	5.1	0.84	211
5	Groencompost 2021	557	27.1	7.2	18.8	5.6	3.2	0.71	192
6	Zaad-meel 2020	886	93.9	49.0	9.6	2.0	6.9	0.89	836
6	Zaad-meel 2021	894	94.4	50.2	9.4	6.4	2.9	0.67	635
7	Coagulatieslib-B	147	27.0	17.0	7.9	6.6	2.9	0.66	179
8	Coagulatieslib-N	409	13.7	6.3	10.9	4.4	3.9	0.76	105
9	Cellulose	873	90.7	16.5	27.5	43.5	0.7	0.10	91
10	Biochar	975	80.5	23.5	17.1	20.4	1.3	0.30	242
11	Humuszuur (HumVi)	923	45.0	16.0	14.1	3.2	4.9	0.82	371
12	Kaamera (alginaat)	82	86.9	86.3	5.0	*	*	*	*
13	Tradiphos® 2020	601	56.8	43.1	6.6	7.5	2.6	0.63	357
13	Tradiphos® 2021	626	55.7	44.5	6.3	8.6	2.4	0.59	327
14	Digestaat plantaardig 2020	372	37.7	15.9	11.9	22.7	1.2	0.27	100
14	Digestaat plantaardig 2021	301	39.7	20.6	9.6	6.8	2.8	0.66	260
15	Schone bagger	838	6.1	2.5	12.2	4.0	4.1	0.78	48
16	Koffie PR pellets	899	92.9	26.7	17.4	26.9	1.0	0.22	200
17	Chitine-garnaal	881	86.3	63.7	6.8	9.1	2.3	0.57	491
18	Champignon	752	89.2	50.6	8.8	10.1	2.1	0.54	478
19	Champignon voetjes	221	89.8	51.8	8.7	141.3	0.3	0.00	4
20	Pleurotis + substraat	479	79.6	8.8	45.2	68.4	0.5	0.04	30
21	Insect exuviae	906	90.5	42.4	10.7	59.1	0.6	0.05	49
22	Insect frass	871	92.0	30.8	14.9	53.1	0.6	0.07	62
23	Koemest + houtsnippers	353	72.2	32.7	11.0	4.6	3.7	0.75	544
24	Koemest (vers)	82	85.5	25.3	16.9	*	*	*	*
25	Kippenmest (vers)	378	63.2	24.0	13.2	39.1	0.8	0.12	77
V	Vredepeel grond 2020	*	4.2	0.93	20.0	*	*	*	*
V	Vredepeel grond 2021	*	4.0	1.48	13.5	*	*	*	*

1) Berekend uit OS en respiratiesnelheid.

*) niet gemeten.

Tabel 2.2.2 Eigenschappen (fosfaat, kalium, zwavel, magnesium, pH in KCl, koolzurekalk (KZK), elektrische geleidbaarheid (EC) en chloor) van de organische producten - vervolg (per kg DS) (Eurofins compost-analyse).

Nr	Product	Fosfaat (g/kg)	Kali (g/kg)	S-tot (g/kg)	Magn. (g/kg)	pH-KCl	KZK	EC	Chloor (g/kg)
1	Haarmeel 2020	5.3	2.3	14.5	1.0	5.1	0.2	4.6	2.1
1	Haarmeel 2021	5.3	2.2	15.4	0.9	5.0	0.2	4.3	2.0
1	Haarmeel 2021KB	5.5	2.7	16.1	1.1	5.1	0.2	4.7	2.1
2	Verenmeel 2020	6.0	1.3	16.6	0.7	5.1	0.2	3.9	2.0
2	Verenmeel 2021KB	6.2	1.6	17.7	0.7	5.1	0.2	4.1	2.6
3	Runderbeendermeel	183.0	2.4	2.7	5.6	6.9	4.4	2.6	2.2
4	Humuszuur	32.1	94.0	*	6.2	*	*	*	*
5	Groencompost 2020	5.0	5.9	6.9	2.7	7.0	1.7	2.8	1.2
5	Groencompost 2021	3.4	7.0	1.3	2.8	7.3	0.6	1.6	1.4
6	Zaadmeel 2020	22.9	10.0	11.4	7.1	5.1	0.2	5.3	1.1
6	Zaadmeel 2021	20.6	10.0	12.8	6.3	5.0	0.2	5.2	0.9
7	Coagulateslib-B	13.7	16.0	4.1	11.0	6.7	13.4	1.4	0.5
8	Coagulateslib-N	6.4	18.0	4.6	11.0	7.5	10.4	1.1	0.5
9	Cellulose	8.7	1.3	3.4	1.7	6.5	0.4	*	0.5
10	Biochar	25.2	1.0	6.0	3.5	5.2	0.2	1.5	0.5
11	Humuszuur (HumVi)	4.6	0.5	10.4	0.7	7.5	0.7	34.9	22.0
12	Kaumera (alginaat)	48.1	*	*	8.2	2.4	*	*	*
13	Tradiphos® 2020	108.0	5.7	16.1	13.0	5.6	0.8	12.1	2.7
13	Tradiphos® 2021	103.0	6.3	15.4	12.0	5.8	0.6	11.2	2.6
14	Digestaat plantaardig 2020	8.0	12.0	13.2	10.0	8.2	18.2	6.6	0.9
14	Digestaat plantaardig 2021	11.2	4.6	11.3	3.6	8.2	13.2	5.6	0.5
15	Schone bagger	1.8	7.8	4.2	7.5	7.8	12.2	2.5	0.5
16	Koffie PR pellets	2.1	28.0	2.6	6.3	5.1	0.2	5.7	0.7
17	Chitine-garnaal	2.1	0.5	1.3	1.6	9.8	2.3	*	8.6
18	Champignon	25.2	53.0	2.8	2.2	5.7	0.2	*	8.9
19	Champignon voetjes	13.7	18.0	3.4	2.8	*	1.4	9.8	3.3
20	Pleurotis + substraat	2.3	30.0	4.1	4.3	5.6	0.6	*	5.0
21	Insect exuviae	16.0	36.0	4.6	4.5	6.8	0.2	*	6.1
22	Insect frass	18.3	24.0	4.9	5.1	6.5	0.2	12.9	4.7
23	Koemest + houtsnippers	20.6	24.0	5.7	15.0	7.5	1.3	*	1.8
24	Koemest (vers)	13.7	24.0	3.6	14.0	8.3	0.7	*	14.0
25	Kippenmest (vers)	45.8	35.0	6.2	15.0	6.6	16.7	*	5.1

*) niet gemeten.

2.3 Rock-Eval pyrolyse

Bij Rock-Eval pyrolyse wordt een monster stapsgewijs verhit in afwezigheid van zuurstof (pyrolyse). Daarnaast wordt het monster ook in aanwezigheid van zuurstof verhit. De vrijkomende koolwaterstoffen worden gemeten en kunnen worden geplot als functie van de tijd en de temperatuur in de vorm van een pyrogram. Uit deze gegevens kunnen verschillende parameters worden gehaald waarmee het organisch materiaal gekarakteriseerd kan worden. Oorspronkelijk is deze methode gebruikt voor beoordeling van proefboringen in de olie-industrie (Espitalié et al., 1977, 1985; Lafargue et al., 1998). De methode is door haar eenvoud ook gebruikt in beoordelingen van bodems en jonge sedimenten (Disnar & Trichet, 1984; Di Giovanni et al., 1998, 1999; Disnar et al., 2000; Lüniger & Schwark, 2002). Sinds 2006 zijn nieuwe calculatiemethoden ontwikkeld die geschikter zijn voor karakterisering van bodem en organische stof binnen natuurlijke en agrarische ecosystemen (Sebag et al., 2006; Sebag et al., 2016).

Parameters die direct uit de pyrogrammen gehaald kunnen worden, zijn:

- S1: de hoeveelheid (semi) vluchtige koolwaterstoffen, die vrijkomen tijdens de isotherme fase van de pyrolyse.
- S2: de hoeveelheid koolwaterstoffen die vrijkomen tijdens de pyrolyse van 200 °C tot 650 °C.
- Tmax: de temperatuur op het maximum van de S2 curve.
- S3: de gegenereerde hoeveelheden koolstofdioxide (CO₂) en koolstofmonoxide (CO) die tijdens de pyrolyse (S3) en de daaropvolgende oxidatie fase worden gegenereerd.

Uit de meetresultaten kunnen vervolgens een aantal parameters worden berekend, waaronder Totaal Organisch Koolstof (TOC), de Hydrogen Index (HI) en de Oxygen Index (OI). Deze laatste twee parameters worden gebruikt als maat voor de verhouding H/C en O/C.

De pyrogrammen kunnen onderverdeeld worden in een aantal temperatuurtrajecten. De oppervlakten van deze trajecten worden bepaald en gebruikt om een tweetal indices te definiëren:

- $I = \text{Log}((A1+A2)/A3)$
- $R = (A3 + A4) / \sum(A1+A2+A3+A4)$

Waarbij:

- A1 = oppervlakte van de S2 piek tussen 200 °C en 340 °C (labiele biopolymeren);
- A2 = oppervlakte van de S2 piek tussen 340 °C en 400 °C (resistente biopolymeren);
- A3 = oppervlakte van de S2 piek tussen 400 °C en 460 °C (onrijpe geopolymeren);
- A4 = oppervlakte van de S2 piek na 460 °C (refractaire geopolymeren).

Deze indeling is bekend uit eerder gepubliceerde studies waarin verschillende types organisch materiaal gekarakteriseerd zijn (Sebag et al., 2016).

Meer informatie over de Rock-Eval methode en de parameters die hiermee kunnen worden bepaald is te vinden in Bijlage 2.

2.3.1 Methode

In 2020 en 2021 zijn respectievelijk 14 en 12 monsters geanalyseerd. Deze zijn gedroogd en gemalen, waarna de monsters met Rock-Eval pyrolyse zijn geanalyseerd.



Figuur 2.3.1 Gedroogde monsters in 2020. Links: Alle monsters; Rechts: Recell® - cellulose.



Figuur 2.3.2 Gedroogde monsters in 2021 (boven vlnr: haarmeel, groencompost, zaadmeel, humuszuur (HumVi), Kaumera, Tradiphos; beneden vlnr: koffie PR pellets, digestaat plantaardig, Vredepeel grond, chitine-garnaal, champignon, insect exuviae).

2.3.2 Resultaten

In Tabel 2.3.1 staat een overzicht van de Rock-Eval meetresultaten. De belangrijkste parameters zijn ook in figuren weergegeven die hieronder besproken worden. De pyrogrammen per product staan in Bijlage 3.

- Totaal Organisch Koolstof (TOC, Total Organic Carbon), Mineral Carbon (MINC) (Figuur 2.3.3).

De monsters verschillen sterk in TOC en MINC gehalten. Grond en bagger bevatten relatief weinig organische koolstof (2%), compost iets meer (ca 10%), alle andere materialen bevatten meer organische koolstof (de meeste tussen 15% en 43%, met als hoogste 67% voor biochar).

- Organisch stof karakteristieken: Tmax, Hydrogen Index (HI), Oxygen Index (OI) (Figuur 2.3.4). In Tmax, HI en OI zijn grote verschillen te zien. De verhoudingen tussen deze getallen verschilt sterk tussen bijvoorbeeld biochar, humuszuur en grond/bagger. Humuszuur heeft een hogere OI dan de overige materialen.

Tabel 2.3.1 Eigenschappen organische producten bepaald met Rock-Eval pyrolyse.

Nr	Product	S1 (mg/g)	S2 (mg/g)	S3 (mg/g)	Tmax (°C)	HI	OI	TOC (%)	MINC (%)
1	Haar-meel 2020	3.59	187.60	47.10	301	524	132	35.77	0.39
1	Haar-meel 2021	4.59	235.80	61.36	301	580	151	40.65	0.89
1	Haar-meel 2021KB	*	*	*	*	*	*	*	*
2	Veren-meel 2020	6.33	266.60	25.86	314	692	67	38.53	0.12
2	Veren-meel 2021KB	*	*	*	*	*	*	*	*
3	Runderbeender-meel	0.05	177.00	8.03	366	808	37	21.91	0.62
4	Humuszuur	0.07	44.31	54.35	379	166	204	26.62	10.31
5	Groencompost 2020	0.03	33.02	5.79	308	328	58	10.06	0.39
5	Groencompost 2021	0.04	33.98	16.94	315	322	161	10.55	0.68
6	Zaad-meel 2020	4.46	333.10	14.79	385	728	32	45.74	0.45
6	Zaad-meel 2021	7.38	282.60	57.26	375	657	133	43.04	1.14
7	Coagulatieslib-B	0.04	23.33	4.08	418	311	54	7.51	1.34
8	Coagulatieslib-N	*	*	*	*	*	*	*	*
9	Cellulose	3.43	261.10	10.15	338	743	29	35.12	0.23
10	Biochar	23.67	405.40	1.93	418	602	3	67.34	0.21
11	Humuszuur (HumVi)	0.05	57.93	109.40	409	298	562	19.45	17.35
12	Kaamera (alginaat)	9.81	212.3	43.54	309	653	134	32.50	3.94
13	Tradiphos® 2020	2.51	128.6	11.99	404	509	47	25.27	0.41
13	Tradiphos® 2021	3.24	92.14	26.37	276	408	117	22.60	0.86
14	Digestaat plantaardig 2020	0.07	83.64	7.73	321	514	48	16.26	1.84
14	Digestaat plantaardig 2021	0.07	61.96	30.77	322	382	190	16.23	2.33
15	Schone bagger	0.01	4.84	2.17	427	240	107	2.02	1.42
16	Koffie PR pellets	1.92	182.20	98.88	294	468	254	38.97	1.34
17	Chitine-garnaal	0.06	145.20	35.87	354	484	120	29.99	0.86
18	Champignon	12.01	177.40	60.24	265	555	188	31.97	0.63
19	Champignon voetjes	*	*	*	*	*	*	*	*
20	Pleurotis + substraat	*	*	*	*	*	*	*	*
21	Insect exuviae	3.18	180.60	75.31	337	483	201	37.38	0.77
22	Insect frass	*	*	*	*	*	*	*	*
23	Koemest + houtsnippers	*	*	*	*	*	*	*	*
24	Koemest (vers)	*	*	*	*	*	*	*	*
25	Kippenmest (vers)	*	*	*	*	*	*	*	*
V	Vredepeel grond 2020	0.15	55.47	12.43	306	699	157	7.93	1.51
V	Vredepeel grond 2021	0.01	6.53	2.36	429	364	132	1.79	0.10

*) niet gemeten.

- Verhouding labiel/stabiel organisch stof (Figuur 2.3.5 en 2.3.6).

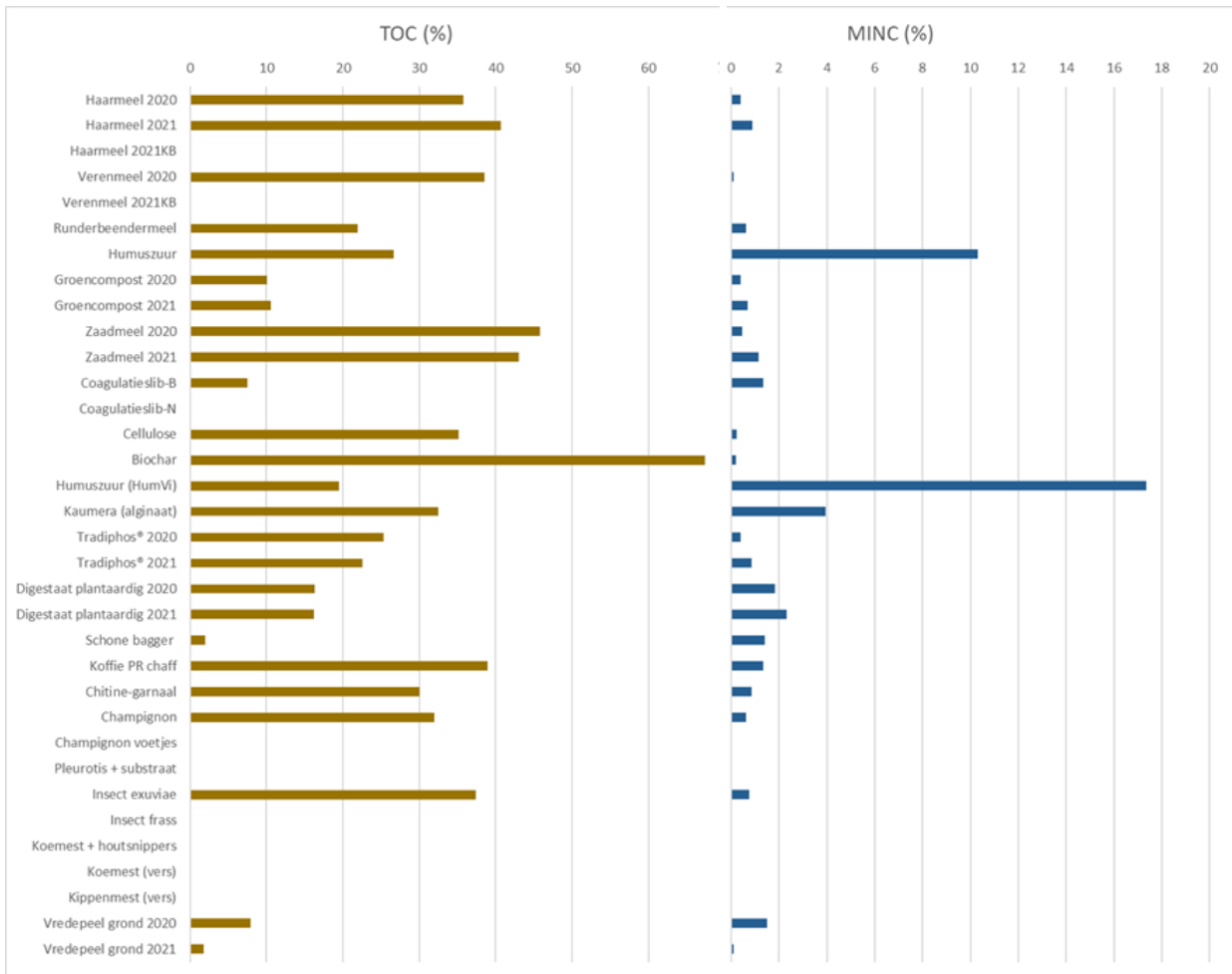
De verhouding labiel/stabiel organisch stof komt o.a. naar voren in de FID spectra (Bijlage 3). Labielere fracties geven bij lagere temperatuur een signaal, stabielere fracties pas bij hogere temperatuur.

Verschillende materialen laten in deze spectra duidelijk andere pieken zien.

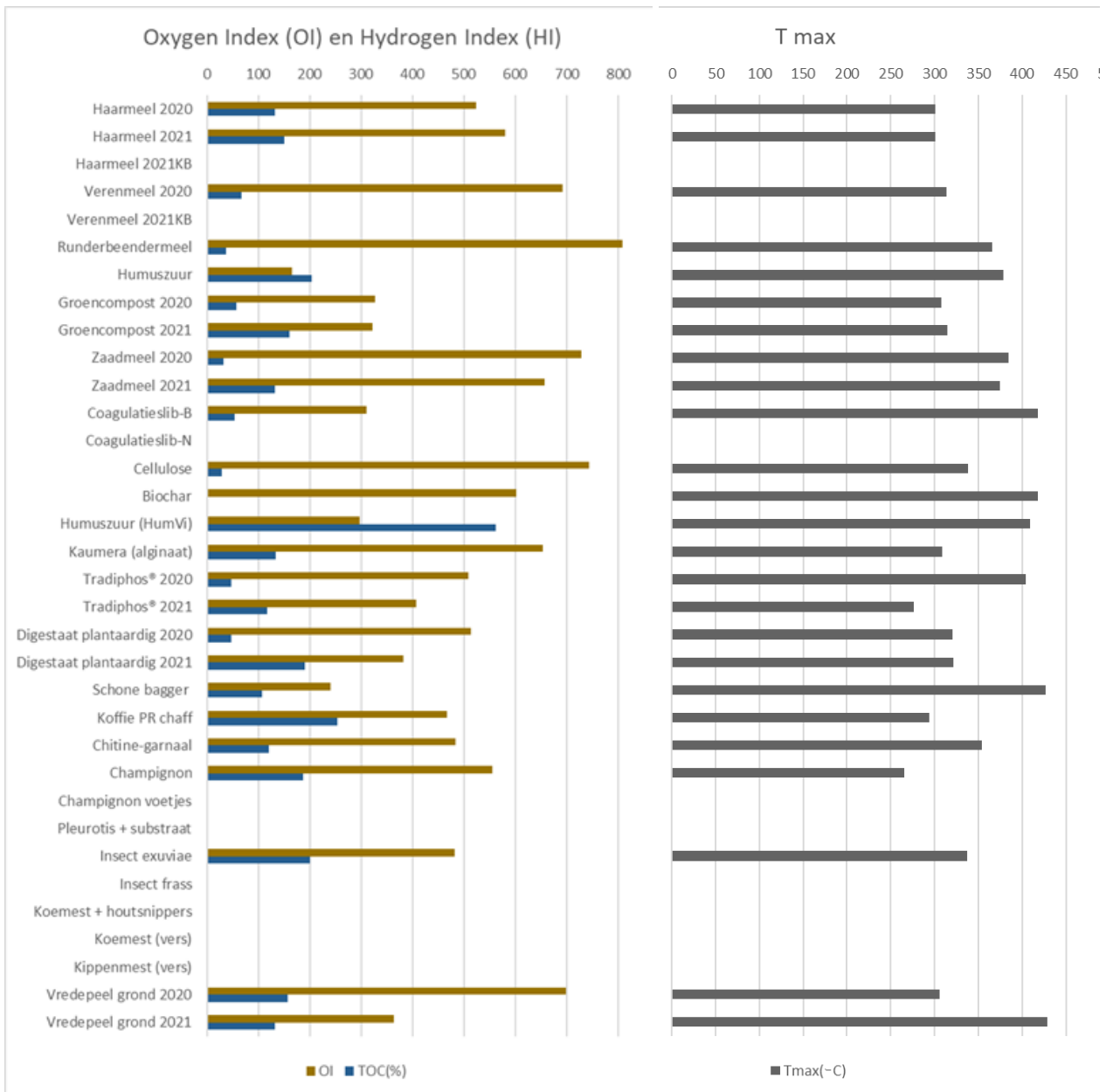
De spectra voor haar-meel en veren-meel lijken sterk op elkaar. Er is ook enige gelijkheid met runderbeender-meel en zaad-meel, al verschilt de verhouding labiel/stabiel wat. De organische producten laten

duidelijke onderlinge verschillen zien, die nog sterker naar voren komen wanneer de resultaten genormaliseerd worden weergegeven.

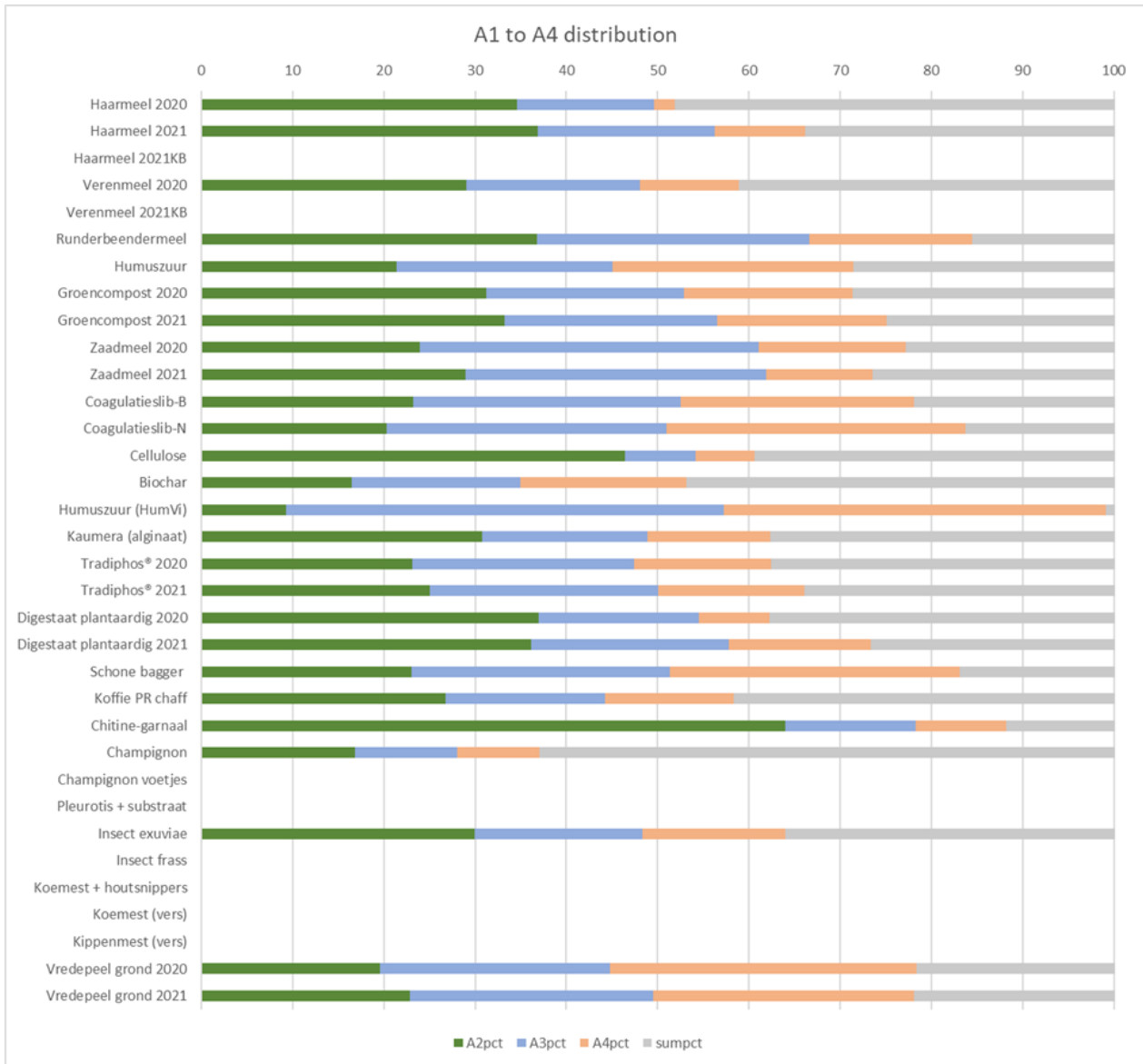
De verhouding tussen labiel en stabiel materiaal kan verder zichtbaar worden gemaakt aan de hand van de fracties A1 t/m A4 (Figuur 2.3.5). Door deze om te rekenen in I-R plots kunnen verschillen in stabiliteit duidelijk gevisualiseerd worden (Figuur 2.3.6). Hiermee wordt duidelijk dat deze organische producten een zeer brede range van labiele tot stabiele materialen omvat.



Figuur 2.3.3 Total Organic Carbon (TOC) (links) en Mineral Carbon (MINC) (rechts).



Figuur 2.3.4 Oxygen Index (OI) en Hydrogen Index (HI) (links) en T max (rechts).



Figuur 2.3.5 Verdeling van pyrolysesignaal over fracties A1, A2, A3 en A4.

Bespreking resultaten per stof(groep)

- Diermelen:

- 1 Haarmeel
- 2 Verenmeel
- 3 Runderbeendermeel

Haarmeel en verenmeel (1 en 2) lijken sterk op elkaar en geven dan ook sterk vergelijkbare resultaten met de Rock-Eval. Deze materialen laten een vrij vroege piek zien (300 °C) en bevinden zich aan de labelere kant van de materialen. Runderbeendermeel (3) wijkt hier iets van af, met een iets hogere Tmax (366 °C), maar de vorm van de pyrolysecurve is min of meer gelijk.

- Plantaardige materialen:

- 4 Humuszuur
- 5 Groencompost
- 6 Zaadmeel

Humuszuur (4) heeft een vrij vlak Rock-Eval spectrum, met een vorm die overeenkomt met dat van bodems. De piek ligt vrij ver naar rechts. Dit komt overeen met het beeld van humuszuur als relatief verouderd, stabiel organisch materiaal.

Groencompost (5) heeft net als humuszuur een vrij vlak Rock-Eval spectrum, maar de piek ligt bij lagere temperatuur, wat overeenkomt met het beeld van dit materiaal als labieler.

Zaadmeel (6) wijkt qua gedrag af van humuszuur en groencompost. Het heeft een hoog organisch stof gehalte, wat tot uiting komt in een grote Rock-Eval piek. De piek van de Rock-Eval curve ligt bij vrij hoge temperatuur, wat overeenkomt met de lage afbreekbaarheid die met respiratietesten werd gemeten (Termorshuizen & Postma, 2021). Dit komt ook overeen met de positie in het I-R diagram vrij ver rechtsonder.

7 Coagulateslib-B

8 Coagulateslib-N

De twee hier geteste monsters van coagulateslib geven allebei een relatief vlak Rock-Eval spectrum met een piek bij vrij hoge temperatuur. Dit komt overeen met een lage hoeveelheid organisch materiaal die relatief slecht beschikbaar is. We hebben niet veel informatie over de aard van het coagulateslib, waardoor het moeilijk is verdere conclusies te trekken.

9 Cellulose

Het geteste cellulose laat een hoge Rock-Eval curve zien met een piek bij lage temperatuur. Dit komt overeen met een hoog organisch stof gehalte dat gemakkelijk afbreekbaar is.

10 Biochar

Biochar bestaat uit organisch materiaal dat al gedeeltelijk is omgezet in een HTL (hydrothermal liquefaction, ca. 300 °C) proces. Het is stabiel en geconcentreerd organisch materiaal. Dit is ook terug te zien in de Rock-Eval gegevens: het organisch koolstof gehalte is hoog, de piek van het Rock-Eval spectrum ligt bij hoge temperatuur, en de Hydrogen Index is hoog, terwijl de Oxygen Index laag is.

12 Kaumera

Kaumera is in 2020 niet gemeten. Het heeft een piek bij vrij lage temperatuur, wat overeenkomt met relatief vers en gemakkelijk afbreekbaar materiaal.

13 Tradiphos®

Tradiphos is een product dat overblijft na het ontwateren, eventueel vergisten en biologisch drogen van communale zuiveringsslib. Tradiphos is een in Nederland geproduceerde en in Frankrijk door ANSES erkende organisch minerale stikstof fosfaat meststof. Het heeft een relatief vlak Rock-Eval spectrum en bevindt zich qua afbreekbaarheid tussen stabielere en labelere materialen in.

14 Digestaat plantaardig

Het digestaat dat vrijkomt bij de verwerking van suikerbieten vertoont een vergelijkbaar patroon als Tradiphos, maar heeft bij lagere temperatuur een extra piek in het Rock-Eval spectrum.

15 Schone bagger

V Vredepeel grond

Schone bagger en grond zijn ten opzichte van de materialen relatief verdund en arm aan organisch stof. Dit is dan ook duidelijk te zien aan het vlakke Rock-Eval spectrum.

16 Koffie PR pellets

Van de geteste organische materialen heeft koffie PR pellets een piek bij relatief hoge temperatuur en een vrij hoge Oxygen Index (OI). Dit duidt op een relatief minder snel afbreekbaar materiaal.

- Chitineproducten van verschillende oorsprong:

17 Garnalen-chitine

18 Champignon

21 Insect exuviae

Champignon vertoont een piek bij relatief lage temperatuur, overeenkomend met relatief vers, afbreekbaar materiaal. Insect exuviae vertoont een aantal pieken bij verschillende temperaturen, overeenkomend met verschillen in afbreekbaarheid. Garnalen-chitine vertoont een piek bij relatief hoge temperatuur. Deze drie verschillende materialen laten verschillende organisch materiaal karakteristieken zien.

I-R plot

In Figuur 3.2.6 is de I-R waarde geplot van alle materialen uit 2020 en 2021. De I en R indices als beschreven in hoofdstuk 2.3, geven de relatieve fractie van meer labiele of meer stabiele koolstof in het monster. Wanneer een monster een hoge I-waarde heeft, is er een relatief sterke reactie in de A1 en A2 fase binnen de S2. Dit geeft aan dat er relatief veel labiele koolstof in het monster aanwezig is. Daarentegen, wanneer een monster een relatief hoge R-waarde geeft, komt een relatief groot deel van de piek juist in de hogere temperatuurrange binnen de S2. De koolstof in het monster is bij een hoge R-waarde dus juist stabiel. De I-R waarde kan als zodanig worden ingezet om de verhouding tussen meer labiel en stabiele koolstof in een monster te illustreren. Sebag et al. (2016) hebben bodems en organische materialen in verschillende staten van afbraak vergeleken op I-R waarden. Hun bevindingen hebben geleid tot karakteristieke trendlijnen van I-R waarden voor verschillende bodems en materialen (Figuur 3.2.6.). In de I-R grafiek valt vers organisch materiaal meer linksboven rond de Biological tissues, meer richting het midden vinden we typische I-R waarden voor organische horizonten en verder afgebroken gewasresten. Wanneer we vanaf het midden van de grafiek verder naar rechtsonder gaan, komen we rond I-R waarden die meer karakteristiek zijn voor organisch-minerale horizonten, waarbinnen aanwezige koolstof over het algemeen nog verder is gestabiliseerd. Samenvattend illustreert meer linksboven in een I-R grafiek dat de koolstof in een monster verser en labieler is. Hoe verder naar rechts en naar onder in de grafiek, hoe stabiel de koolstof in het monster.

Bespreking I-R per stof(groep)

Voor de verschillende materialen binnen dit onderzoek zien we uiteenlopende I-R waarden in Figuur 3.2.6. Dezelfde materialen laten soms verschillende I-R waarden zien tussen de verschillende batches uit 2020 en 2021.

Haarmeel en verenmeel (1 en 2) hebben vergelijkbare I-R waarden aan de labiele kant van het spectrum. Runderbeendermeel (3) daarentegen heeft een I-R waarde van verder gestabiliseerde koolstof.

Humuszuur (4) van 2020 uit varkensmest heeft een relatief stabiele I-R waarde. Het humuszuur (11) van 2021 uit drinkwaterzuivering is echter nog veel stabiel. Volgens de I-R waarde is humuszuur uit 2021 namelijk het meest gestabiliseerde product uit alle geteste materialen.

Groencompost (5) lijkt iets verder gestabiliseerd dan plantaardig digestaat uit 2021, maar minder dan zaadmeel.

Zaadmeel (6) lijkt stabiel te zijn dan humuszuur uit varkensmest, en de koolstof lijkt een vergelijkbare stabiliteit te hebben met coagulatieslib-B en Vredepeelgrond.

Cellulose (9) daarentegen, heeft de meest labiele I-R waarde van alle producten. Hetgeen ook te verwachten is door de bekende karakteristieke labiliteit binnen de pyrolyse van het materiaal.

Biochar uit waterzuivering zeefgoed (10) is via een HTL proces bij ongeveer 300 °C bewerkt en daardoor stabiel dan het moedermateriaal cellulose. Het lijkt wel labieler te zijn dan groencompost op de I-R grafiek, iets dat niet verwacht werd gezien het HTL proces dat het zeefgoed heeft ondergaan.

Kaamera (12) heeft een I-R waarde vergelijkbaar met haar- en verenmeel, en koffie PR pellets, terwijl Tradiphos® (13) een stuk stabiel is, vergelijkbaar met groencompost.

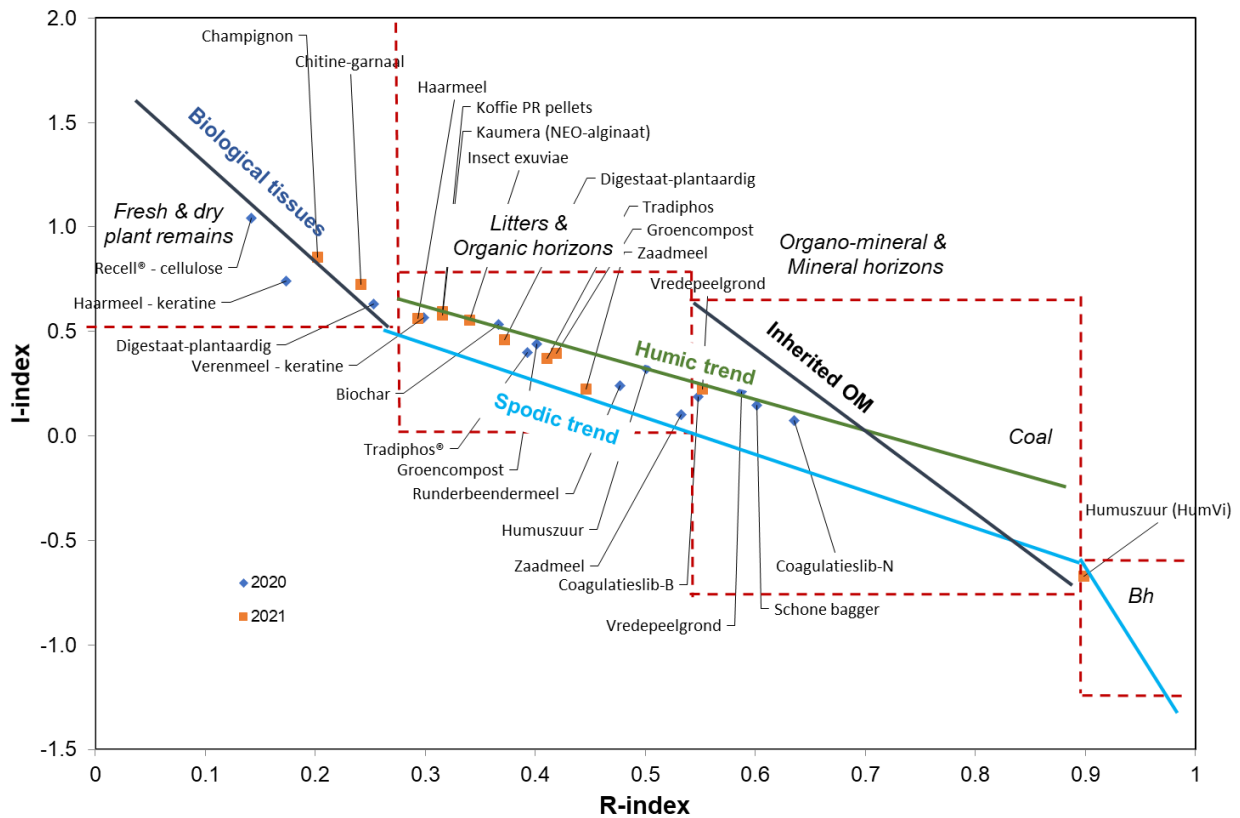
Digestaat plantaardig (14) uit 2020 gedraagt zich labiel, maar digestaat plantaardig uit 2021 daarentegen is stabiel, vergelijkbaar met biochar uit waterzuivering.

Schone bagger (15), beide coagulatieslibs (7 en 8) en Vredepeel grond hebben, op humuszuur uit waterzuivering na, de meest stabiele I-R waarden. Deze producten hebben tevens relatief lage gehalten aan organische stof.

Waar de relatief hoge OI duidt op stabiliteit, vallen koffie PR pellets (16) volgens I-R onder de meer labiele materialen, vergelijkbaar met haar- en verenmeel.

Garnalen-chitine (17) en champignon (18) behoren op de I-R grafiek tot de materialen met de meest labiele koolstoffracties. Beiden liggen ze tussen digestaat plantaardig uit 2020 en haarmeel uit 2020.

Insect exuvia (21) zou stabielere koolstof bevatten met een I-R waarde liggend tussen die van Koffie PR pellets en biochar.



Figuur 2.3.6 I-R plot van de organische producten gemeten met Rock-Eval pyrolyse.

Vergelijking met eerdere metingen aan materialen

In een eerder project is een brede groep van materialen met Rock-Eval geanalyseerd.

- Compost: Verschillende soorten compost zijn geanalyseerd. Deze verschillen onderling enigszins in gedrag, onder andere afhankelijk van de herkomst. Over het algemeen neemt compost een tussenpositie in tussen labiel en stabiel.
- Plantaardige materialen: Verschillende plantaardige materialen vertonen verschillend gedrag. Houtsnippers hebben een hoog koolstofgehalte en veel actief materiaal. Eikenblad heeft een lager koolstofgehalte en het koolstof is meer verdeeld over verschillende fracties in vergelijking met houtsnippers.

Koffievlies en koffieboon vertonen verschillend gedrag.

Gras, grascompost en graskool (biochar van gras) vertonen ook duidelijk verschillend gedrag, waarbij grascompost stabiel is dan gras, en graskool is nog stabiel.

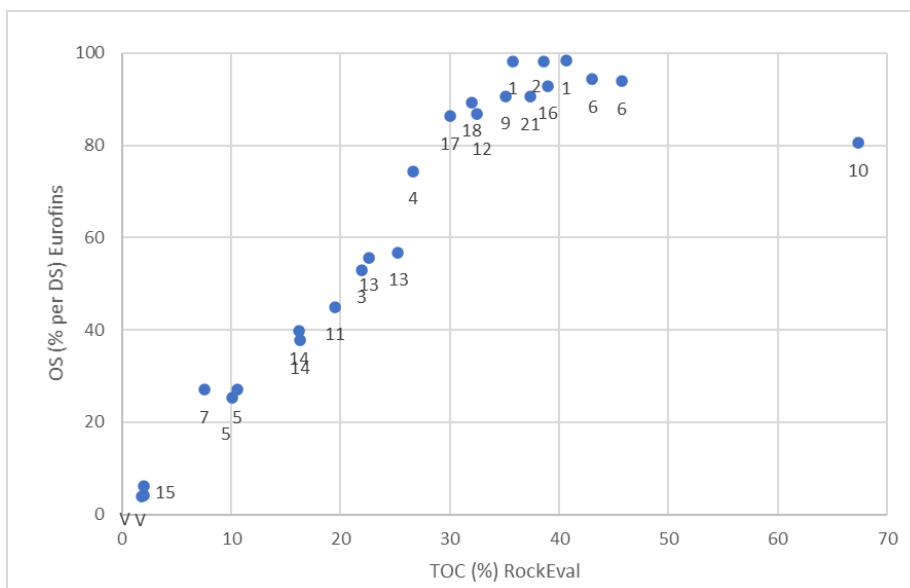
2.4 Interpretatie van de gemeten eigenschappen van de organische producten

Voor de beoordeling en de toepassing van organische producten in de bodem zijn meerdere eigenschappen van belang die met de compostanalyse van Eurofins en de Rock-Eval methode van Deltares gemeten kunnen worden: het gehalte droge stof, gehalte organisch stof, de afbreeksnelheid van de organische stof, en de kwaliteit van de organische stof. Daarnaast speelt ook de nutriëntensamenstelling een belangrijke rol als bemestende waarde voor gewasgroei. Hieronder worden een aantal relevante eigenschappen en hun meetmethoden verder besproken.

Gehalte organische stof

De hoeveelheid OS die met een product wordt toegevoegd aan de bodem is belangrijk voor het uiteindelijke effect op de bodemfuncties. Het organische stofgehalte is met twee onafhankelijke methodes bepaald, namelijk met de gloeiverliesmethode door Eurofins (550 °C) en Rock-Eval pyrolyse door Deltares (650 °C). Er is een zeer goede correlatie tussen beide meetmethoden, wel is de eenheid verschillend (Figuur 2.4.1). Alleen biochar (10) is afwijkend, met een hogere TOC waarde t.o.v. de OS waarde. Een gedeelte van de koolstof in biochar verdwijnt klaarblijkelijk niet bij 550 °C (gloeiverlies) maar wel bij 650 °C (Rock-Eval). Een dergelijke stabiele C-fractie is mogelijk het gevolg van de temperatuur waarbij biochar geproduceerd is.

De OS van de producten varieerde van 6 tot 98% OS per droog product en kwam overeen met TOC waardes van 2 tot 45% C per droog product met een uitschieter van 67% voor biochar (Figuur 2.4.1). Producten moeten minimaal 7,5 of 15% C bevatten om als respectievelijk organische bodemverbeteraar of vaste organische meststof aangemerkt te kunnen worden (Veeken et al., 2017; Van Geel et al., 2019). Voor vloeibare organische meststof geldt een waarde van minimaal 5% C.



Figuur 2.4.1 Organische stof (%OS) en totaal organische C (%TOC) van de organische producten bepaald via respectievelijk gloeiverlies bij 550 °C door Eurofins en pyrolyse tot 650 °C met Rock-Eval door Deltares (zie Tabel 2.1.1 voor de productnummers).

Afbreeksnelheid organische stof

De respiratiesnelheid is een belangrijke karakteristiek van de organische stof, omdat het informatie geeft over hoe snel het product afgebroken kan worden in de bodem. Het is vooral interessant voor de onderlinge vergelijking van de producten, want voor het uiteindelijke effect in de bodem zijn ook allerlei bodemfactoren van belang. De respiratiesnelheid bepaalt enerzijds hoeveel organische stof er voor langere tijd in de bodem blijft, anderzijds hoeveel er door bodemleven kan worden afgebroken. Ook de verhouding tussen koolstof en stikstof beïnvloedt de afbreeksnelheid van de organische stof. Beide eigenschappen zijn daarom mogelijk

voorspellende factoren voor ziektevering. In Figuur 2.4.2 zijn de respiratiesnelheid (gemeten met Oxitop) en de C/N ratio van de producten tegen elkaar uitgezet.

De organische producten kunnen in drie groepen ingedeeld worden:

- Lage C/N ratio (rond 3,3) met variabele maar vrij hoge respiratiesnelheden: de diermelen verenmeel, haarmeel en beendermeel. Zij bevatten relatief veel snel beschikbare N.
- Lage respiratiesnelheid (2 tot 10) met variabele C/N ratio's. Deze producten zijn dus relatief stabiel. Deze groep bevat: compost, zaadmeel, coagulatieslib, humuszuur (HumVi), Tradiphos, digestaat-plantaardig, schone bagger, chitine-garnaal, champignon.
- De restgroep met een hogere C/N ratio gecombineerd met een hogere respiratiesnelheid, soms met extreme waarden. Deze groep bevat: cellulose, biochar, koffie PR pellets, champignon-voetjes, pleurotis + substraat, beide insectenproducten, kippenmest, en één van de twee digestaat-batches.

Helaas zijn er ook producten waarvan de respiratiesnelheid niet gemeten is, dezen staan dus niet in de Figuur 2.4.2.

De Rock-Eval pyrolyse is in dit project gebruikt om aanvullende informatie over de organische producten te krijgen, met name over de stabiliteit (cq. afbreekbaarheid) van de producten. In paragraaf 2.3 is de I-R plot (Figuur 2.3.6) die een indeling van de producten naar stabiliteit aangeeft reeds uitgelegd. Er is ook gekeken of er een Rock-Eval parameter is die met de respiratiesnelheid van Oxitop correleert. De HI waarde correleerde het sterkst met de respiratiesnelheid (Figuur 2.4.3).

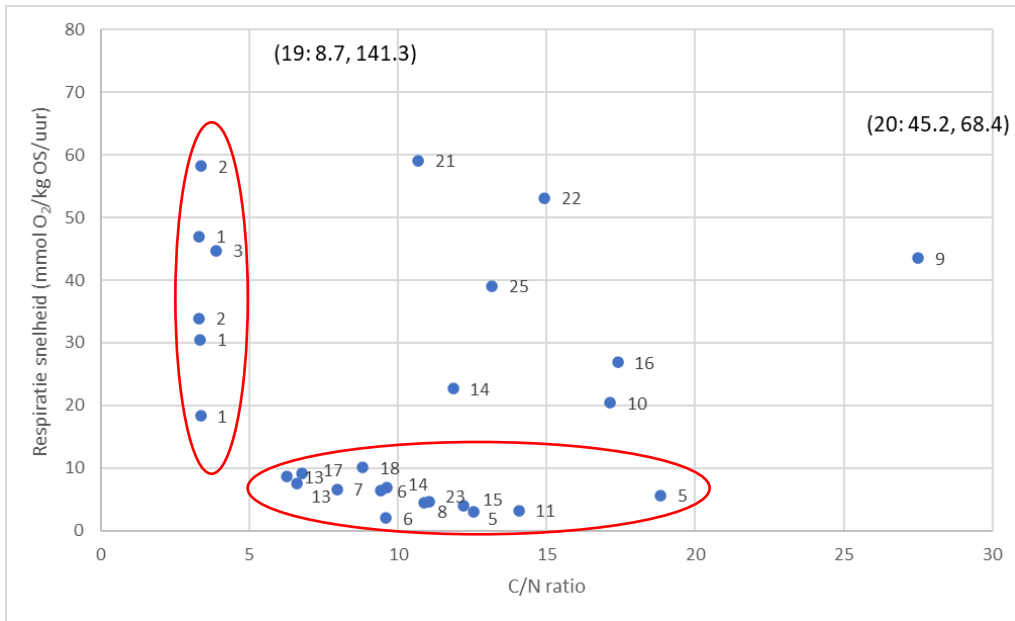
Met lineaire regressieanalyses is het verband berekend:

$$\text{Respiratiesnelheid} = -9.5 + \text{HI} * 0.0545 \text{ (Fprob} = 0.01, 25.6\% \text{ variatie verklaard)}$$

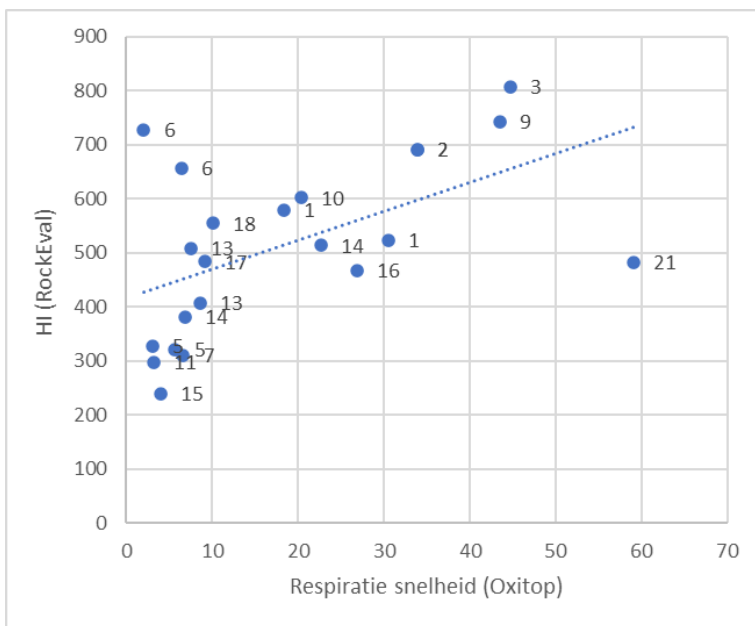
Het verband is significant, maar de verklaarde variatie is slechts 25.6%.

De sterkst afwijkende waarden van zaadmeel (6), champignon-voetjes (19) en pleurotis + substraat (20) zijn hierbij niet meegenomen, om te voorkomen dat een eventueel artefact de correlatie beïnvloedt. Om het verband tussen HI en respiratiesnelheid verder te onderzoeken, zijn meer herhaalde metingen nodig.

Ook Van Geel et al. (2019) bespreekt het probleem van een juiste, eenduidige karakterisering van de afbreesnelheid van organische stof, waarbij de Oxitop-bepaling met een veel kortere duur (~1 week) verschilt met de meting van de CO₂-productie (~3 maanden), waarschijnlijk doordat ze verschillende fracties van de totale organische stofvoorraad meten. M.a.w. Oxitop is een korte-termijn meting en geeft niet altijd een goede indicatie over de lange termijn.



Figuur 2.4.2 C/N ratio en de respiratiesnelheid van de organische producten. De waarden van product 19 en 20 vallen buiten de schaal op de assen en staan tussen haakjes vermeld. (zie Tabel 2.1.1 voor de productnummers).



Figuur 2.4.3 Respiratiesnelheid correleert met HI gemeten via Rock-Eval (afwijkende waarden van product 19 en 20 die buiten de figuur vallen zijn niet meegenomen). (zie Tabel 2.1.1 voor de productnummers).

Indeling organische producten in organische meststoffen en bodemverbeteraars

Om een onderscheid te maken tussen een organische bodemverbeteraar of organische vaste meststof wordt voorgesteld om naar de verhouding van de hoeveelheid effectieve organische stof (EOS) en de gehalten (aanwezige of beschikbare) nutriënten te kijken (Veeken et al., 2017; Van Geel et al., 2019). In producten met een lage EOS/N- en/of EOS/P₂O₅-ratio is vooral de bemestende waarde (nutriëntenlevering voor het gewas) van belang, terwijl in producten met een hoge EOS/N- en/of EOS/P₂O₅-ratio vooral de bodemverbeterende werking (OS-levering) van belang is.

Dit resulteert in de volgende indeling:

- EOS/N is laag als er veel N in zit t.o.v. de aanwezige EOS,
- EOS/P₂O₅ is laag als er veel P in zit t.o.v. de aanwezige EOS,

- Indien EOS/N en EOS/P₂O₅ beiden hoog zijn, levert dit veel stabiele C aan de bodem en dit wordt als bodemverbeteraar gekenmerkt.

Voor de hoeveelheid N worden tot nu toe verschillende N-pools gehanteerd, namelijk N_t, N_{min}, N_{wz} (Veeken et al., 2017; Van Geel et al., 2019). Exacte grenswaarden zijn niet gedefinieerd, hiervoor geeft men aan dat er meer onderzoek gedaan moet worden. Veeken et al. (2017) stelt een grenswaarde voor EOS/P₂O₅ en EOS/N_{min} voor van respectievelijk 35 en 150 voor. In de dataset van van Geel et al. (2019) zou deze waarde van N_{min}, overeenkomen met een grenswaarde voor EOS/N_t van circa 20.

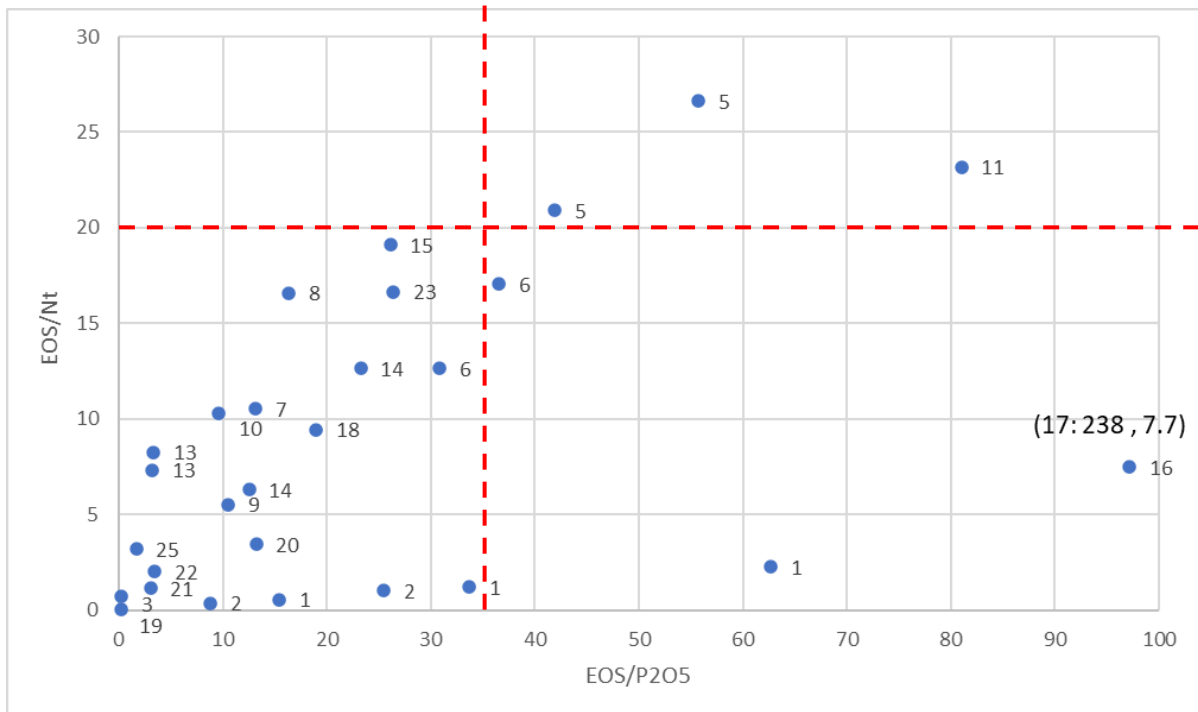
Voor de producten die in het huidige onderzoek zijn getest, is bovengenoemde indeling mogelijk wel relevant. Coagulatieslib (7, 8) en schone bagger (15) hebben een zeer lage TOC en vallen zodoende niet in de categorie organische bodemverbeteraar of vaste organisch mest (respectievelijk minimaal 7,5 of 15 g C per 100 g product). Groencompost (5) heeft een TOC van net boven de 10, en valt wel in de categorie organische bodemverbeteraar.

In Figuur 2.4.4 zijn de EOS/P₂O₅ en EOS/N_t waarden van alle producten weergegeven. Als we de grenswaarden op 35 en 20 voor EOS/P₂O₅ en EOS/N_t stellen, krijgen we de volgende groepen:

- Bodemverbeteraar, hoge EOS/N_t & hoge EOS/P₂O₅: groencompost (5), humuszuur (HumVi) (11),
- Organische meststof, lage EOS/N_t & lage EOS/P₂O₅: haarmeel (1), verenmeel (2), runderbeendermeel (3), zaadmeel (6), cellulose (9), biochar (10), Tradiphos (13), digestaat-plantaardig (14), champignon (18), champignonvoetjes (19), insect exuvia (21), insect frass (22), koemest met houtsnippers (23), kippenmest (25),
- Organische N-meststof met laag P-gehalte, lage EOS/N_t en hoge EOS/P₂O₅: koffie PR pellets (16), chitine-garnaal (17), één van de haarmeel-batches (1), en één van de zaadmeel-batches (6).

Voor producten waarvan geen Oxitop bepaling beschikbaar is (vloeistoffen) kon geen EOS berekend worden, en zijn dan ook niet opgenomen in de figuur.

Deze indeling voelt soms wat vreemd aan, maar de gekozen grenswaarden zijn ook slechts een voorstel. De respiratiewaarden zijn heel bepalend voor de berekende EOS-waarde, en een gemiddelde van herhaalde metingen is dus aan te raden.



Figuur 2.4.4 Verhouding tussen de EOS/P₂O₅-ratio (x-as) en de EOS/N_t-ratio (y-as) van de organische producten (zie Tabel 2.1.1 voor de productnummers), en veronderstelde grenswaarden voor organische bodemverbeteraar of vaste organisch mest.

Correlatie tussen de productmetingen

Om de correlatie tussen gemeten eigenschappen van de producten te bekijken is principale componenten analyse (PCA) uitgevoerd met het statistische programma R. De resultaten hiervan staan in Bijlage 4. Vanwege het grote aantal parameters, weinig herhalingen, en soms missende waarden, geeft deze analyse slechts een globale indruk. In het kort zien we dat:

- Producten met hoge A1, S2, HI en respiratiesnelheid leiden tot een hoge PMN die is gemeten als deze producten aan de bodem worden toegevoegd (metingen in hoofdstuk 3 beschreven). Dit geldt voor producten zoals haarmeel, verenmeel, Kaumera, en zaadmeel.
- Anderzijds correleren de eigenschappen met hoge EOS/Nt, pH, R-index, C/N ratio en Tmax. Dit geldt voor de producten humuszuur, groencompost, coagulatieslib, schone bagger, en digestaat plantaardig.

Samenvatting productanalyses

De producten die zijn geanalyseerd binnen dit project, waren zoals verwacht zeer verschillend in hun eigenschappen. Van zowel afbreekbaarheid van koolstof, als stikstofbeschikbaarheid en droge stofgehalte is bekend dat het drivers kunnen zijn van microbiële afbraak, en zo de stabiliteit van een product sturen. Een product is stabiel of labiel, en blijft zodoende langer of minder lang aanwezig na toediening aan de bodem. Producten als humuszuur en compost hadden met een hoog koolstofgehalte alsnog een relatief lage respiratiesnelheid, terwijl diermelen met meer beschikbare stikstof juist een hoge respiratiesnelheid hadden. De koolstofrijke producten zoals koffie PR pellets en cellulose hadden een relatief hoge respiratiesnelheid ondanks een lage stikstofbeschikbaarheid.

Om onderscheid te maken tussen mineraliseerbare OS, en EOS met een relatief lage of hoge stabiliteit, is gebruik gemaakt van de I-R waarden uit de Rock-Eval pyrolyse. Voor materialen met een hogere I-index en lagere R-index lijkt de I-R waarde meer te overlappen met de respiratiesnelheid uit Tabel 2.2.1.

Daarentegen, stabielere I-R waarden lijken minder te corresponderen met de respiratiesnelheid. Dit kan verklaard worden doordat de Oxitop-methode met name onderscheid maakt tussen aanwezigheid van labielere materialen die op korte termijn gemineraliseerd worden. Oxitop is minder geschikt voor onderscheid tussen stabielere materialen (Postma & Ros, 2016).

Wat daarnaast opviel, is dat analyses van verschillende materialen niet altijd overeenkwam met de eigenschappen die op basis van de handelsbenaming van de materialen verwacht werden. Er is ook spreiding tussen batches van hetzelfde materiaal. Productbenamingen geven vaak onvoldoende informatie over oorsprong en bewerkingsstappen om een goede voorspelling te doen van bijvoorbeeld de I-R waarde. Bijvoorbeeld, de biochar die in dit project is getest komt van zeefgoed dat bewerkt is middels een HTL proces bij ~300 °C. Biochar kan ook geproduceerd worden uit allerlei andere materialen zoals (hard)hout, en de pyrolysetemperatuur kan worden opgevoerd tot 800 °C. Het verschil in stabiliteit van het moedermateriaal van de biochar zal van invloed zijn op het eindproduct. Daarnaast zorgt een hogere temperatuur van het pyrolysetraject ervoor dat slechts een stabielere fractie van het moedermateriaal overblijft. Algemeen verwacht men van biochar dat het stabiel materiaal is, dus een verhoudingsgewijs hoge R-waarde, een lage respiratiesnelheid en hoge EOS heeft. Biochar van zeefgoed daarentegen bleek een I-R waarde te hebben die labiel is dan groencompost.

3 Effect van organische producten na toediening aan de bodem

3.1 Proefopzet

Het effect van de verschillende organische producten na toediening aan de bodem is in drie onafhankelijke experimenten gemeten die volgens dezelfde opzet zijn uitgevoerd. De uitvoering was qua opzet vergelijkbaar met de kasproeven zoals beschreven in Postma et al. (2020). Hiervoor is zandgrond van een akkerbouwperceel uit Vredepeel opgehaald. De producten zijn aan de grond toegevoegd, goed gemengd, en vervolgens 3 weken geïncubeerd bij ca. 20 °C zodat het bodemleven zich kon stabiliseren. Daarna zijn de behandelde gronden subbemonsterd om de verschillende metingen uit te voeren. Als maat voor gemakkelijk afbreekbare (labiele) N en C zijn potentieel mineraliseerbare N (PMN) en heet water extraheerbaar koolstof (HWC) bepaald. De ziektevering is in vijf verschillende plant-pathogeen combinaties in de kas gemeten. De uitvoering van deze analyses is in onderstaande paragrafen verder beschreven.

Gebruikte grond

Voor het onderzoek is dekzandgrond van de WUR-OT onderzoeklocatie Vredepeel (Limburg) gebruikt. De belangrijkste eigenschappen van deze grond staan weergegeven in Tabel 3.1.1. In zowel 2020 als in 2021 is de grond verzameld op percelen van de lange termijnproef Bodemkwaliteit op Zand (BKZ). In 2020 is de grond afkomstig van perceel 27.2b en in 2021 van perceel 26.2a. Voor beide percelen geldt dat de grond is verzameld na de teelt van zomergerst (eind juli) en dat in het jaar voorafgaand prei is geteeld. De percelen worden overwegend bemest met kunstmest en minimaal met organische mest. De grondbewerking is niet kerend (NKG).

Producten en dosering

Voor de dosering van de producten is in eerste instantie uitgegaan van een hoeveelheid product overeenkomend met een toevoeging van 0.20 of 0.15 g N /kg grond. Dit komt overeen met een reële N bemesting voor bijvoorbeeld aardappel en suikerbiet. Echter, voor producten met een hoog gehalte P is een lagere dosis gebruikt. Ook voor vloeistoffen, cellulose en producten met hoge gehalten zware metalen zijn lagere doses gebruikt om een geschikt bodemmengsel te krijgen voor kasproeven. Als controlebehandelingen werden grond zonder toevoeging (C) en een grond met alleen kunstmest N in de vorm van $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ (C+N) gebruikt. Alle behandelingen zijn in vier herhalingen uitgevoerd, d.w.z. de producten zijn in vier onafhankelijke batches door de grond gemengd. In tabellen 3.1.2, 3.1.3 en 3.1.4 staan de toegevoegde doses van alle producten per proef, in hoeveelheid vers product en droge stof (DS). Ook zijn de toegevoegde hoeveelheid OS, N-totaal, fosfaat en kali per object weergegeven, berekend met behulp van de meetgegevens uit Hoofdstuk 2.

Om de producten goed te kunnen mengen door de grond zijn producten in korrelvorm fijngemaakt en is biomassa in stukken van 3 à 5 cm geknipt. De producten zijn gelijkmatig aan de grond toegevoegd en goed gemengd met een betonmolen (zie Figuur 3.1).

De behandelingen zijn vervolgens 3 weken geïncubeerd bij ca. 20 °C in niet afgesloten plastic zakken zodat het bodemleven zich kon stabiliseren. Na incubatie zijn de verschillende bodemanalyses uitgevoerd zoals in onderstaande paragrafen is beschreven.



Figuur 3.1 Mengen van de producten door de grond met een betonmolen.

Tabel 3.1.1 Belangrijkste eigenschappen van de gebruikte Vredepeel grond in 2020 en 2021.

Grond	Jaar	pH	OS (%)	N-tot (kg/ha)	P-tot (kg/ha)	C/N ratio	KZK (%)	CEC (mmol+ /kg)	Zand (% >50 µm)	Silt (% 2-50 µm)	Klei (% <2 µm)
Vredepeel	2020	6.3	4.2	2740	965	20	<0.2	73	87	8	1
Vredepeel	2021	5.6	4.0	4380	605	16	0.3	56	81	13	2

Bodemanalyses van de grond zonder toevoegingen m.b.v. bemestingswijzer door Eurofins Agro (Wageningen, NL); P-tot is bodemvoorraad.

Tabel 3.1.2 Toegevoegde dosis per product, en berekende toegediende (t-) hoeveelheid OS, N, P en K in 2020. DS = droge stof

	Product	Batch	Dosis (g/kg grond)	Dosis DS (g drooggewicht /kg grond)	t-OS (g/kg grond)	t-N-tot (g/kg grond)	t-Fosfaat (g/kg grond)	t-Kali (g/kg grond)
1	Haar-meel	2020	1.5	1.5	1.435	0.214	0.008	0.003
2	Veren-meel	2020	1.5	1.4	1.388	0.209	0.008	0.002
3	Runderbeender-meel	2020	1.5	1.4	0.737	0.095	0.254	0.003
4	Humuszuur	2020	1.5	0.2	0.124	0.017	0.005	0.016
5	Groencompost	2020	30	20.3	5.130	0.205	0.102	0.120
6	Zaad-meel	2020	3	2.7	2.496	0.130	0.061	0.027
7	Coagulatieslib-B	2020	6	0.9	0.238	0.015	0.012	0.014
8	Coagulatieslib-N	2020	3	1.2	0.168	0.008	0.008	0.022
9	Cellulose	2020	3	2.6	2.375	0.043	0.023	0.003
10	Biochar	2020	3	2.9	2.355	0.069	0.074	0.003
11	Tradiphos®	2020	3	1.8	1.024	0.078	0.195	0.010
12	Digestaat plantaardig	2020	30	11.2	4.212	0.178	0.090	0.134
13	Schone bagger	2020	30	25.1	1.533	0.063	0.046	0.196
14	C+N		1.2			0.2		
15	C		0					
16	Cellulose + N	2020	3 + 1.2	2.6	2.375	0.243	0.023	0.003

Tabel 3.1.3 Toegevoegde dosis per product, en berekende toegediende (t-) hoeveelheid OS, N, P en K in 2021. DS = droge stof

	Product	Batch	Dosis (g/kg grond)	Dosis DS (g drooggewicht /kg grond)	t-OS (g/kg grond)	t-N-tot (g/kg grond)	t-Fosfaat (g/kg grond)	t-Kali (g/kg grond)
1	Haar-meel	2021	1.5	1.5	1.432	0.213	0.008	0.003
2	Veren-meel	2020	1.5	1.4	1.388	0.209	0.008	0.002
3	Runder-beender-meel	2020	1.5	1.4	0.737	0.095	0.254	0.003
4	Humus-zuur	2020	3	0.3	0.248	0.035	0.011	0.031
5	Groen-compost	2021	30	16.7	4.528	0.120	0.057	0.117
6	Zaad-meel	2021	3	2.7	2.532	0.135	0.055	0.027
7	Humus-zuur (HumVi)	2021	3	2.8	1.246	0.044	0.013	0.001
8	Kaamera	2021	3	0.2	0.214	0.021	0.012	
9	Cellulose	2020	3	2.6	2.375	0.043	0.023	0.003
10	Biochar	2020	8.7	8.5	6.828	0.199	0.214	0.008
11	Tradiphos®	2021	7.7	4.8	2.685	0.214	0.496	0.030
12	Digestaat plantaardig	2021	30	9.0	3.585	0.186	0.101	0.042
13	Koffie PR pellets	2021	7.8	7.0	6.514	0.187	0.014	0.196
14	C+N		1.2			0.2		
15	C		0					
16	Cellulose + N	2020	3+1.2	2.6	2.375	0.243	0.023	0.003

Tabel 3.1.4 Toegevoegde dosis per product, en berekende toegediende (t-) hoeveelheid OS, N, P en K in 2021KB. DS = droge stof

Nr	Behandeling	Batch	Dosis (g/kg grond)	Dosis DS (g drooggewicht /kg grond)	t-OS (g/kg grond)	t-N-tot (g/kg grond)	t-Fosfaat (g/kg grond)	t-Kali (g/kg grond)
4	Haar-meel	2021	1.1	1.0	1.008	0.149	0.006	0.002
3	Veren-meel	2020	1.1	1.0	1.008	0.153	0.006	0.003
5	Chitine-garnaal	2021	2.0	1.8	1.521	0.112	0.004	0.001
6	Champignon	2021	3.0	2.3	2.012	0.114	0.057	0.120
7	Champignon voetjes	2021	10.0	0.7	0.595	0.034	0.009	0.012
8	Pleurotis + substraat	2021	62.4	29.9	23.792	0.263	0.068	0.897
9	Insect exuviae	2021	2.6	2.4	2.132	0.100	0.038	0.085
10	Insect frass	2021	5.1	4.4	4.087	0.137	0.081	0.107
11	Koemest + houtsnippers	2021	30.0	10.6	7.646	0.346	0.218	0.254
13	Koemest (vers)	2021	33.3	2.7	2.335	0.069	0.037	0.066
2	C+N		0.9			0.15		
1	C		0.0					
12	1/2 pleurotis + substrate + N		31.2 + 0.9	15	11.9	0.28	0.034	0.449

3.2 Bodemindicatoren HWC en PMN

Potentieel mineraliseerbare N (PMN) meet de stikstofpool in de bodem die eenvoudig mineraliseert. Heet water extraheerbare C (HWC) is een actieve fractie van organische stof. HWC en PMN worden vaak gebruikt als bodemindicator voor biologische bodemkwaliteit, het is een indirecte maat voor bodemleven.

3.2.1 Methode

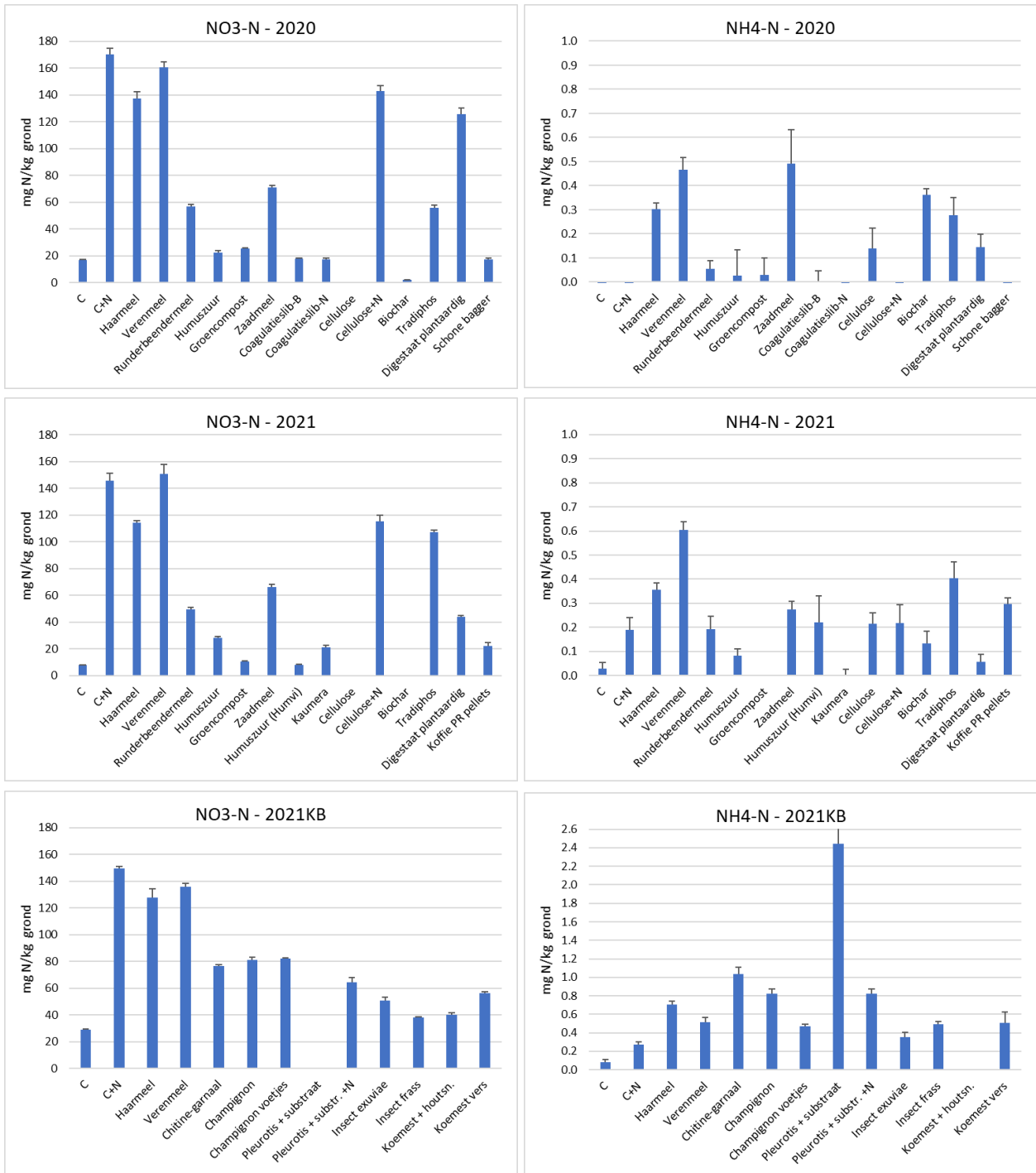
Heet-water extraheerbare koolstof (HWC) werd gemeten als de toename in opgelost organische koolstof na extractie van 4 g grond in 30 ml water bij 80 °C gedurende 16 uur (Ghani et al., 2003). Dit is een maat voor de hoeveelheid labiele koolstof in de bodem. Potentieel mineraliseerbare stikstof (PMN) werd gemeten als de toename van ammonium (NH_4^+) gedurende een week anaërobie (waterverzadigde) incubatie van 16 g grond in 40 ml water bij 40 °C (Keeny and Nelson, 1982; Canali and Benedetti, 2006).

3.2.2 Resultaten

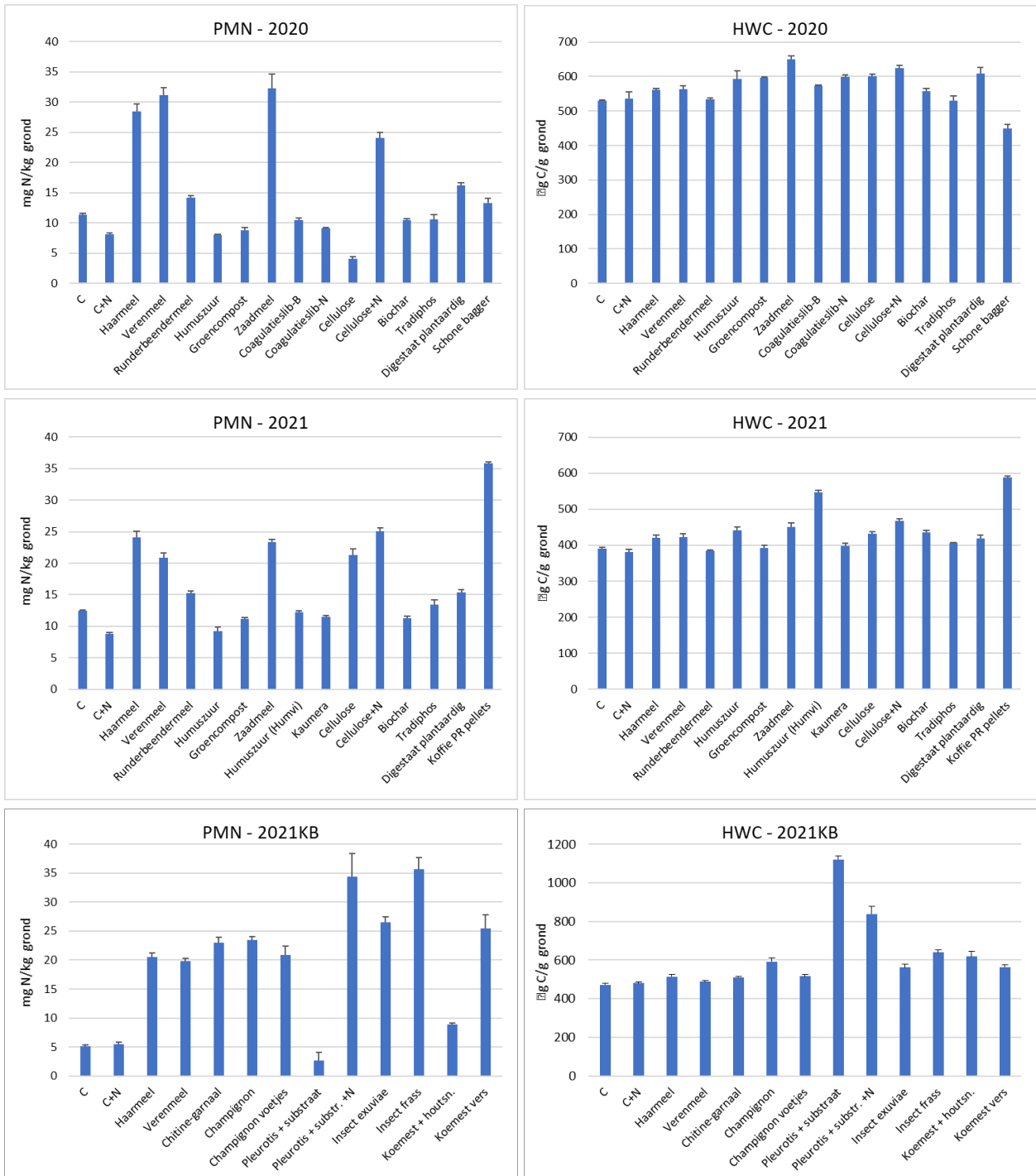
Via de organische producten en in de controle C+N is N toegevoegd aan de grond wat heeft geleid tot een hoger gehalte aan minerale stikstof in de vorm van NO_3^- t.o.v. de onbemeste controle (C) (Figuur 3.2.1). Er is een beperkt verlies opgetreden in NO_3^- , want de concentratie in de controle C+N was iets lager dan de toegediende dosis (0,2 g N/ kg grond in 2020 en 2021 en 0,15 g /kg grond in 2021KB). Concentratie NO_3^- in de bodem verschilt per toegediend product, want niet voor alle producten kon evenveel N toegediend worden, zie tabellen 3.2.2-3.2.4. De hoeveelheid gemeten NO_3^- in de bodem hangt af van hoeveel er via het product is toegediend en hoe snel de organische N wordt omgezet. Bij toevoeging van cellulose en pleurotis+substraat is de NO_3^- nagenoeg 0, hier wordt de minerale N in de bodem gebruikt door het bodemleven om deze producten met hoge C/N ratio af te breken. Daarom zijn deze producten ook in combinatie met extra kunstmest N aan de bodem toegevoegd. De concentraties NH_4^+ zijn meestal erg laag (Figuur 3.2.1).

Toevoeging van de producten heeft ook duidelijk effect op het bodemleven. Potentieel mineraliseerbare N (PMN) en heet water extraheerbaar koolstof (HWC) zijn als maat voor gemakkelijk afbreekbare (labiele) N en C bepaald. PMN correleert vaak met de microbiële biomassa. HWC in de bodem bestaat voor een groot deel uit polysachariden (slijm) van microbiële oorsprong. Het valt natuurlijk niet helemaal uit te sluiten dat labiele N en C in de producten ook kunnen zorgen voor een verhoging van de PMN en HWC van de bodem. Veel organische producten zorgen voor een toename in PMN waarde (Figuur 3.2.2). Een sterke toename zien we bij haarmeel, verenmeel, zaadmeel, koffie PR pellets, alle chitine-houdende producten (garnaal-, champignon- en insectenreststromen) en verse koemest. Cellulose en pleurotis+substraat hebben alleen hogere PMN waarden als er ook N is toegevoegd. De controle met kunstmest N heeft wel hogere NO_3^- waardes, maar dit leidt niet tot een hogere PMN.

Ook HWC wordt door de meeste producten verhoogd, waarbij we de sterkste toenames zien bij zaadmeel, digestaat plantaardig, humuszuur, koffie PR pellets, pleurotis+substraat (Figuur 3.2.2).



Figuur 3.2.1 NO₃-N en NH₄-N in de grond na toevoeging van verschillende organische producten in drie onafhankelijke experimenten. LSD = 7.7, 8.1 en 7.2 voor NO₃-N en 0.18, 0.15 en 0.65 voor NH₄-N in respectievelijk 2020, 2021 en 2021KB. (n=4)



Figuur 3.2.2 PMN en HWC in de grond na toevoeging van verschillende organische producten in drie onafhankelijke experimenten. LSD = 2.4, 1.5 en 4.6 voor PMN en 31, 19 en 50 voor HWC in respectievelijk 2020, 2021 en 2021KB. (n=4)

3.3 Ziektewering *Pythium ultimum*

3.3.1 Methode

Om de ziektevering van de grond tegen *Pythium* te testen is tuinkers (*Lepidium sativum*) gebruikt. Dit is een zeer vatbaar gewas en is een geschikte snelle biotoets (Bongiorno et al., 2019). Aan de helft van de te testen grond werd *Pythium ultimum* toegevoegd (0,25 g *Pythium* kweek (in gierst)/liter grond). De rest van de grond werd niet besmet met *P. ultimum* om de natuurlijke infectie in de grond te bepalen. Grond werd goed gemengd in een plastic zak en twee dagen weggezet bij 20 °C. Daarna werden per herhaling van elke toevoeging steeds 4 potjes (Ø 6 cm, 95 ml) gevuld met *Pythium* geïnoculeerde grond en 4 potjes met niet geïnoculeerde grond. Op het oppervlak van elk potje werd 0,5 g onbehandelde biologische tuinkers zaden (*Lepidium sativum*, De Bolster, Epe, Nederland) verspreid (Figuur 3.3.1). Alle potjes werden individueel op een schoteltje geplaatst om kruisbesmetting tussen verschillende behandelingen te voorkomen. Potjes werden per blok gerandomiseerd en geïncubeerd in een klimaatcel bij 23/18 °C (dag/nacht) met een daglengte van 16 uur en 60% relatieve luchtvochtigheid. De eerste twee dagen na het zaaien waren de potjes met een plastic folie afgedekt om verdamping te beperken en te zorgen voor een hoge relatieve vochtigheid om kieming van de zaden te bevorderen. Na drie dagen werd het plastic folie verwijderd en de potten kregen indien nodig van onderaf water. Zeven dagen na het zaaien werd het percentage zieke planten per potje geschat (naar oppervlakte) en werd het versgewicht van de bovengrondse delen per pot bepaald door de scheuten met een schaar direct boven de grond af te knippen en te wegen.



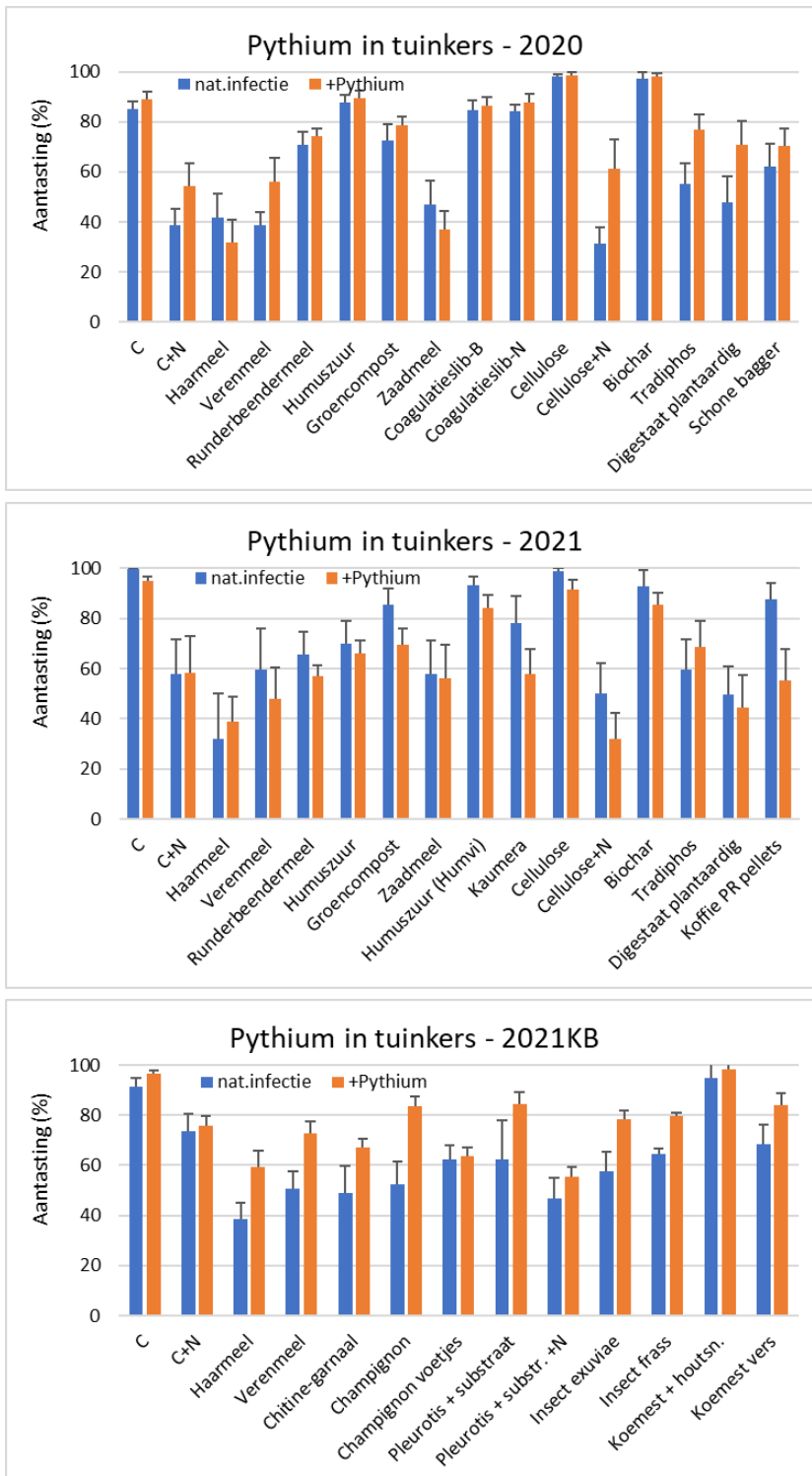
Figuur 3.3.1 Biotoets met *Pythium ultimum* in tuinkers, bepaling percentage zieke planten naar oppervlak en versgewicht van bovengrondse delen; links net na zaai en rechts einde van de proef op dag 7 waarbij de tuinkers in verschillende mate aangetast is.

3.3.2 Resultaten

De Vredepeel grond bleek een natuurlijke infectie met *Pythium* te bevatten die in de controles in de drie proeven voor 85-100% aantasting zorgde (Figuur 3.3.2, blauwe staafjes bij de onbemeste controle C). Deze aantasting was veel hoger dan in eerder uitgevoerde proeven. Uit de aangetaste tuinkersplantjes werd *Pythium* geïsoleerd, die met DNA-analyse als *P. ultimum* geïdentificeerd kon worden. Deze isolaten waren pathogeen op tuinkers en zijn daarom opgeslagen in vloeibare stikstof om in vervolgentoetsen te kunnen gebruiken. Het toegevoegde *Pythium* inoculum daarentegen, zorgde maar voor een beperkte extra aantasting t.o.v. de behandelingen zonder *Pythium*. Het lijkt er dus op dat het gebruikte *Pythium* isolaat niet heel pathogeen meer was. Doordat er zo'n aanzienlijke natuurlijke infectie in de proef aanwezig was, zijn toch heel duidelijke verschillen in aantasting tussen de behandelingen zichtbaar, waarbij de trend tussen met en zonder *Pythium* toevoeging vergelijkbaar was.

Diverse behandelingen in de drie experimenten gaven een lagere aantastingen dan de onbemeste controle (C). Opvallend was dat de toevoeging van kunstmest N (C+N) ook een reductie in aantasting gaf t.o.v. de controle C in alle drie de experimenten (Figuur 3.3.2). Dit betekent dat de mate van aantasting, en dus ook de ziektevering, door N wordt beïnvloed. Veel organische producten gaven een reductie van de aantasting

t.o.v. de controle C. Dit kan dus deels een N effect zijn. Er zijn echter ook producten die een lagere aantasting hebben t.o.v. de controle C+N; dit is dus een extra effect door de organische stof bovenop het pure N effect. Dit geldt voor haarmeel, zaadmeel (2020), cellulose+N (2021), garnalen chitine, champignon voetjes, en pleurotis+substraat+N in één of meer experimenten in de grond waaraan Pythium is toegevoegd (oranje staafjes). Deze producten hebben dus de potentie om ziektevering van de bodem tegen Pythium te verhogen, bovenop het effect dat N heeft.



Figuur 3.3.2 Natuurlijke infectie en aantasting na inoculatie met Pythium in tuinkers in de behandelingen met verschillende organische producten in drie onafhankelijke experimenten. LSD = 8.8, 14.8 en 11.5 voor natuurlijke infectie en 11.1, 13.2 en 5.7 voor infectie na Pythium inoculatie in respectievelijk 2020, 2021 en 2021KB. (n=4)

3.4 Ziektewering *Rhizoctonia solani*

3.4.1 Methode

Ziektewering van de behandelde gronden tegen *R. solani* werd bepaald door de ziekteverspreiding van dit pathogeen in suikerbietenzaailingen te meten. De toets werd uitgevoerd in een klimaatcel bij 23/18 °C (dag-/nachttemperatuur) in rechthoekige tanks (4 x 25 cm) gekoppeld aan een automatisch watergeefstelsel waarmee de vochtspanning van de grond op -50 mbar (pF 1.7) werd ingesteld. Suikerbietenzaden (F763156, met standaard zaadbehandeling hymexazol, thiram en het insecticide Gaucho1; SESVanderHave, Rilland, NL) werden gezaaid in twee rijen met een afstand van 2 cm. In totaal werden 22 zaden per tank gebruikt. Na opkomst van de zaden werd vooraan elke rij het pathogeen toegevoegd. Hiervoor werden vijf haverkorrels, gekoloniseerd met *R. solani* AG2-2IIIB isolaat 12-194a (IRS, Bergen op Zoom, Nederland), 2 cm voor de zaailingen net onder het grondoppervlak aangebracht. Ziekteverspreiding werd tweemaal per week bepaald door de aangetaste zaailingen te scoren (bruinigrijze laesies op de stengel, verwelkte en dode planten). Ziekteverspreiding 21-22 dagen na inoculatie werd gebruikt voor vergelijking van gegevens, aangezien in deze periode in een deel van de tanks de maximale ziekteverspreiding van 22 cm werd bereikt. Foto's van deze toets zijn weergegeven in Figuur 3.4.1 en details van de uitvoering zijn eerder gepubliceerd (Postma en Schilder, 2015).



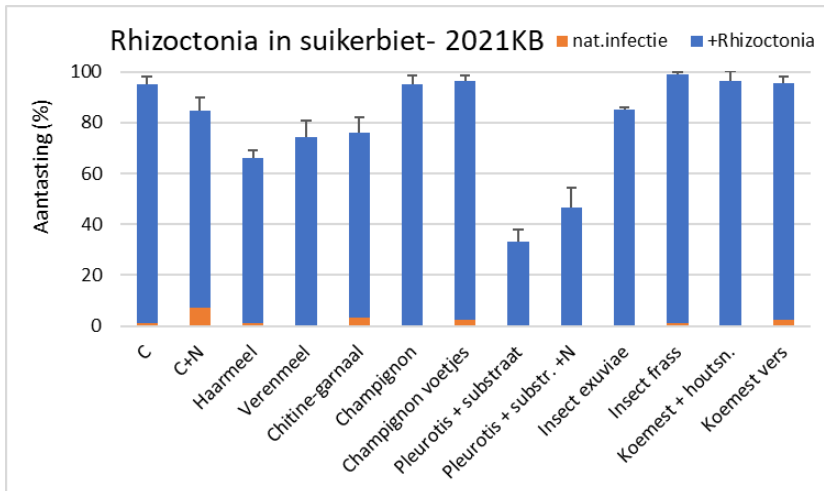
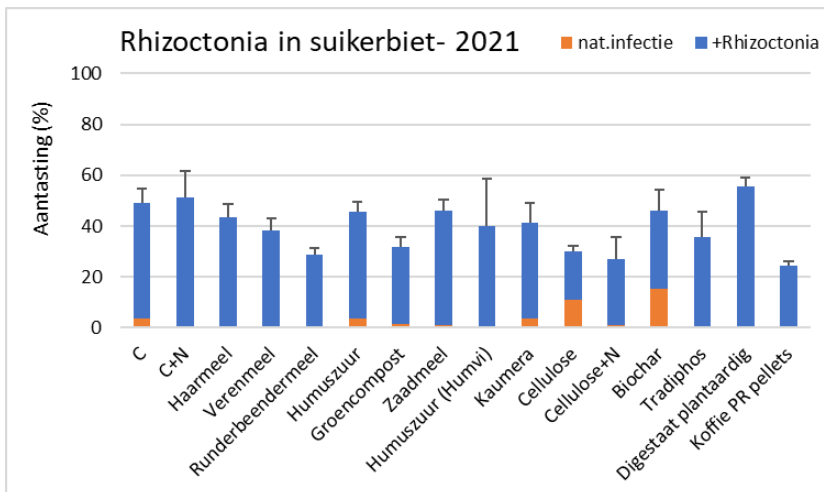
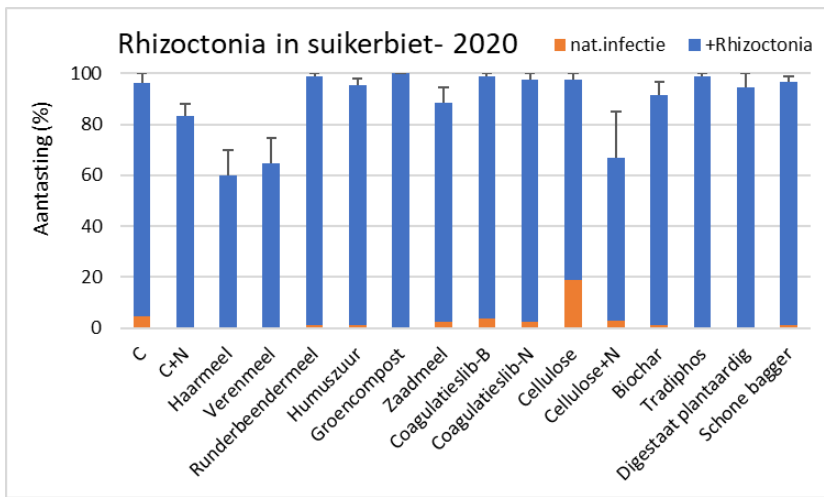
Figuur 3.4.1 Bitoets met *Rhizoctonia solani* AG 2-2IIIB in suikerbiet, bepaling ziekteverspreiding. Van links naar rechts: *Rhizoctonia* inoculum, start infectie vooraan de bak, einde van de proef met flinke ziekteverspreiding.

3.4.2 Resultaten

In de experimenten in 2020 en 2021KB was de aantasting door *Rhizoctonia* 90-100% in de onbemeste controle grond (C) (Figuur 3.4.2). Dit is zoals verwacht voor een ziektegevoelige grond waaraan het pathogeen is toegevoegd. Het experiment in 2021 had echter minder aantasting, slechts 50% aantasting in de controle. Hiervoor was geen duidelijke verklaring.

Uit de vergelijking tussen de controles C en C+N valt het effect van toegevoegde N af te leiden. Er was een geringe reductie in aantasting in C+N t.o.v. C, maar het verschil was niet significant. De producten haarmeel, verenmeel, cellulose+N, pleurotis+substraat en pleurotis+substraat+N gaven een significant lagere aantasting dan de controle C+N in 2020 en/of 2021KB. Deze producten kunnen dus in potentie de ziekteverring van de grond verhogen. De ziekteverring door deze producten is dus meer dan alleen het effect van de aanwezige N in de producten. Garnalen chitine verschilde significant van de controle C, maar niet van de controle C+N.

In experiment 2021 was de *Rhizoctonia* aantasting maximaal 50% terwijl dit in eerdere, vergelijkbare proeven 90 tot 100% is; hierdoor twijfelen we aan de betrouwbaarheid van de resultaten. Producten die een significant lagere aantasting dan de controle C+N gaven waren runderbeendermeel, groencompost, cellulose, cellulose+N en koffie PR pellets, maar niet haarmeel. Deze resultaten zijn afwijkend van eerdere resultaten, waar haarmeel meestal juist wel de *Rhizoctonia* aantasting onderdrukt (Postma et al., 2020).



Figuur 3.4.2 Aantasting in suikerbiet na inoculatie met *Rhizoctonia solani* AG 2-2IIIB in de behandelingen met verschillende organische producten in drie onafhankelijke experimenten. LSD = 17.4, 22.0 (ns) en 11.5 voor de totale *Rhizoctonia* aantasting (inclusief natuurlijke infectie) in respectievelijk 2020, 2021 en 2021KB. (n=4)

3.5 Ziektewering *Streptomyces scabies*

3.5.1 Methode

Een biotoets met aardappelschurft is uitgevoerd in het modelgewas radijs zoals eerder beschreven door Postma et al. (2008). Het bacterieisolaat *Streptomyces scabies* (Thaxter) Lambert and Loria, Scab1 is afkomstig van aardappel en is pathogeen op aardappel en radijs. Het pathogeen werd vermeerderd op PDA + 100 mg l⁻¹ Delvocid (tegen schimmelgroei) gedurende 3 weken bij 25 °C. Daarna werd een sporensuspensie geproduceerd in steriel demiwater met 0.2% Silwet, waarvan een sporensuspensie van 5 x 10⁸ CFU per pot werd aangebracht op de grond. Eén week na zaai van de radijs is de sporensuspensie bovenop de grond gepipetteerd.

In potten van 9x9 cm met circa 1 kg grond werden 5 radijsplantjes gezaaid. Het experiment werd uitgevoerd in een klimaatcel bij 23/18 °C (dag-/nachttemperatuur). Potten kregen twee maal per week water van onderaf op de schotel. De laatste week voor de oogst werd minder water gegeven, omdat symptoom ontwikkeling door droogte gestimuleerd wordt. Alle behandelingen werden in 4-voud uitgevoerd en in random block design in de klimaatcel neergezet. Planten werden na 6 weken geoogst en gewogen (vers gewicht). De ziektescore werd uitgevoerd met de volgende ziekte-index: 0 = geen schurft, 1 = 1 lesie, 2 = <10% oppervlak met schurft, 3 = 10-25% oppervlak met schurft, 4 = 25-50% oppervlak met schurft, 5 = >50% oppervlak met schurft. Het gemiddelde plantgewicht per pot en gemiddelde waarden van de indices werden berekend per pot.

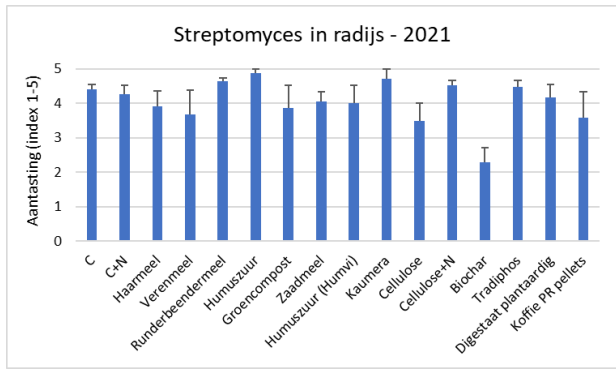
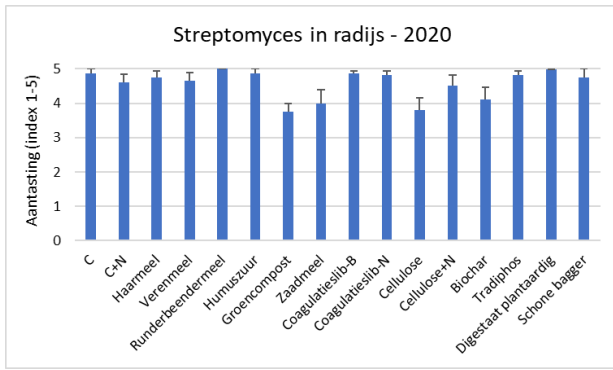


Figuur 3.5.1 Biotoets met *Streptomyces*: inoculum, radijsplantjes en schurftsymptomen op radijs.

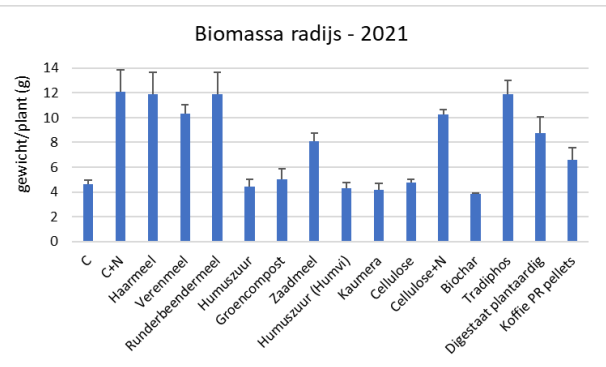
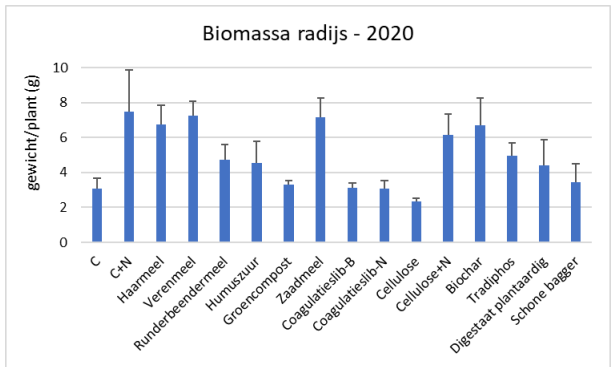
3.5.2 Resultaten

Aantasting door *Streptomyces* wordt in de twee experimenten door een beperkt aantal producten significant verlaagd t.o.v. de controle C+N, namelijk groencompost, cellulose, biochar (Figuur 3.5.2). De reductie door zaadmeel is net niet significant. Beide controles C en C+N hebben gelijke aantasting; de hoeveelheid N heeft dus geen directe invloed op de aantasting.

Streptomyces is een kwaliteitsziekte en heeft geen invloed op het plantgewicht. De biomassa van de radijzen is dus een maat voor hoe goed de planten kunnen groeien in de grond met toegevoegde organische stof. Toediening van N heeft een sterk effect op de groei: de biomassa in de controle C+N is veel hoger dan de biomassa in de controle C zonder toevoeging (Figuur 3.5.3). Veel organische producten hebben een vergelijkbare verhoogde biomassa als de kunstmest toediening in C+N.



Figuur 3.5.2 Aantasting in radijs na inoculatie met *Streptomyces* in de behandelingen met verschillende organische producten in twee onafhankelijke experimenten. $LSD = 0.67$ en 1.02 in respectievelijk 2020 en 2021. ($n=4$)



Figuur 3.5.3 Biomassa (g versgewicht) radijs in behandelingen met verschillende organische producten in twee onafhankelijke experimenten. $LSD = 3.1$ en 2.9 in respectievelijk 2020 en 2021. ($n=4$)

3.6 Ziektewering *Meloidogyne hapla*

3.6.1 Methode

Een toets met de plant-pathogene nematode *Meloidogyne hapla* in sla werd gebruikt om te testen of grond na toediening van organische producten ziekteverend werd. Potten (1,3 l) werden gevuld met 1 liter grond en 1 dag later werden 1200 *M. hapla* J2-larven toegevoegd (5x 3 ml aaltjessuspensie van 80 larven/ml; 2^{de} larvale stadium). Vier dagen later werd per pot één slaplantje van ca. 21-dagen oud geplant (cultivar Wengen, RijkZwaan; biologisch zaad). Planten werden gedurende 6 à 7 weken in de kas verzorgd (18-22 °C). Wekelijks werden de planten bemest met 25 ml 2 g/L Kristalon 'White' (N-P-K-MgO-SO: 15-5-30-3-5 + spoorelementen). Extra slaplanten werden gebruikt om tussentijds te toetsen of de door *M. hapla* geïnduceerde wortelknobbels voldoende ontwikkeld waren om deze goed te kunnen tellen. Aan het einde van de proef werden vers- en drooggewicht van de krop bepaald. De wortels werden schoongespoeld en gewogen, waarna het aantal wortelknobbels per plant geteld werd. Vervolgens werd ook het drooggewicht van de wortels bepaald. Per behandeling waren er 5 herhalingen. Extra potten met zilverzand werden ingezet als controle voor de vitaliteit van het inoculum. Foto's van deze toets zijn weergegeven in Figuur 3.6.1.



Figuur 3.6.1 Biotoets met *Meloidogyne hapla* in sla, bepaling aantal wortelknobbels. Van links naar rechts: bemette grond met slaplanten, spoelen van de wortels, wortelknobbels tellen.

3.6.2 Resultaten

Ziektewering tegen de nematode *M. hapla* is bepaald aan de hand van het aantal wortelknobbels dat per plant gevormd werd nadat deze plant-parasitaire nematoden in een standaard concentratie aan de grond waren toegevoegd. Waarschijnlijk als gevolg van een slechte vitaliteit van het gebruikte inoculum was de aantasting in het experiment van 2020 laag en was het niet mogelijk om een betrouwbare uitspraak te doen over het effect van de producten op de mate van aantasting. De resultaten van deze toets zijn om die reden niet in deze rapportage opgenomen.

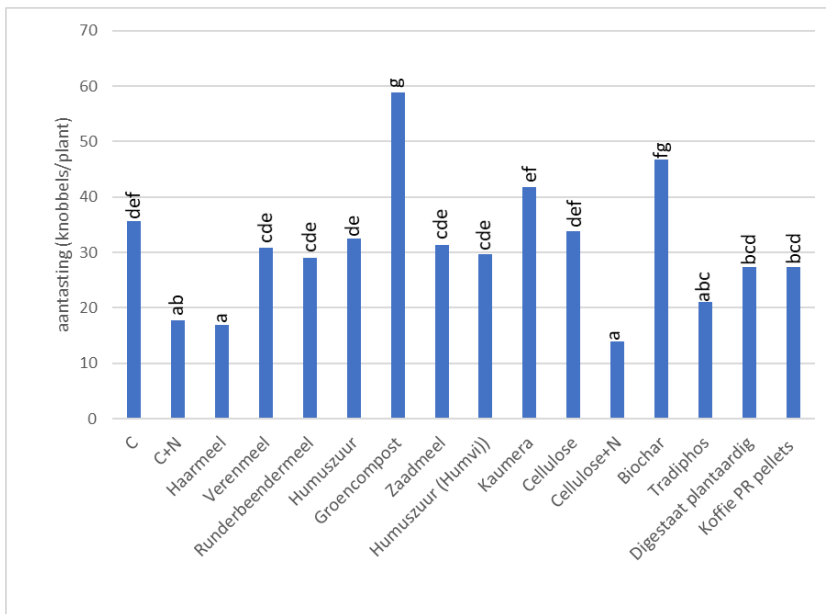
In het experiment van 2021 werden op het referentie object zilverzand gemiddeld ruim 200 knobbels per plant geteld, een inoculum-efficiëntie van ruim 15%. Wat vergelijkbaar is met eerder uitgevoerde biotoetsen waarin de inoculum-efficiëntie tussen de 10 en 20% lag.

De groei van de sla in controle met stikstof (C+N) bleef sterk achter in vergelijking tot de onbehandelde controle (C). In de controle met stikstof werd bemest met CaNO₃. Hoewel nitraat-N veel minder zout is dan ammonium-N, is de concentratie die werd aangebracht vrij hoog, wat mogelijk zoutschade bij de slaplanten heeft veroorzaakt waardoor de groei achterbleef ten opzichte van de controle (C).

De achterblijvende groei was vooral zichtbaar direct na inoculatie en heeft mogelijk effect gehad op de mate van aantasting. Het effect van de producten op de aantasting van *M. hapla* wordt daarom enkel vergeleken met de onbemeste controle (C).

In de slwortelsa in de controle (C) werden gemiddeld 36 knobbels per plant gevormd, veel minder dan in de referentie zilverzand (200 knobbels/plant), wat aangeeft dat grondsoort en/of bodemleven een belangrijke rol speelt in de weerbaarheid van de bodem. Haarmeel, cellulose+N en Tradiphos hebben significant minder aantasting ten opzichte van de controle (C). Groencompost veroorzaakt meer aantasting dan in de controle

(C). De aantasting bij de overige producten verschilt niet significant van de controle (C). De aantasting bij biochar is significant hoger dan bij de meeste andere producten, maar niet significant hoger dan in C.



Figuur 3.6.3 *Meloidogyne hapla* aantasting (wortelknobbels/plant) in sla na inoculatie van dekzandgrond waaraan de verschillende organische producten zijn toegediend, biotoets 2021.

3.7 Ziektewering *Pratylenchus penetrans*

3.7.1 Methode

Een biotoets met de plant-pathogene nematode *Pratylenchus penetrans* en sla werd gebruikt om te testen of grond na toediening van organische producten ziektewerend werd tegen deze nematodensoort. De toets is uitgevoerd met de producten van 2021. In 2020 was de methode onvoldoende geoptimaliseerd.

Potten (9x9x9.5cm) werden gevuld met 500 gram grond en weggezet bij 18 °C. Een dag later werd de grond kunstmatig besmet met een reeks dichtheden *P. penetrans*. Met een Jenkins-pomp werd 5 x 3 ml suspensie per pot gepipetteerd met een aaltjesdichtheid van 0, 100, 200, 400 en 800 J2 larven per ml. Met deze dichthedenreeks kan de schaderelatie (mate van groeiremming) worden bepaald.

Vier dagen na inoculatie van *P. penetrans* zijn er per pot twee zaden van het sla-ras Wenger (Rijk Zwaan, biologisch zaad) gezaaid, op circa 0.5 cm diepte. Na kieming is dit teruggebracht naar één kiemplant per pot. De planten werden gedurende 6 weken verzorgd in een geconditioneerde kas (16/8 h dag-/nachtritme, 22/16°C). Wekelijks werd de helft van de planten bemest met 25 ml 2 g/L Kristalon 'White' (N-P-K-MgO-SO: 15-5-30-3-5 + spoorelementen). De andere helft kreeg geen extra bemesting. De gewasontwikkeling werd gevolgd door vanaf twee weken na zaaien, wekelijks de diameter van de slaplant te meten.

Zes weken na zaai is de gewasproductie gemeten. De slaplant werd kort boven de grond afgesneden en vervolgens werd het vers- en drooggewicht van de krop bepaald. Per object (grond x aaltjesdichtheid x bemest) waren er vier herhalingen. Als referentie-object werd een dichthedenreeks met zilverzand ingezet.



Figuur 3.7.1 Biotoets met *P. penetrans* in sla.

3.7.2 Resultaten

Door de gewasontwikkeling in de potten waaraan *P. penetrans* is toegevoegd te vergelijken met de gewasgroei in de potten zonder dit aaltje wordt een indruk verkregen van de ziektewerendheid van deze producten. Voor elk product is de relatieve groeiremming berekend. Dit is de gemiddelde gewasgroei (kropgewicht) van de sla geteeld in geïnoculeerde grond (alle dichtheden) ten opzichte van het kropgewicht in de niet-geïnoculeerde grond (zie Figuur 3.7.2). Een minder sterke groeiremming ten opzichte van de onbehandelde controle betekent dat het product de weerbaarheid van de grond heeft verhoogd.

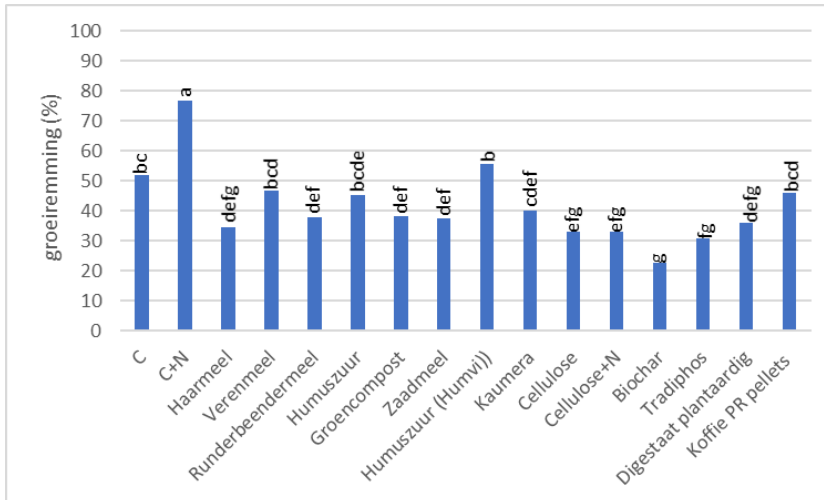
Uit de statistische analyse bleek dat er geen betrouwbare interactie is tussen product x aaltjesdichtheid x bemesting (wel/niet). De gemiddelde groeiremming per product was vervolgens berekend over alle waarnemingen (dichtheden en wel/niet bemest).

Evenals in de *M. hapla* biotoets werd ook in deze biotoets een sterke groeiremming in de controle met stikstof (C+N) waargenomen in vergelijking tot de controle zonder bemesting (C). Zoutschade als gevolg van de CaNO_3 bemesting is de meest waarschijnlijke oorzaak van deze groeiremming (zie biotoets *M. hapla*).

In de controle (C) is de gemiddelde groeiremming als gevolg van de aaltjesbesmetting ruim 50%. De groeiremming bij de producten haarmeel, beenderenmeel, groencompost, zaadmeel, cellulose, cellulose+N, biochar, Tradiphos en plantaardig digestaat is significant minder sterk dan bij de controle (C). Met deze producten lijkt het dus mogelijk om de ziektewering tegen *P. penetrans* te verhogen.

De schade door de aaltjes was het minst sterk in de grond waar biochar aan was toegevoegd. De relatieve groeiremming bij cellulose en cellulose+N zijn niet significant verschillend. De hoeveelheid N lijkt dus geen directe invloed te hebben op de (relatieve) groeiremming.

Er zijn geen producten die een significant sterkere groeiremming laten zien dan de controle (C).

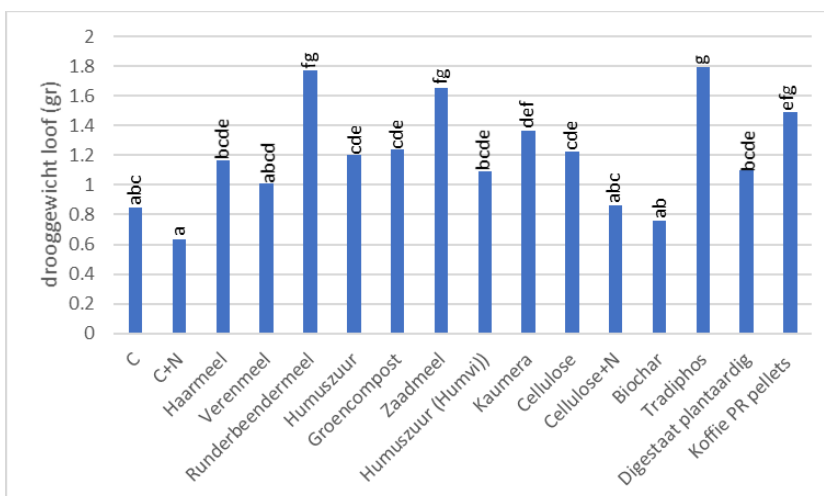


Figuur 3.7.2 Relatieve groeiremming in biotoets met *P. penetrans* in sla. Effect van de producten op groeiremming door *P. penetrans*, relatief t.o.v. niet besmet. Gemiddelden van alle aaltjesdichtheden en met en zonder bijbemesting, biotoets 2021.

Naast een mogelijk effect op de bodemweerbaarheid hebben de (meeste) producten ook een bemestende waarde. De gewasproductie (kropgewicht) van de sla geteeld in de grond zonder aaltjesbesmetting geeft een beeld van het bemestingseffect (vnl. N-levering) van de producten (zie Figuur 3.7.3).

Het gemiddeld krop drooggewicht van de controle met N bemesting (C+N) ligt iets, maar niet statistisch betrouwbaar, lager dan de onbemeste controle (C). Zoals beschreven is dit waarschijnlijk het gevolg van zoutschade.

Met uitzondering van biochar is het kropgewicht bij alle producten hoger dan de onbemeste controle (C). Alleen voor de producten runderbeendermeel, zaadmeel, Kaumera, Tradiphos en koffie PR pellets is het verschil met de onbehandeld ook statistisch significant. Er is geen duidelijke correlatie gevonden tussen gewasproductie en nutriënteninhoud van de producten. De hoogste (lineaire) correlatie is gevonden voor magnesiumgehalte per gram droge stof ($R^2=0,49$).



Figuur 3.7.3 Effect van organische producten op de gewasproductie van sla, biotoets *P. penetrans* in sla (resultaten van het object zonder inoculatie van nematoden, $P_i=0$), biotoets 2021.

3.8 Samenvatting en correlaties tussen ziektevering en bodemparameters

3.8.1 Overzicht bodemanalyses en ziektevering na toevoeging van de producten aan de bodem

De organische toevoegingen en de resultaten uit de verschillende potproeven staan samengevat in Tabel 3.8.1. De resultaten van de ziekteveringstoetsen en de bodemanalyses zijn weergegeven t.o.v. de controles: significant verschillend met de onbemeste controle (C) is licht groen, significant verschillend met de controle met kunstmest N (C+N) is donkergroen. In enkele gevallen heeft de toevoeging van een organisch product een negatief effect t.o.v. de onbemeste controle (C), dit is met roze aangegeven. Resultaten van de bodemanalyses NO_3^- , PMN en HWC en de ziekteveringstoets met *Pythium* zijn voor alle behandelingen in alle proeven beschikbaar. De andere ziekteveringstoetsen zijn niet voor alle organische producten uitgevoerd.

Samenvatting van de effecten van de organische producten op de bodemeigenschappen:

NO_3^- : bijna alle producten verhoogden de N-NO_3^- in de bodem t.o.v. de controle C. Dit is geheel volgens de verwachting, want de producten bevatten N. De hoeveelheid N die via de producten is toegevoegd is berekend en staat in tabellen 3.1.2, 3.1.3 en 3.1.4 vermeld.

PMN: potentieel mineraliseerbare N in de bodem is vrijwel bij alle producten verhoogd t.o.v. de controle C en de controle C+N. Uitzonderingen zijn humuszuur, coagulatieslib-B en -N, maar ook de producten met relatief veel koolstof zoals groencompost, cellulose, en biochar in 2020, en pleurotis+substraat en koemest+houtsnippers in 2021-KB. N in de vorm van kunstmest geeft geen verhoogde PMN, want beide controles C+N en C hadden vergelijkbare waarden. Dit toont aan dat de PMN reageert op organische N en niet op minerale N in de bodem.

HWC: heet-water extraheerbare koolstof wordt ook door het overgrote deel van de producten verhoogd t.o.v. de controle C en de controle C+N. Stikstofrijke producten hadden geen of weinig effect op de HWC, en ook de kunstmest N had geen effect op de HWC. Het is dus duidelijk dat HWC en PMN verschillend reageren op de toegediende organische producten.

Samenvatting van de effecten van de restproducten op de ziektevering:

***Pythium*-biotoets:** diverse producten reduceerden de aantasting t.o.v. de controle C, maar stikstof speelde hierbij mogelijk een rol. Producten die ziekteverender waren dan de controle C+N waren: haarmeel, zaadmeel, digestaat plantaardig, chitine, champignon voetjes, cellulose+N en pleurotis+substraat+N. Diverse andere producten verschilden niet significant van de controle C+N maar wel met de controle C.

***Rhizoctonia*-biotoets:** haarmeel, verenmeel, cellulose+N en pleurotis+substraat reduceerden de aantasting t.o.v. de controle C+N.

***Streptomyces*-biotoets:** groencompost, cellulose en biochar verlaagden de schurft-aantasting t.o.v. de controle C+N.

***Meloidogyne*-biotoets:** haarmeel, Tradiphos en cellulose+N reduceerden het aantal wortelknobbels t.o.v. de controle C. Groencompost gaf een hogere aantasting dan de controle C. Een vergelijking met controle C+N is niet zinvol omdat bij dit object de groei sterk werd geremd, waarschijnlijk als gevolg van zoutschade door de CaNO_3 bemesting.

***Pratylenchus*-biotoets:** haarmeel, runderbeendermeel, groencompost, zaadmeel, biochar, digestaat plantaardig, Tradiphos, cellulose en cellulose+N gaven minder groeireductie door *Pratylenchus* dan de controle C. Ook hier is een vergelijking met controle C+N niet zinvol, omdat bij dit object de groei sterk werd geremd, waarschijnlijk als gevolg van zoutschade door de CaNO_3 bemesting.

Bovenstaande opsomming en het overzicht in Tabel 3.8.1 laten duidelijk zien dat een groot aantal producten de PMN en HWC verhogen. In de ziekteveringstoetsen wordt met name de aantasting door *Pythium* significant verminderd door diverse producten. Effect van de producten op ziektevering door *Rhizoctonia*, *Streptomyces* en *Meloidogyne* komt minder vaak voor, maar hier zijn ook minder toetsen uitgevoerd. Ook groeiremming door *Pratylenchus* wordt door een groot aantal producten gereduceerd t.o.v. de controle C, maar vergelijking met de controle C+N is hier niet mogelijk.

Tabel 3.8.1 Overzicht van alle resultaten van de producten na toevoeging aan de bodem; effecten t.o.v. de controle C in de experimenten 2020, 2021 en 2021KB.

Nr	Exp	Product	NO3-N	PMN	HWC	Pythium	Rhizoctonia	Streptomyces	Biomassa radijs	M. hapla	P. penetrans	Biomassa sla
1	2020	Haar-meel										
1	2021	Haar-meel										
1	2021-KB	Haar-meel										
2	2020	Veren-meel										
2	2021	Veren-meel										
2	2021-KB	Veren-meel										
3	2020	Runderbeender-meel										
3	2021	Runderbeender-meel										
4	2020	Humuszuur										
4	2021	Humuszuur										
5	2020	Groencompost										
5	2021	Groencompost										
6	2020	Zaad-meel										
6	2021	Zaad-meel										
7	2020	Coagulatieslib-B										
8	2020	Coagulatieslib-N										
9	2020	Cellulose										
9	2021	Cellulose										
9+N	2020	Cellulose + N										
9+N	2021	Cellulose + N										
10	2020	BioChar										
10	2021	BioChar										
11	2021	Humuszuur (HumVi)										
12	2021	Kaamera										
13	2020	Tradiphos®										
13	2021	Tradiphos®										
14	2020	Digestaat plantaardig										
14	2021	Digestaat plantaardig										
15	2020	Schone bagger										
16	2021	Koffie PR pellets										
17	2021-KB	Chitine-garnaal										
18	2021-KB	Champignon										
19	2021-KB	Champignon voetjes										
20	2021-KB	Pleurotis + substraat										
20+N	2021-KB	Pleurotis + substraat + N										
21	2021-KB	Insect exuviae										
22	2021-KB	Insect frass										
23	2021-KB	Koemest + houtsnippers										
24	2021-KB	Koemest (vers)										
C+N	2020	C+N										
C+N	2021	C+N										
C+N	2021-KB	C+N										

	geen significant effect
	significant positief t.o.v. C
	significant positief t.o.v. C+N
	significant slechter dan C
	niet gemeten
	te lage Rhizoctonia infectie; of groeiremming i.g.v. sla-gewas

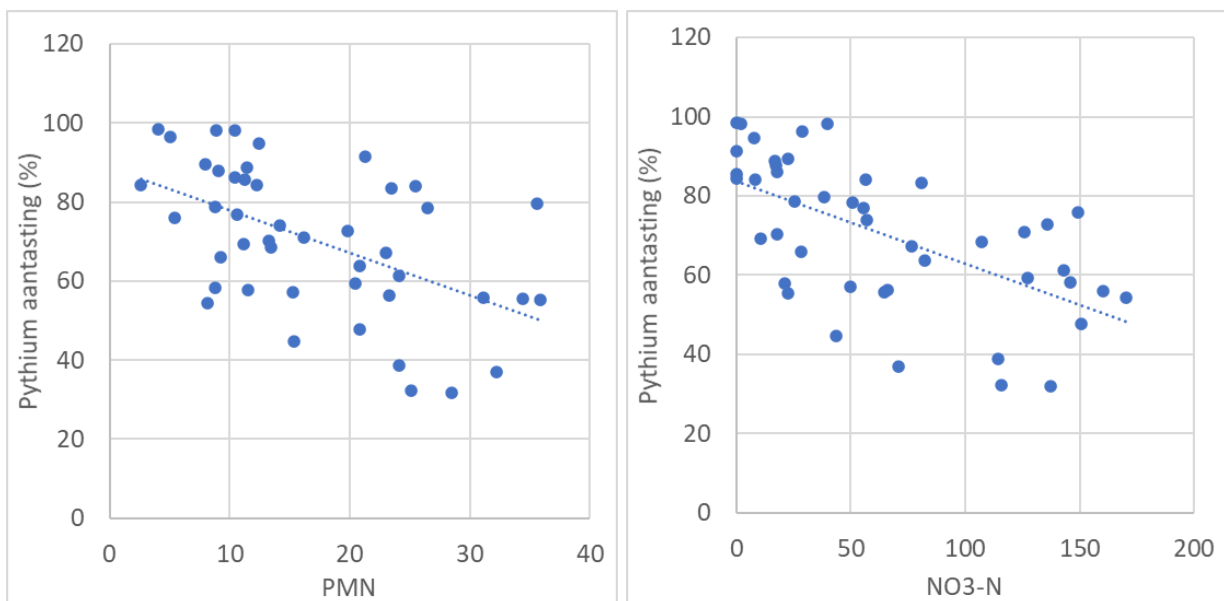
3.8.2 Correlaties tussen bodemparameters en ziektevering

Om te testen of er een verband tussen ziektevering en de gemeten bodemparameters is nadat de producten aan de grond zijn toegevoegd, zijn correlatiecoëfficiënten geanalyseerd. Daarna is voor de sterkst correlerende parameters een regressieanalyse uitgevoerd en zijn de parameters in een figuur weergegeven. Er zijn slechts enkele significante correlaties tussen ziektevering en bodemparameters:

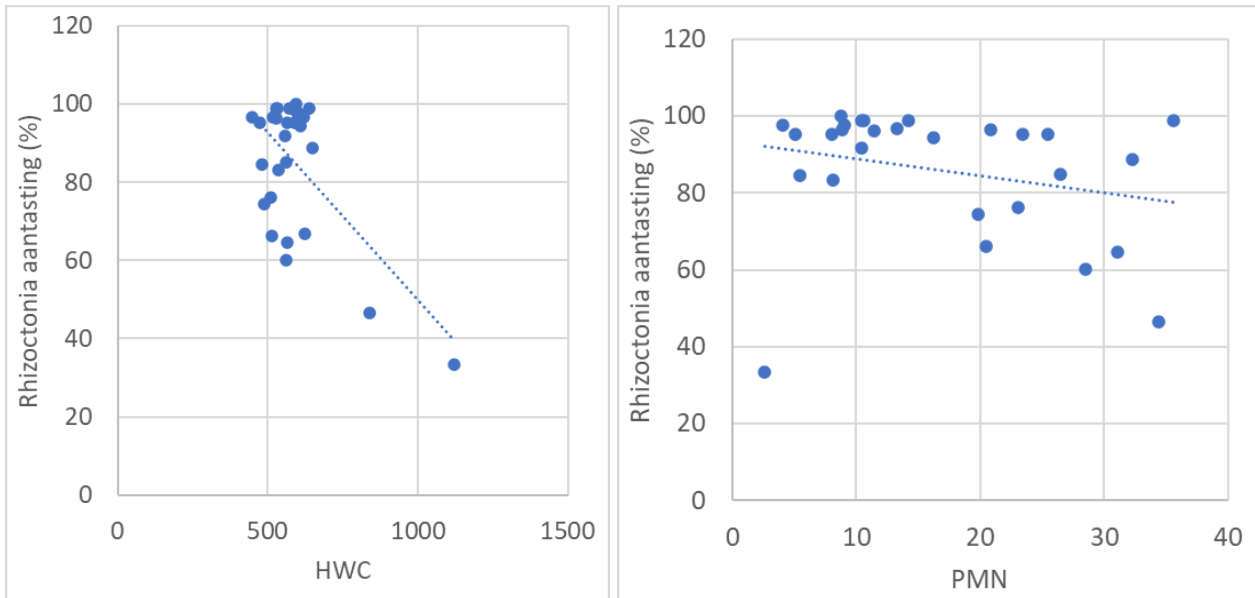
- *Pythium* aantasting in biotoetsen correleert negatief met PMN en met $\text{NO}_3\text{-N}$ in de bodem (Figuur 3.8.1). Dit betekent dat de grond ziekteverender is bij hogere PMN en $\text{NO}_3\text{-N}$ in de bodem.
- *Rhizoctonia* aantasting correleert negatief met HWC, maar dit is vooral het gevolg van twee punten met een veel hogere HWC (Figuur 3.8.2). Zonder die extreme waarden is er geen duidelijke correlatie. De correlatie tussen *Rhizoctonia* aantasting en PMN geeft wel een negatieve trendlijn (Figuur 3.8.2) maar is niet significant.
- Er is geen correlatie tussen *Streptomyces* aantasting en de bodemparameters. Wel correleert radijsgewicht met $\text{NO}_3\text{-N}$ (Figuur 3.8.3); dit geeft dus een beeld van de bemestende waarde van de producten.

Voor de nematoden biotoetsen zijn alleen data van 2021 beschikbaar. De lineaire correlatie tussen de bodemparameters en mate van aantasting (*M. hapla* biotoets) en groeiremming (*P. penetrans* biotoets) is berekend. Voor beide biotoetsen zijn geen sterke correlaties gevonden.

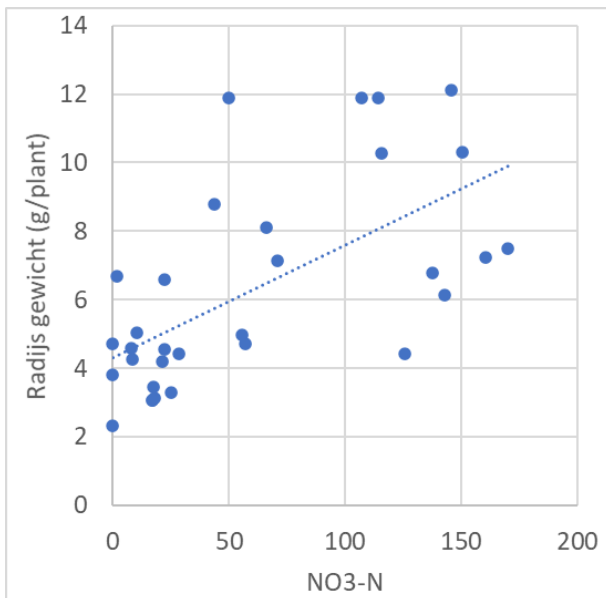
Er is ook naar een verband gekeken tussen de bodemparameters per toegepast organische product met multivariate analyse. Hiervoor is Redundancy Analysis (RDA) gebruikt voor de verschillende pathogenen met behulp van het statistische programma R. De resultaten van deze analyse staan in Bijlage 5. In grote lijnen worden de hierboven beschreven resultaten bevestigd. Het levert echter geen nieuwe inzichten op.



Figuur 3.8.1 *Pythium* aantasting in tuinkers correleert negatief met PMN en $\text{NO}_3\text{-N}$ ($R^2=0.71$ en 0.70 respectievelijk).



Figuur 3.8.2 Rhizoctonia aantasting in suikerbiet correleert negatief met HWC (door 2 extreme waarden) en PMN (experiment 2021 is niet meegenomen omdat er toen te weinig aantasting was) ($R^2=0.75$ en 0.25 respectievelijk).



Figuur 3.8.3 Radijsgewicht correleert met NO_3-N ($R^2=0.57$).

4 Discussie en synthese

4.1 Discussie ziektevering en achterliggende mechanismen

In dit project is gekozen voor een brede screening, waarbij een scala aan uiteenlopende typen organische producten is getoetst op hun vermogen om de ziektevering van de bodem te verhogen. Hiervoor zijn potproeven met vijf verschillende pathogenen gebruikt. Diverse producten hadden het vermogen om de ziektevering van de bodem te verhogen, maar de resultaten verschilden zowel per product als per pathogeen. Hieronder wordt per pathogeen samengevat welke organische producten ziektevering konden stimuleren in de uitgevoerde biotoetsen en hoe zich dit verhoudt tot bestaande kennis over mechanismen van ziektevering.

Pythium

Ziektevering kwam het meest veelvuldig voor in het toetsstelsel met *Pythium* in tuinkers. In 74% van de getoetste combinaties was de ziektevering door het toegevoegde product hoger dan in de controle zonder bemesting (C). Ook de controle met kunstmest (C+N) was ziekteverender dan de controle C, wat aangeeft dat stikstof in deze toets een effect heeft op de ziektevering. Bij 23% van alle combinaties was de grond met toegevoegde product bovendien ziekteverender dan de controle C+N. Hieruit blijkt dus dat de positieve effecten van de producten op ziektevering deels het gevolg zijn van toevoeging van N, maar dat sommige producten een extra effect hebben bovenop dit stikstofeffect. PMN lijkt een belangrijke bodemparameter want het correleert met ziektevering van *Pythium*. Een significante toename van ziektevering t.a.v. *Pythium* correspondeert altijd met een hogere PMN waarde; een hogere PMN waarde is mogelijk een randvoorwaarde voor *Pythium* ziektevering.

Van *Pythium*, met name de kiemplantziekte zoals gebruikt in deze toets, is bekend dat het een pathogeen is dat gevoelig is voor concurrentie. *Pythium* is een opportunist dat kiemplanten en verzwakte planten aantast (Termorshuizen et al., 2020). *Pythium* kan explosief groeien op vers dood organisch materiaal zoals gewasresten, maar als de organische stof het microbiële bodemleven stimuleert kan dit *Pythium* onderdrukken (Termorshuizen et al., 2020). Er wordt daarom aangenomen dat ziektevering van *Pythium* vooral het gevolg is van wat men 'algemene ziektevering' noemt, het effect van concurrentie met de gehele microbiële gemeenschap. Uit een vergelijking van het effect van bodemmaatregelen in verschillende meerjarige veldproeven bleek dat de hoeveelheid labiele (dus voor bodemleven makkelijk opneembare) organische stof in de bodem een rol speelt bij *Pythium* ziektevering, maar dat dit niet de enige factor is (Bongiorno et al., 2019). In de bodemgezondheidsproef te Vredepeel zijn in 2018 diverse organische producten toegevoegd, waarvan chitine, haarmeel en zaadmeel kort na toediening een geringe ziektevering induceerden, maar na de winter was dit effect verdwenen (Kurm et al., 2022). Ook in een onderzoek naar het effect van reststromen toegediend in een veldproef te Vredepeel zorgden haarmeel, verenmeel en door *Agaricus* gekoloniseerd substraat ('champignon substraat') voor ziektevering van *Pythium* t.o.v. de bemeste controle in minimaal één van beide jaren (Postma et al., 2020).

Rhizoctonia

Rhizoctonia ziektevering trad minder frequent op als de *Pythium* ziektevering. Hierbij moet aangemerkt worden dat één experiment was uitgevallen omdat de resultaten niet betrouwbaar waren door te lage ziektedruk in de controles. Slechts vier producten gaven een significante ziektevering t.o.v. de controle C+N: haarmeel, verenmeel, cellulose+N, en pleurotis+substraat (met en zonder N). Chitine-garnaal was ziekteverend t.o.v. de controle C maar verschilde niet van de controle C+N. De ziektevering is niet het gevolg van stikstof toevoeging want beide controles C en C+N zijn niet significant verschillend van elkaar. Ook in het voorafgaande onderzoek met reststromen waren met name toevoegingen met haarmeel, verenmeel en champignon substraat het meest ziekteverend (Postma et al., 2020).

Voor het mechanisme van *Rhizoctonia* ziektevering wordt vooral gewezen naar specifieke micro-organismen of combinaties hiervan (Andreo-Jimenez et al., 2021). Er is echter geen overeenstemming over welke micro-organismen het meest relevant zijn; verschillende onderzoeken wijzen verschillende combinaties van micro-organismen aan die correleren met *Rhizoctonia* ziektevering (Gómez Expósito et al., 2017).

Het huidige onderzoek gaf een zwakke correlatie tussen Rhizoctonia ziektevering en PMN, en het aandeel algemene weerbaarheid door concurrentie met de gehele microbiële gemeenschap lijkt daarmee gering.

Streptomyces

Streptomyces ziektevering trad slechts beperkt op. Alleen groencompost, cellulose en biochar gaven één maal ziektevering. Deze resultaten zijn dus tegengesteld aan de effecten in de Pythium-toets waar deze 3 producten juist geen ziektevering veroorzaakten (zie Tabel 3.8.1). Er is geen correlatie met PMN waarden van de bodem gevonden. Wel zien we dat alle drie de producten een hogere HWC hebben.

Hier speelt dus waarschijnlijk een ander mechanisme van ziektevering dan de algemene ziekteverendheid via PMN zoals bij Pythium. In de literatuur worden lage pH, voldoende vocht en de aanwezigheid van bepaalde micro-organismen (*Streptomyces*, *Trichoderma* spp.) genoemd die de aantasting tegen kunnen gaan. Ziektevering door toediening van verenmeel en ammoniumlignosulfonaat wordt in enkele studies wel genoemd (zie Termorshuizen et al., 2020), maar had in het huidige onderzoek dus geen effect.

Meloidogyne hapla

De aantasting door *M. hapla* werd door enkele producten geremd. Bij toepassing van haarmeel, Tradiphos en cellulose+N werden minder knobbels gevormd dan bij de controle C. In de biotoets zijn geen duidelijke correlaties tussen de mate van ziektevering en een aantal (algemene) bodembioologische en bodemchemische parameters gevonden.

In de literatuur worden verschillende mechanismen genoemd waardoor het toevoegen van organische producten de weerbaarheid van de bodem tegen nematoden kan verhogen en/of de populatie plant-parasitaire nematoden kan onderdrukken. Een van de mechanismen is via het ontstaan van toxische afbraakproducten. Bij de afbraak van verschillende organische producten kunnen nematotoxische verbindingen vrijkomen, zoals organische zuren en stikstofhoudende verbindingen. Zo komt bij de afbraak van chitine-rijke producten ammoniak vrij (Cretoiu et al., 2013, Korthals et al., 2014) en bij de afbraak van zaadmeel komt isothiocyanaat vrij, een (vluchtige) stof die toxisch is voor onder andere nematoden. Of, en in welke mate, dit mechanisme hier (mee)speelt is onduidelijk. In de biotoets werd de grond circa vier weken na het toedienen van de organische producten geïncubeerd met de nematoden. De nematoden werden daardoor niet blootgesteld aan de, deels vluchtige, afbraakproducten die de eerste weken na toedienen van de organische producten werden gevormd.

Ook veranderingen in de fysische- en chemische bodemeigenschappen waardoor bijvoorbeeld de mobiliteit of het traceren van een waardgewas afneemt en effecten op de populatie micro-organismen in de bodem worden genoemd als mogelijke mechanismen van ziektevering tegen nematoden. Bekend is dat toevoegen van bepaalde organische producten aan de bodem de populatie van schimmel- en bacterie-antagonisten van nematoden kan stimuleren (Thoden et al., 2011). Dit zou dus een positief effect op ziektevering van *M. hapla* kunnen hebben. Meer gedetailleerde metingen aan o.a. bodembioologie kunnen mogelijk meer inzicht geven in de mechanismen, cq. organismen, die een rol spelen bij deze ziektevering.

Pratylenchus penetrans

Haarmeel, runderbeendermeel, groencompost, zaadmeel, biochar, digestaat plantaardig, Tradiphos, cellulose en cellulose+N gaven een significante ziektevering (minder groeireductie door *P. penetrans*) t.o.v. de controle C. De ziektevering lijkt niet het gevolg van stikstof toevoeging want de groeiremming bij cellulose is gelijk aan de groeiremming bij cellulose+N. Daarnaast is de relatieve groeiremming, als maat voor ziektevering, berekend. Door de groeiremming t.o.v. de groei in niet besmette grond te bepalen wordt "gecorrigeerd" voor een mogelijk bemestingseffect. In de huidige biotoets zijn er geen duidelijke correlaties gevonden tussen de gemeten bodembioologische parameters en de ziektevering.

Het organische stofgehalte, bodemtextuur en het bodemleven worden wel genoemd als bodemeigenschappen die de weerbaarheid van de grond tegen *P. penetrans* verhogen (van Os, 2009; Termorshuizen et al., 2020). Vanuit de praktijk is bekend dat de schaderempel van diverse gewassen voor *P. penetrans* op duinzandgronden met weinig organische stof veel lager ligt dan op de dekzandgrond met hogere organische stof gehalten. Onderzoek van het voormalige PPO-Bloembollen in Lisse met het voor *P. penetrans* gevoelige gewas lelie heeft laten zien dat de bodembioologie een belangrijke rol speelt bij de weerbaarheid van de bodem. Om welke vormen van bodemleven het gaat is echter nog niet duidelijk. Resultaten over het verhogen van de bodemweerbaarheid door toevoegen van compost zijn wisselend. In sommige studies wordt een aaltjesonderdrukkende werking gevonden (Korthals et al., 2014, van Os, 2009). Anderen melden dat er geen duidelijke effecten zijn van composttoepassing op de schade door *P. penetrans*

(Thoden et al., 2011). Ook textuur (bodempysische eigenschappen) kan effect hebben op de mate van schade door *P. penetrans*. Zo bleek dat door het aandrukken van de bovenste laag van de bouwvoor de schade door *P. penetrans* in zaaiuien kon worden beperkt (resultaten J. Visser).

Algemeen; lange versus korte termijn effecten

In de huidige studie zijn met name de korte-termijn effecten van toegevoegde organische stof getoetst op ziektevering. Het is logisch dat dan vooral makkelijk (snel) afbreekbare organische materialen het bodemleven stimuleren en een effect hebben op de ziektevering. Effecten van stabielere organische stof zullen vooral een rol spelen op langere termijn. Stabiele organische stof draagt o.a. bij aan bodemstructuur, en ook dat is belangrijk voor het functioneren van het bodemleven.

Ziektevering van *Pythium*, *Meloidogyne* en *Pratylenchus* is eerder aangetoond in een meerjarige proef na toevoeging van stabiele organische stof in een organisch arme duinzandgrond (OS trappen van 0.7, 1.4 en 4.0% OS); het bodemleven was hier grotendeels verantwoordelijk voor deze ziektevering (van Os, 2009). In het huidige onderzoek hebben we een heel andere situatie, omdat de gebruikte Vredepeelgrond een hoger organische stofgehalte heeft (ca. 4%) en de reële (toegestane) doses van de toegediende organische producten lager was. De doses van de toegevoegde producten waren daardoor slechts een fractie van de reeds aanwezige OS in de bodem.

4.2 Relevante producteigenschappen voor ziektevering

Toename van ziektevering van de bodem na het toevoegen van organische producten verschilde tussen de vijf getoetste pathogenen en is dus pathogeen-specifiek. Correlaties tussen producteigenschappen en ziektevering moeten daarom per pathogeen bekeken worden. Een andere complicerende factor bij het zoeken naar correlaties is dat de organische producten in verschillende hoeveelheden aan de bodem zijn toegediend. Dit was nodig omdat we een constante dosis stikstof wilden toevoegen aan de grond, terwijl de producten verschillende gehalten aan stikstof bevatten. Soms was er om een andere reden een lagere dosering toegepast, bijvoorbeeld bij producten met hoog P- of hoog vochtgehalte. De overwegingen voor de gebruikte dosering staan in paragraaf 3.1 beschreven, waarbij de tabellen 3.1.2-3.1.4 aangeven hoeveel product, N, P, K en OS is toegediend per kg grond. Om de ziektevering tussen de experimenten van de verschillende jaren te vergelijken is de aantasting in verhouding tot de controle C gebruikt.

Pythium

Aantasting in de biotoets met *Pythium* correleerde met een tweetal bodemmetingen zoals ook al was beschreven in paragraaf 3.8.2: minder aantasting door *Pythium* bij hogere PMN waarden ($R^2 = 0.56$) en bij hogere N-NO₃ gehalten in de bodem ($R^2 = 0.65$). Dit suggereert dat stikstof en een actief bodemleven een rol spelen bij de ziektevering. Correlaties met producteigenschappen die ook wijzen op een rol voor stikstof zijn: minder *Pythium* aantasting bij lagere C/N ratio ($R^2 = 0.59$), hoger Nt ($R^2 = 0.58$), en meer toegediende Nt ($R^2 = 0.64$). Een andere producteigenschap die correleerde met minder aantasting was een hoger zwavelgehalte ($R^2 = 0.47$).

Rock-Eval metingen die correleerden met minder aantasting zijn: minder aantasting bij hogere A-sum ($R^2 = 0.58$), met de beste verklaring door fracties A2 ($R^2 = 0.58$) en A3 ($R^2 = 0.52$). Dit zijn respectievelijk resistente biopolymeren en onrijpe geopolymeren die tijdens de pyrolyse vrij komen tussen 340 en 460 °C (zie Bijlage 2).

Rhizoctonia

Experiment 2021 is niet meegenomen in de analyse vanwege de geringe *Rhizoctonia* aantasting.

In tegenstelling tot paragraaf 3.8.2 waar de bodemmetingen vergeleken zijn zonder ze te corrigeren voor de controle C, zien we bij de relatieve waarden van *Rhizoctonia* aantasting t.o.v. de controle C wel een correlatie tussen aantasting door *Rhizoctonia* en twee bodemmetingen: namelijk minder aantasting bij hogere PMN ($R^2 = 0.69$) en bij hogere N-NO₃ ($R^2 = 0.76$). Dit suggereert dat stikstof en een actief bodemleven een rol spelen bij de ziektevering. Correlaties met producteigenschappen die ook wijzen op een rol voor stikstof zijn: minder aantasting bij lagere C/N ratio ($R^2 = 0.54$), lagere EOS/Nt ($R^2 = 0.58$), hoger Ntgehalte ($R^2 = 0.89$) en meer toegediend Nt ($R^2 = 0.61$).

Andere producteigenschappen die correleren met minder aantasting zijn: hoger OS-gehalte ($R^2 = 0.66$), meer toegediend fosfaat ($R^2 = 0.57$), hoger zwavelgehalte ($R^2 = 0.57$) en een lager magnesiumgehalte ($R^2 = 0.61$).

Rock-Eval metingen die correleren met minder aantasting zijn: minder aantasting bij hogere A-sum ($R^2 = 0.75$), met de beste verklaring door fracties A1 ($R^2 = 0.80$) en A2 ($R^2 = 0.77$). Dit zijn respectievelijk labiele biopolymeren en resistente biopolymeren die tijdens de pyrolyse vrij komen tussen 200 en 400 °C (zie Bijlage 2). Minder aantasting correleerde ook met een hogere S3 waarde ($R^2 = 0.54$). S3 zijn CO₂ en S3' CO die geproduceerd worden in pyrolyse, dus met zuurstof uit het monster zelf. S3 zou indicatief kunnen zijn voor complexe, heterogene humine-achtige substanties.

Streptomyces

In de Streptomyces biotoets werd geen correlatie met andere bodemmetingen gevonden, er was dus geen correlatie met N-NO₃ of PMN zoals bij Pythium en Rhizoctonia.

Ook de bodemeigenschappen die correleerden met minder aantasting door Streptomyces verschillen met de vorige twee pathogenen: minder aantasting bij een hoger C/N ratio ($R^2 = 0.58$), meer toegediende OS ($R^2 = 0.64$) en bij een lager magnesium gehalte in het product ($R^2 = 0.43$).

Rock-Eval metingen die correleerden met minder aantasting zijn: minder aantasting bij een hogere PI ($R^2 = 0.49$), hoger TOC gehalte ($R^2 = 0.59$), en hogere S1 en S2 waarden ($R^2 = 0.61$ en 0.54). S1 en S2 zijn de hoeveelheid gegenereerde koolwaterstoffen bij pyrolyse tot 600 °C (zie Bijlage 2). Voor de reductie van Streptomyces aantasting is dus vooral de hoeveelheid toegediende organische (kool)stof (gemeten als OS, TOC, S1 en S2) relevant, en niet de stikstof in de toegediende producten zoals bij de vorige 2 pathogenen.

Meloidogyne hapla

Er is slechts een experiment met ziektevering uitgevoerd waardoor er dus minder data beschikbaar zijn voor het analyseren van correlaties. De hoeveelheid zwavel in het product (S/g droge stof) gaf in de biotoets de sterkste correlatie met de aantasting ($R^2 = 0.36$).

Pratylenchus penetrans

Er is slechts een experiment met ziektevering uitgevoerd waardoor er dus minder data beschikbaar zijn voor het analyseren van correlaties. In de biotoets correleerde de hoeveelheid toegediende fosfaat het sterkst met de mate van groeiremming ($R^2 = 0.29$).

Samenvattend – synthese producteigenschappen

De hierboven beschreven correlaties zijn dus niet persé causaal en kunnen op toeval berusten. Correlaties kunnen wel gebruikt worden als een indicatie voor op te sporen verbanden, vooral als er een logische verklaring voor gegeven kan worden of als het verband eerder beschreven is.

Producteigenschappen die correleerden met ziektevering in één of meer biotoetsen waren aan stikstof gerelateerde parameters zoals N-gehalte en een lagere C/N ratio. Voor Streptomyces gold juist dat een hogere C/N ratio correleerde met ziektevering. Ook fosfaat- en zwavelgehalten in de producten correleerden soms met ziektevering. Anders dan verwacht, correleerde respiratiesnelheid niet met ziektevering. Opmerkelijk was ook dat kalium, wat een belangrijke meststof is voor planten, geen invloed had op ziektevering. Per biotoets leken verschillende organische stoffracties gemeten met Rock-Eval pyrolyse relevant te zijn voor ziektevering. Een complicatie bij het bepalen van correlaties tussen producteigenschappen en ziektevering van de bodem is dat niet alle producten in dezelfde concentratie aan de bodem konden worden toegevoegd, en dat effecten veelal dosis afhankelijk zijn.

4.3 Conclusies

Vanuit verschillende perspectieven wordt er gewerkt aan het vergemakkelijken van de keuze voor de juiste organische producten als toevoeging aan de bodem om bepaalde doelen te bereiken. Twee voorbeelden hiervan zijn: (1) organische stof keuzetool van NMI die N, P, K en OS beschikbaarheid in producten aan de gewasbehoefte koppelt (Postma et al., 2020) en (2) een beoordelingskader voor organische bemestingsproducten dat zich richt op de karakterisering en beoordeling van dergelijke producten (Schoumans et al., 2019). Maar in beide gevallen is er geen aandacht voor effecten van organische producten op eventuele stimulering van ziektevering van de bodem. In de literatuurstudie van Termorshuizen en Postma (2021) die aan het begin van dit project werd uitgevoerd, is de informatie over effecten van 15 organische reststoffen op een rijtje gezet, waarbij er wel naar ziektevering werd gekeken.

Echter, uit deze studie blijkt dat de kennis over het effect van deze organische materialen op ziektevering nog zeer beperkt is en bovendien vaak moeilijk te generaliseren.

In het huidige onderzoek is een brede screening uitgevoerd met een scala aan uiteenlopende typen organische producten die op hun vermogen om de ziektevering van de bodem te verhogen werden getoetst. Hiervoor zijn potproeven (zgn. biotoetsen) met vijf verschillende plant-pathogenen gebruikt. Diverse producten hadden het vermogen om de ziektevering van de bodem te verhogen, maar de resultaten verschilden zowel per product als per pathogeen. Het effect van organische producten is dus pathogeen-specifiek. Het doel van de variatie in de getoetste organische producten was om inzicht in de producteigenschappen te krijgen die tot ziektevering kunnen leiden. Het aantal gebruikte producten, de verschillende productanalyses en de verschillende biotoetsen was achteraf gezien erg ambitieus, maar het leverde wel een aantal indicaties op over voor ziektevering relevante producteigenschappen. Voor één of meer pathogenen waren N gehalte, C/N ratio, zwavel- of fosfaatgehalte relevant. Ook correleerden bepaalde organische stoffracties gemeten met Rock-Eval pyrolyse met ziektevering (zie paragraaf 4.2). Deze nieuwe techniek biedt zodoende mogelijkheden om in het inzicht in de effecten van verschillende organische stoffracties op ziektevering te vergroten.

De uitgevoerde biotoetsen geven een indicatie voor ziektevering op korte termijn. Voor activering van het bodemleven, en daarmee mogelijk ook ziektevering, zijn vooral de afbreekbare componenten in de organische producten relevant; je zou dit de actieve organische stof (AOS) kunnen noemen. Dit als tegenstelling tot de hoeveelheid effectieve organische stof (EOS) die één jaar na toediening nog over is in de bodem. Er valt daarom te verwachten dat met name organische meststoffen met lagere EOS/N en/of EOS/P ratio's kansrijk zijn als voor stimulering van ziektevering. Bodemverbeteraars zijn stabiel en hebben daardoor op korte termijn minder impact op bodemleven en ziektevering. Kalium lijkt niet relevant te zijn voor ziektevering, hoewel het wel belangrijk is als meststof voor gewasgroei. Ondanks dat er nog veel kennis ontbreekt over het stimuleren van ziektevering van de bodem, willen we op basis van de verkregen informatie in het huidige project toch een aanzet geven voor de beoordeling van organische producten die kunnen bijdragen aan ziektevering.

Eerste aanzet voor criteria voor organische producten i.r.t. het verhogen van ziektevering:

1. Geen schadelijke componenten voor te gebruiken doelstelling (onkruidzaden, plantenziekten, humaan pathogenen, verontreinigingen, toxische stoffen waaronder zware metalen, PAK, PFAS).
2. Samenstelling: voldoende OS in het product (drempelwaarde).
3. Nutriëntensamenstelling: vooral N (laag C/N-ratio) lijkt van belang voor ziektevering, terwijl ook fosfaat- en zwavelgehalte van het organische product gunstige effecten kunnen hebben.
4. Activering bodembioologie voor algemene ziektevering: PMN van de bodem is hiervoor tot nu toe de beste indicator gebleken. Producten behorende tot de categorie organische meststoffen met lagere EOS/N en/of EOS/P ratio's zijn kansrijke kandidaten voor stimulering van ziektevering.
5. Specifieke ziektevering: dit is pathogeen-afhankelijk, zodat hier niet één algemene regel voor te geven is. Een voorbeeld: van chitine- en keratine-rijke producten is aangetoond dat ze ziektevering tegen een aantal pathogenen kunnen verhogen. Rock-Eval pyrolyse gaf aanwijzingen voor organische stoffracties die correleerden met ziektevering tegen bepaalde pathogenen en kan zodoende in de toekomst bijdragen aan meer inzicht op dit vlak.

Of ziektevering ook daadwerkelijk optreedt is afhankelijk van vele andere omstandigheden. Zo zal een bodem met weinig organische stof sterker reageren op toegevoegde organische producten dan een grond die al een optimaal gehalte aan organische stof heeft. Ook is timing van de toediening van organische producten heel belangrijk.

Voor lange-termijn effecten op ziektevering is vooral bodemstructuur van groot belang. Verschillende bodemgebonden pathogenen geven meer schade in compacte, natte bodems waar zuurstof tekort kan optreden (Termorshuizen et al., 2020). "Bodemverbeteraars" met merendeels stabiele OS en dus een hoog EOS gehalte zullen de bodemstructuur verbeteren en zorgen voor beluchting, afwatering en koolstofvastlegging, en kunnen dus op langere termijn de ziektevering van een bodem verbeteren. Dat is echter niet in kortlopende potproeven te bepalen. Hiervoor zijn veldproeven nodig, al dan niet met herhaalde toepassingen, waarbij het lange-termijn effect van dergelijke toedieningen getest wordt.

Samenvattend kan gesteld worden dat in het huidige onderzoek diverse van de getoetste organische producten de ziektevering van de bodem stimuleerden in potproeven tegen één of meer van de onderzochte pathogenen. Dit zegt vooral iets over de korte termijn effecten van organische producten op de ziektevering van de bodem. De effecten waren pathogeen-specifiek, zodat er niet één enkele producteigenschap kan worden aangewezen die voor de ziektevering in alle systemen zorgt. Vooral C/N ratio, stikstof-, fosfaat- en zwavelgehalte waren voor ziektevering relevante producteigenschappen. Daarnaast gaf de nieuw toegepaste Rock-Eval pyrolyse aanwijzingen dat de te onderscheiden organische stoffracties in de producten meer inzicht kunnen geven in ziektevering van enkele van de getoetste pathogenen. Als bodemparameter is de potentieel mineraliseerbare stikstof (PMN) vooralsnog het meest indicatief voor ziektevering.

Literatuur

- Abbott, L.K., Macdonald, L.M., Wong, M.T.F., Webb, M.J., Jenkins, S.N., Farrell, M., 2018. Potential roles of biological amendments for profitable grain production - A review. *Agric. Ecosyst. Environ.* 256, 34-50.
- Andreo-Jimenez, B., Schilder, M.T., Nijhuis, E.H., te Beest, D.E., Bloem, J., Visser, J.H.M., van Os, G., Brolsma, K., de Boer, W., Postma, J., 2021. Chitin- and keratin-rich soil amendments suppress *Rhizoctonia solani* disease via changes to the soil microbial community. *Appl. Environ. Microbiol.* 87, e00318-00321.
- Bonanomi, G., Antignani, V., Capodilupo, M., Scala, F., 2010. Identifying the characteristics of organic soil amendments that suppress soilborne plant diseases. *Soil Biol. Biochem.* 42, 136-144.
- Bongiorno, G., Postma, J., Bünemann, E.K., Brussaard, L., de Goede, R.G.M., Mäder, P., Tamm, L., Thuerig, B., 2019. Soil suppressiveness to *Pythium ultimum* in ten European long-term field experiments and its relation with soil parameters. *Soil Biology and Biochemistry* 133:174-187.
- Canali, S., Benedetti, A., 2006. Soil nitrogen mineralization. In: Bloem, J., Hopkins, D.W., Benedetti, A. (Eds.), *Microbiological Methods for Assessing Soil Quality*. CABI, Wallingford, UK, pp. 23-49.
- Clocchiatti, A., Hannula, S.E., Rizaludin, M.S., Hundscheid, M.P.J., Klein Gunnewiek, P.J.A., Schilder, M.T., Postma, J., de Boer, W. 2021. Impact of cellulose-rich organic soil amendments on growth dynamics and pathogenicity of *Rhizoctonia solani*. *Microorganisms* 9, 1285.
<https://doi.org/10.3390/microorganisms9061285>
- Cretoiu, M.S., Korthals, G.W., Visser J.H.M., and van Elsas, J.D., 2013. Chitin amendment increases soil suppressiveness toward plant pathogens and modulates the Actinobacterial and Oxalobacteraceal communities in an experimental agricultural field. *Applied and Environmental Microbiology* 79 (17), 5291-5301. <http://aem.asm.org/content/79/17/5291>
- Di-Giovanni, C., Disnar, J. R., Bichet, V., Campy, M., & Guillet, B. (1998). Geochemical characterization of soil organic matter and variability of a postglacial detrital organic supply (Chaillexon Lake, France). *Earth Surface Processes and Landforms: The Journal of the British Geomorphological Group*, 23(12), 1057-1069.
- Di-Giovanni, C., Disnar, J. R., Campy, M., & Macaire, J. J. (1999). Variability of the ancient organic supply in modern humus. *Analisis*, 27(5), 398-401.
- Disnar, J. R., & Trichet, J. (1984). The influence of various divalent cations (UO₂²⁺, Cu²⁺, Pb²⁺, Co²⁺, Ni²⁺, Zn²⁺, Mn²⁺) on the thermally induced evolution of organic matter isolated from an algal mat. *Organic geochemistry*, 6, 865-874.
- Disnar, J.R., Guillet, B., Keravis, D., Massif, R. & Di Giovanni, C. 2000. Soil organic matter (SOM) characterization by Rock-Eval pyrolysis: main classical parameters. In: *Entering the Third Millennium with a Common Approach to Humic Substances and Organic Matter in Water, Soil and Sediments (Proceedings of the International Humic Substances Society 10)*, pp. 1211-1214. Association pour la Promotion du Génie des Procédés, Toulouse.
- Espitalie, J., Laporte, J.L., Madec, M., Marquis, F., Leplat, P., Paulet, J. and Boutefeu, A. (1977). Rapid Method for Characterizing the Source Rocks, Their Petroleum Potential and Their Degree of Evolution. *Review of the French Petroleum Institute*, 32, 23-42.
- Espitalie, J., Deroo, G. and Marquis, F. (1985). La Pyrolysis Rock-Eval Etses Applications. *Oil and Gas Science and Technology (OGST), Revue d'IFP, Part I*, 40, pp. 563-578, *Part II*, 40, pp. 755-784, *Part III*, 41, pp. 73-89.
- Ghani, A., Dexter, M., Perrott, K.M., 2003. Hot-water extractable carbon in soils: a sensitive measurement for determining impacts of fertilisation, grazing and cultivation. *Soil Biol. Biochem.* 35:1231-1243.
- Gómez Expósito, R., De Bruijn, I., Postma, J., Raaijmakers, J.M., 2017. Current insights into the role of rhizosphere bacteria in disease suppressive soils. *Frontiers in Microbiology* 8, 2529.
- Grigatti, M., Pérez, M.D., Blok, W.J., Ciavatta, C., Veecken, A. 2007. A standardized method for the determination of the intrinsic carbon and nitrogen mineralization capacity of natural organic matter sources. *Soil Biology and Biochemistry* 39:1493-1503.

- Keeney, D.R., Nelson, D.W., 1982. Nitrogen - inorganic forms. In: Black, C.A., Evans, D.D., White, J.L., Ensminger, L.E., Clark, F.E. (Eds.), "Methods of Soil Analysis", Part 2. Am Soc Agron, Madison WI, pp. 682-687.
- Korthals, G.W., Thoden, T.C., van de Berg, W., Visser, J.H.M., 2014. Long-term effects of eight soil health treatments to control plant-parasitic nematodes and *Verticillium dahliae* in agro-ecosystems. *Applied Soil Ecology* 76, 112-123. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apsoil.2013.12.016>
- Kurm, V., Visser, J., Postma, J., Korthals, G.W., 2022. Bodemgezondheidproef 2017-2020; Langjarig onderzoek naar het effect van verschillende maatregelen en teeltsystemen op het bodemmicrobioom en ziektevering. WR rapport. <https://edepot.wur.nl/564744>
- Lafargue, E., Marquis, F. and Pillot, D. (1998). Applications of Rock-Eval 6 in the Exploration and Production of Hydrocarbons, and in the Studies of Soil Contamination. *Oil & Gas Science and Technology, Review of the French Petroleum Institute*, 53, 421-437.
- LNV (2018). Landbouw, natuur en voedsel: waardevol en verbonden | Nederland als koploper in kringlooplandbouw, september 2018, 39 p.
- Lüniger, G., & Schwark, L. (2002). Characterisation of sedimentary organic matter by bulk and molecular geochemical proxies: an example from Oligocene maar-type Lake Enspel, Germany. *Sedimentary Geology*, 148(1-2), 275-288.
- Moolenaar, S.W., A. Veeken en R. Postma, 2002. Toetsen en normeren stabiliteit van bodemverbeteraars. Rapport 844.02, NMI, Wageningen, 48 pp.
- Postma, J., Schilder, M.T., 2015. Enhancement of soil suppressiveness against *Rhizoctonia solani* in sugar beet by organic amendments. *Applied Soil Ecology* 94:72-79.
- Postma, J., Schilder, M.T., Bloem, J., van Leeuwen-Haagsma, W.K., 2008. Soil suppressiveness and functional diversity of the soil microflora in organic farming systems. *Soil Biology and Biochemistry* 40:2394-2406.
- Postma, J., Schilder, M., Bloem, J., Visser, J., van Os, G., Broelsma, K., Hoogmoed, M., Postma, R. en Korthals, G., 2020. *Sturen op bodemweerbaarheid door toediening van organische materialen; TKI-AF-15261*. Wageningen Research, Rapport WPR-1024. <https://doi.org/10.18174/536631>
- Postma, R., Ros, G.H., 2016. Bepalen van stabiliteit van GFT- en groencomposten. Rapport 1580, NMI, Wageningen, 21 pp.
- Schoumans, O.F., Ehler, P.A.I., Hanegraaf, M.C., Römkens, P.F.A.M., Pustjens, A.M., Koeijer, T.J. de, Boer, H.C. de, Nienhuis, C., Kortstee, H., Smit, A.B., 2019. Development of a conceptual framework to evaluate organic fertilisers: assessment on soil quality and agronomic, environmental and economics aspects. WEnR Rapport 2964.
- Sebag, D., Disnar, J. R., Guillet, B., Di Giovanni, C., Verrecchia, E. P., & Durand, A. (2006). Monitoring organic matter dynamics in soil profiles by 'Rock-Eval pyrolysis': bulk characterization and quantification of degradation. *European journal of soil science*, 57(3), 344-355.
- Sebag, D., Verrecchia, E. P., Cécillon, L., Adatte, T., Albrecht, R., Aubert, M., ... & Trombino, L. (2016). Dynamics of soil organic matter based on new Rock-Eval indices. *Geoderma*, 284, 185-203.
- Termorshuizen, A.J., Molendijk, L.P.G., Postma, J. 2020. Beheersing van bodempathogenen via bodemgezondheidsmaatregelen: Een overzicht van de beschikbare kennis voor een selectie van akkerbouwgewassen met hun bijbehorende bodemziekten. Rapport WPR-955. <https://doi.org/10.18174/513197>
- Termorshuizen, A.J., Postma, R., 2021. Effecten van toevoer van organische stof op bodemgezondheid en bodemvruchtbaarheid. Aad Termorshuizen Consultancy en NMI. 69 pp. <https://edepot.wur.nl/542271>
- Termorshuizen, A.J., van Rijn, E., van der Gaag, D.J., Alabouvette, C., Chen, Y., Lagerlöf, J., Malandrakis, A.A., Paplomatas, E.J., Rämert, B., Ryckeboer, J., Steinberg, C., Zmora-Nahum, S., 2006. Suppressiveness of 18 composts against 7 pathosystems: Variability in pathogen response. *Soil Biol. Biochem.* 38, 2461-2477.
- Thoden, T.C., Korthals, G.W., Termorshuizen, A., 2011. Organic amendments and their influences on plant-parasitic and free-living nematodes: a promising method for nematode management? *Nematology* 13(2), 133-153.
- Urta, J., Alkorta, I., Garbisu, C., 2019. Potential benefits and risks for soil health derived from the use of organic amendments in agriculture. *Agronomy* 9, 542. <https://doi.org/10.3390/agronomy9090542>
- Van Geel, W., de Haan, J., Hanegraaf, M., Postma, R., 2019. Doorontwikkeling classificatieschema organische-stofrijke meststoffen - Deskstudie in het kader van de PPS Beter Bodembeheer / Effecten van organische stof. Rapport WPR-830. <https://doi.org/10.18174/520309>

Van Os, G., 2009. Topsoil+, Bodemweerbaarheid. Presentatie <https://edepot.wur.nl/50986>

Veeken A., F. Adani, D. Fanguero & L. Stoumann Jensen (2017). The value of recycling organic matter to soils - Classification as organic fertiliser or organic soil improver. Publication of EIP-Agro Focus Group on nutrient cycling. 9 pp. https://ec.europa.eu/eip/agriculture/sites/agriculture/files/fg19_minipaper_5_value_of_organic_matter_en.pdf

Weller, D.M., Raaijmakers, J.M., Gardener, B.B.M., Thomashow, L.S., 2002. Microbial populations responsible for specific soil suppressiveness to plant pathogens. *Annu. Rev. Phytopathol.* 40, 309-348.

Bijlage 1 Eigenschappen organische producten – zware metalen

Tabel B1.1 Eigenschappen organische producten – zware metalen (per kg DS) (Eurofins compost-analyse).

Nr	Product	Cadmium (mg/kg)	Chroom (mg/kg)	Koper (mg/kg)	Kwik (mg/kg)	Nikkel (mg/kg)	Lood (mg/kg)	Zink (mg/kg)	Arseen (mg/kg)
1	Haarmeel 2020	<	<	17	<	<	<	174	<
1	Haarmeel 2021	<	<	12	<	<	<	157	<
1	Haarmeel 2021KB	<	<	11	<	<	<	149	<
2	Verenmeel 2020	*	*	*	*	*	*	*	*
2	Verenmeel 2021KB	<	<	7	<	<	<	125	<
3	Runderbeendermeel	*	*	*	*	*	*	*	*
4	Humuszuur	<	13	310	<	98.0	<	955	<
5	Groencompost 2020	0.36	13	17	0.05	4.5	17.0	103	3.0
5	Groencompost 2021	0.39	14	21	0.05	7.5	19.0	108	3.7
6	Zaadmeel 2020	*	*	*	*	*	*	*	*
6	Zaadmeel 2021	<	<	10	<	<	<	57	<
7	Coagulateslib-B	3.28	85	82	0.77	79.0	97.0	562	37.0
8	Coagulateslib-N	1.65	99	68	0.54	54.0	68.0	351	47.0
9	Cellulose	0.45	18	96	0.16	9.7	16.0	280	2.4
10	Biochar	1.13	44	538	0.33	25.0	79.0	985	2.3
11	Humuszuur (HumVi)	<	15	<	<	3.3	<	16	<
12	Kaamera (alginaat)	*	*	*	*	*	*	*	*
13	Tradiphos® 2020	1.32	54	520	0.60	30.0	95.0	1509	13.0
13	Tradiphos® 2021	1.35	56	477	0.62	29.0	97.0	1525	11.0
14	Digestaat plantaardig 2020	1.45	19	30	<	7.6	6.6	229	4.2
14	Digestaat plantaardig 2021	1.68	17	34	<	8.3	6.3	257	6.1
15	Schone bagger	0.52	29	24	0.19	16.0	31.0	107	10.0
16	Koffie PR pellets	<	<	47	<	<	<	18	<
17	Chitine-garnaal	<	<	6	<	<	<	<	<
18	Champignon	0.16	<	31	0.06	<	<	*	<
19	Champignon afval	0.14	<	31	0.05	*	<	94	<
20	Pleurotis + substraat	0.19	4.3	7	<	4.0	<	23	<
21	Insect exuviae	<	4.2	10	<	<	<	66	<
22	Insect frass	<	4.2	10	<	3.1	<	54	<
23	Koemest + houtsnippers	0.95	5.0	42	<	3.5	7.2	267	<
24	Koemest (vers)	<	4.6	73	<	4.9	<	161	<
25	Kippenmest (vers)	0.59	8.1	104	<	12.0	<	470	1.3
Maximale waarden voor compost ¹⁾		1.00	50	90	0.30	20	100	290	15
Maximale waarden voor zuiveringsslib ¹⁾		1.25	75	75	0.75	30	100	300	15

*) niet gemeten.

< onder de detectiegrens, dit verschilt per bepaling: cadmium 0.11; chroom 3.1; koper 4.3; kwik 0.04; nikkel 2.6; lood 6.8; zink 17; Arseen 1.1 in mg/kg. Kan iets per product verschillen vanwege hoeveelheid geanalyseerd product.

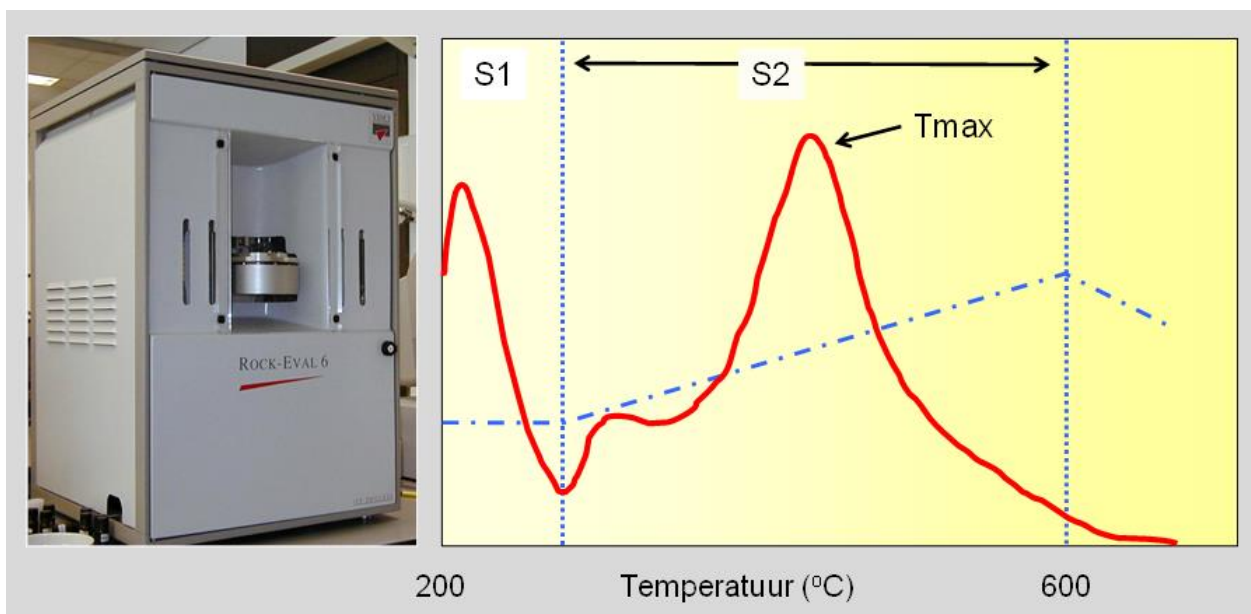
1) gegevens vanuit Uitvoeringsbesluit Meststoffenwet, Bijlage II Tabel 2 en 3 (<https://wetten.overheid.nl/BWBR0019031/2022-06-01>)

Bijlage 2 Rock-Eval methode

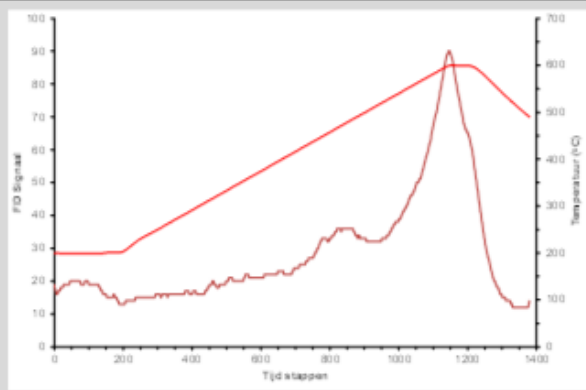
Rock-Eval pyrolyse

Bij een Rock-Eval pyrolyse wordt een kleine hoeveelheid gehomogeniseerd en verpoederd monstermateriaal in een inerte atmosfeer geprogrammeerd verhit tot 650 °C. Tijdens deze pyrolyse wordt het organisch materiaal gekraakt en de vrijkomende koolwaterstoffen worden gedetecteerd met een vlam ionisatie detector (FID). Het resultaat is een pyrogram, waarbij de hoeveelheid gegenereerde koolwaterstoffen als functie van de tijd en temperatuur worden weergegeven, zie **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.** S1 is de hoeveelheid (semi) vluchtige koolwaterstoffen, die vrijkomen tijdens de isotherme fase van de pyrolyse. De S2 piek vertegenwoordigt de koolwaterstoffen die vrijkomen tijdens de pyrolyse van 200 °C tot 650 °C. De Tmax is de temperatuur op het maximum van de S2 curve. Tevens worden de gegenereerde hoeveelheden koolstofdioxide (CO₂) en koolstofmonoxide (CO) tijdens de pyrolyse (S3) en de daaropvolgende oxidatie fase continue gemeten met een infrarood (IR) detector. De meetresultaten worden tevens gebruikt om een aantal parameters te berekenen zoals Totaal Organisch Koolstof (TOC), de Hydrogen Index (HI) en de Oxygen Index (OI). Deze laatste twee parameters worden gebruikt als referentie voor H/C en O/C atomaire ratio's om het type organisch materiaal te bepalen en om diagenetische veranderingen van het organisch materiaal in zogenaamde pseudo-Van Krevelen diagrammen te bepalen (Feller et al., 2010).

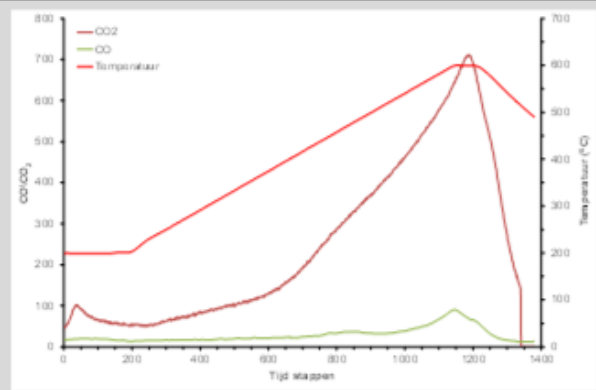
Een pyrogram (S1 + S2) geeft op deze manier een bulk organisch geochemische karakterisering van een monster. De TOC is de som van het "pyrolysed carbon" (%PC) en het "residual carbon" (%RC). De PC is bepaald vanuit de pyrolyse (S1, S2 en S3) en de RC is bepaald vanuit de oxidatie stap van de Rock-Eval analyse op basis van de gegenereerde CO en CO₂.



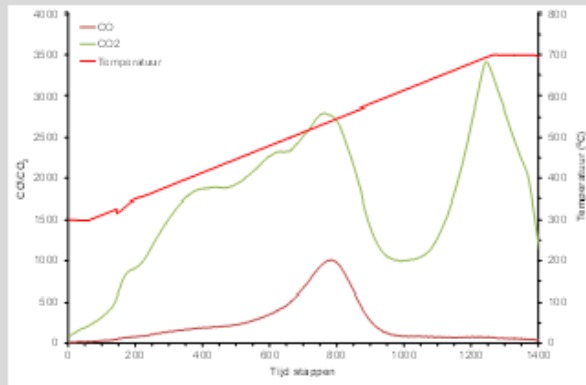
Figuur B2.1 De Rock-Eval en een voorbeeld van een pyrogram dat de hoeveelheid gegenereerde koolwaterstoffen laat zien als functie van de temperatuur.



A



B



C

Figuur 2: Voorbeeldcurves gegenereerd met de Rock-Eval.

Curves

Een Rock Eval produceert 5 curves vanuit de pyrolyse en de oxidatie fases van de analyse. De curve weergegeven in Figuur A is het signaal van de FID waarmee de gegenereerde koolwaterstoffen tijdens de pyrolyse worden gedetecteerd. In Figuur B zijn de curves van de gegenereerde CO en CO₂ tijdens de pyrolyse weergegeven. Het tijd-temperatuur traject van A en B zijn dus identiek. Figuur C geeft het signaal van de IR detector gedurende de oxidatie van het materiaal. Zowel CO als CO₂ worden gemeten. De maximum temperatuur bij de oxidatie is hoger dan bij de pyrolyse. De curves in bijgaande figuren zijn afkomstig van de analyse van monster E2-1.

Het typerende pieken patroon dat met de Rock-Eval wordt gemeten (pyrogram) kan worden gekarakteriseerd door specifieke indices, die het relatieve aandeel van labiel en resistent organisch materiaal weergegeven (Tabel B2.1). In dit rapport is gewerkt met de I-index en de R-index.

Tabel B2.1 Overzicht van de gemeten en berekende Rock-Eval parameters.

Measured parameters			
	Detector/Oven	Unit	Name
S1	FID/Pyrolysis	mg HC/g soil	Free hydrocarbons
S2	FID/Pyrolysis	mg HC/g soil	Oil potential
TpS2	TC/Pyrolysis	°C	Temperature at maximum of S2 peak
S3	IR/Pyrolysis	mg CO ₂ /g soil	CO ₂ from organic source
S3'	IR/Pyrolysis	mg CO ₂ /g soil	CO ₂ from mineral source
S3CO	IR/Pyrolysis	mg CO/g soil	CO from organic source
S3'CO	IR/Pyrolysis	mg CO/g soil	CO from mineral source
S4CO	IR/Oxidation	mg CO/g soil	CO from organic source
S4CO ₂	IR/Oxidation	mg CO ₂ /g soil	CO ₂ from organic source
S5	IR/Oxidation	mg CO ₂ /g soil	CO ₂ from mineral source

Calculated parameters			
	Unit	Formula	Name
Tmax	°C	TpS2-STD Tmax	Tmax
PI		$S1/(S1+S2)$	Production Index
PC	% weight	$\frac{[(S1+S2) \times 0.83] + \left[S3 \times \frac{12}{44} \right] + \left[\left(S3CO + \frac{S3'CO}{2} \right) \times \frac{12}{28} \right]}{10}$	Pyrolysable Carbon
RC CO	% weight	$(S4CO \times 12/44)/10$	Residual Carbon CO
RC CO ₂	% weight	$(S4CO_2 \times 12/44)/10$	Residual Carbon CO ₂
RC	% weight	RC CO + RC CO ₂	Residual Carbon
TOC	% weight	PC + RC	Total Organic Carbon
HI	mg HC/g TOC	$(S2 \times 100)/TOC$	Hydrogen Index
OI	mg CO ₂ /g TOC	$(S3 \times 100)/TOC$	Oxygen Index

I/R Chart

De pyrogrammen, of de curves die gemaakt worden tijdens de pyrolyse kunnen onderverdeeld worden in een aantal temperatuurtrajecten. De oppervlakten van deze trajecten worden bepaald en gebruikt om een tweetal indices te definiëren.

$$I = \text{Log}_{10}((A1+A2 / A3)$$

$$R = (A3 + A4) / \Sigma(A1+A2+A3+A4)$$

A1 = oppervlakte van de S2 piek tussen 200 °C en 340°C (labiele biopolymeren);

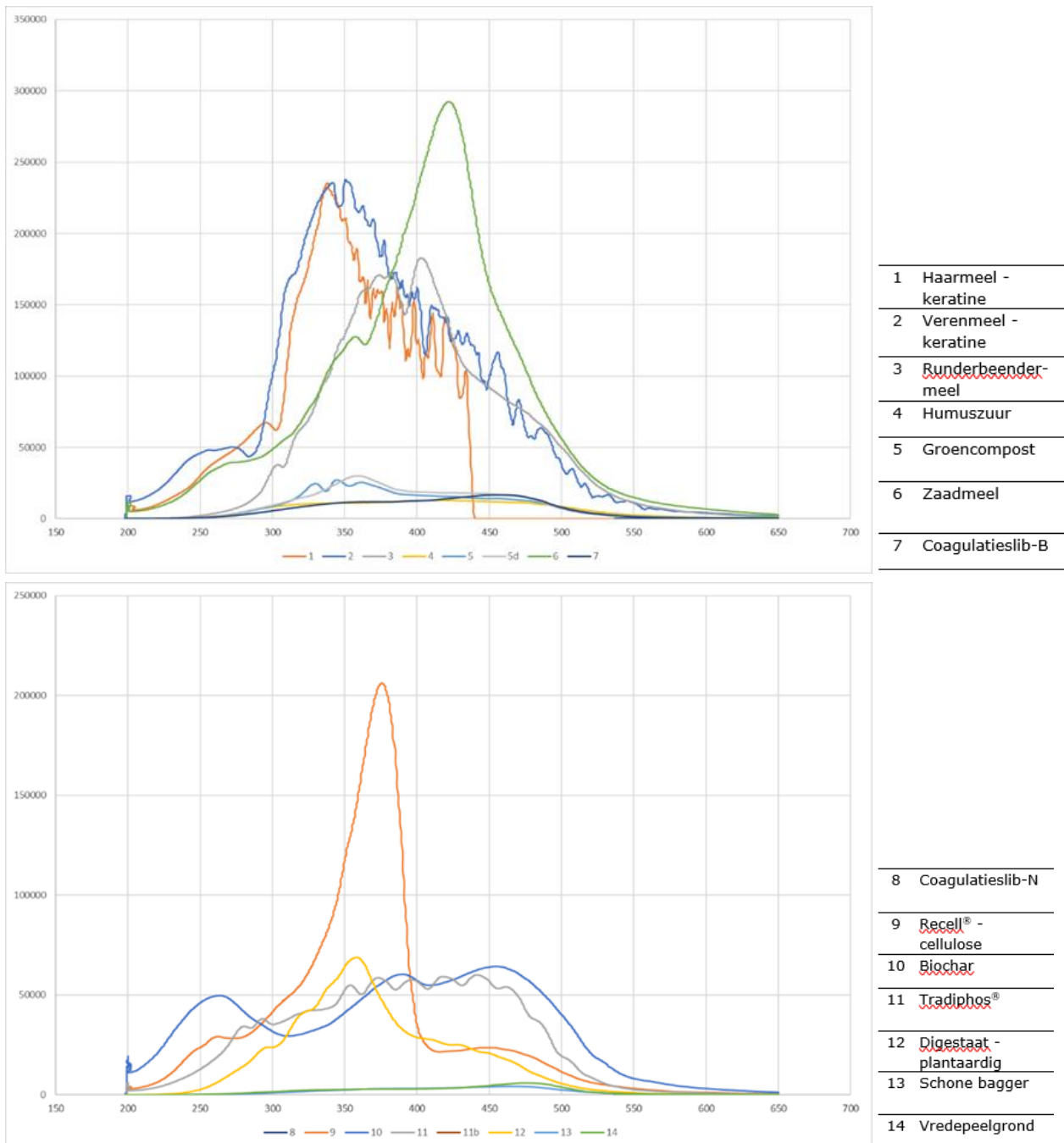
A2 = oppervlakte van de S2 piek tussen 340 °C en 400 °C (resistente biopolymeren);

A3 = oppervlakte van de S2 piek tussen 400 °C en 460 °C (onrijpe geopolymeren);

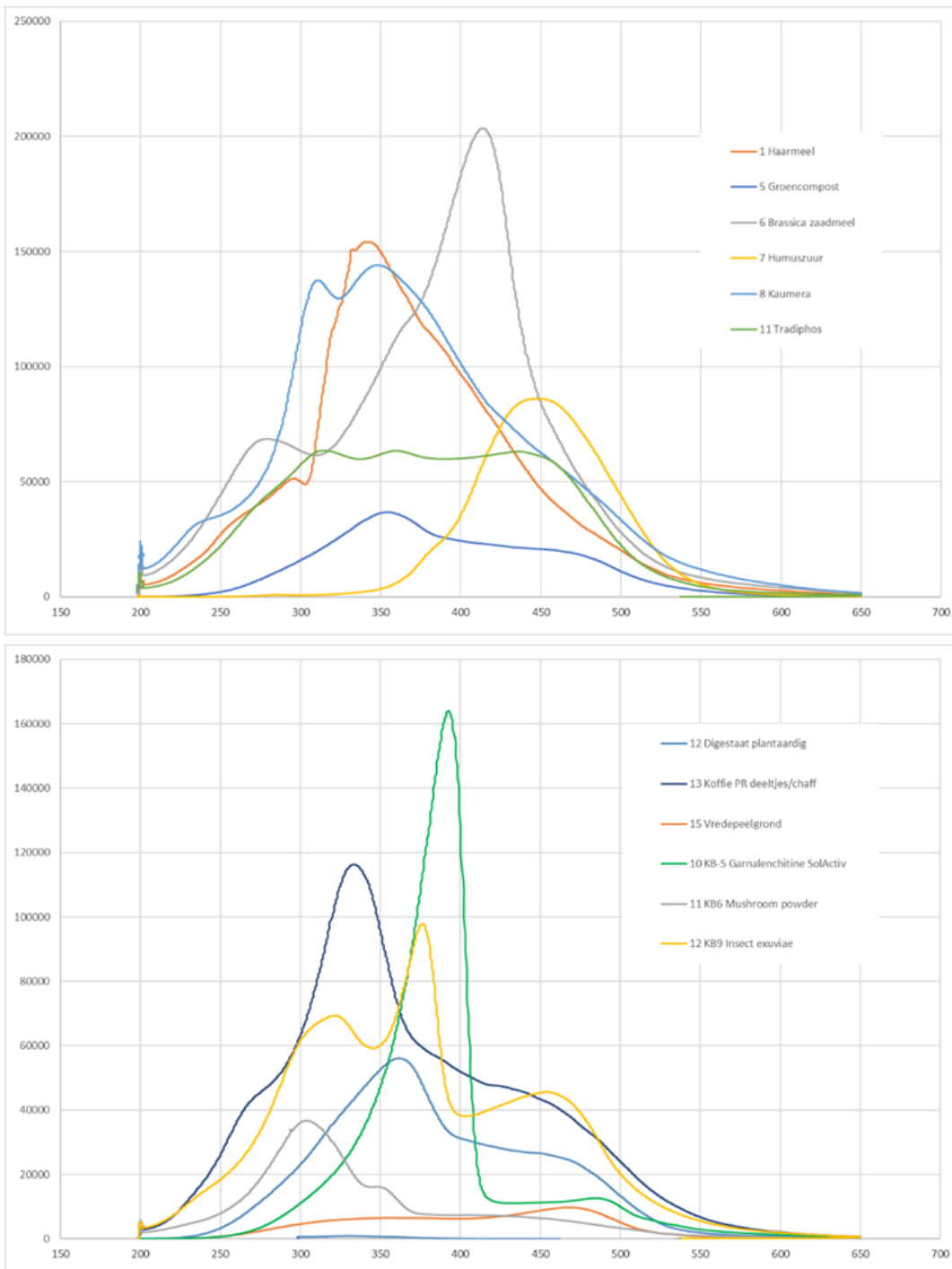
A4 = oppervlakte van de S2 piek na 460 °C (refractaire geopolymeren).

Deze indeling is bekend uit eerder gepubliceerde studies waarin verschillende types organisch materiaal gekarakteriseerd zijn (Sebag et al., 2016).

Bijlage 3 Rock-Eval pyrogrammen

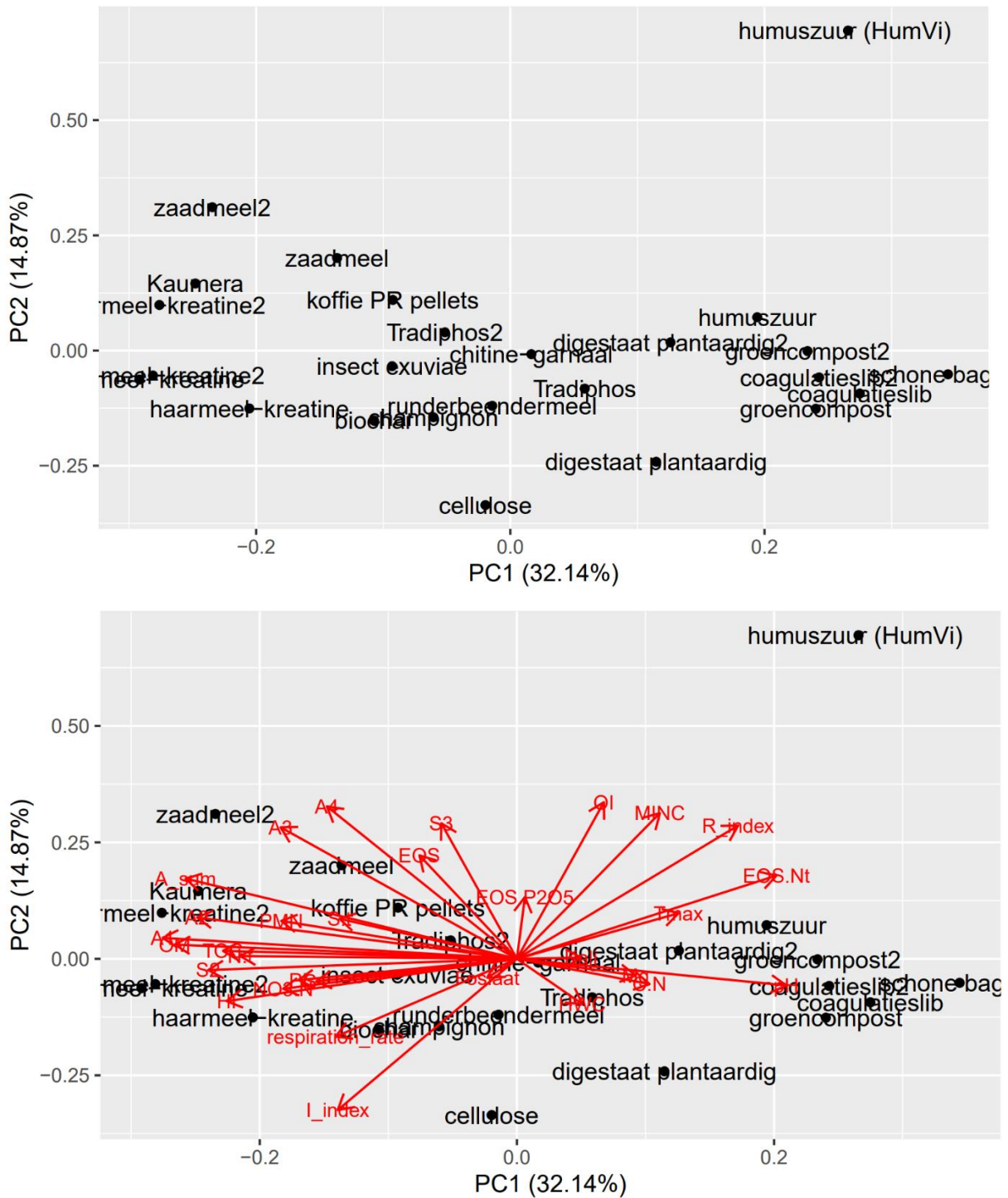


Figuur B3.1 Rock-Eval spectra: FID signaal pyrolyse vs. temperatuur (2020).



Figuur B3.1 Rock-Eval spectra: FID signaal pyrolyse vs. temperatuur (2021).

Bijlage 4 Correlatie eigenschappen organische producten met PCA



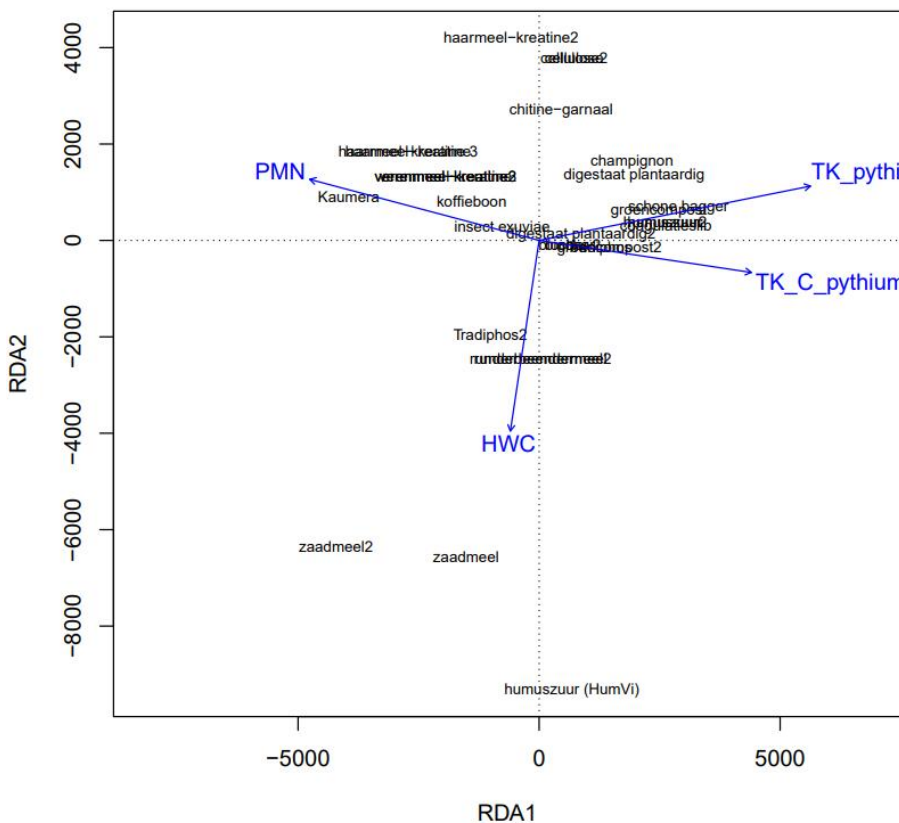
Figuur B4.1 Principale componenten analyse (PCA) voor de producten (zwarte punten) en de meest relevante metingen (rode pijlen). (Uitgevoerd met het statistische programma R door Beatriz Andreo Jimenez).

Bijlage 5 Correlatie tussen ziektevering en bodemeigenschappen per organisch product met RDA

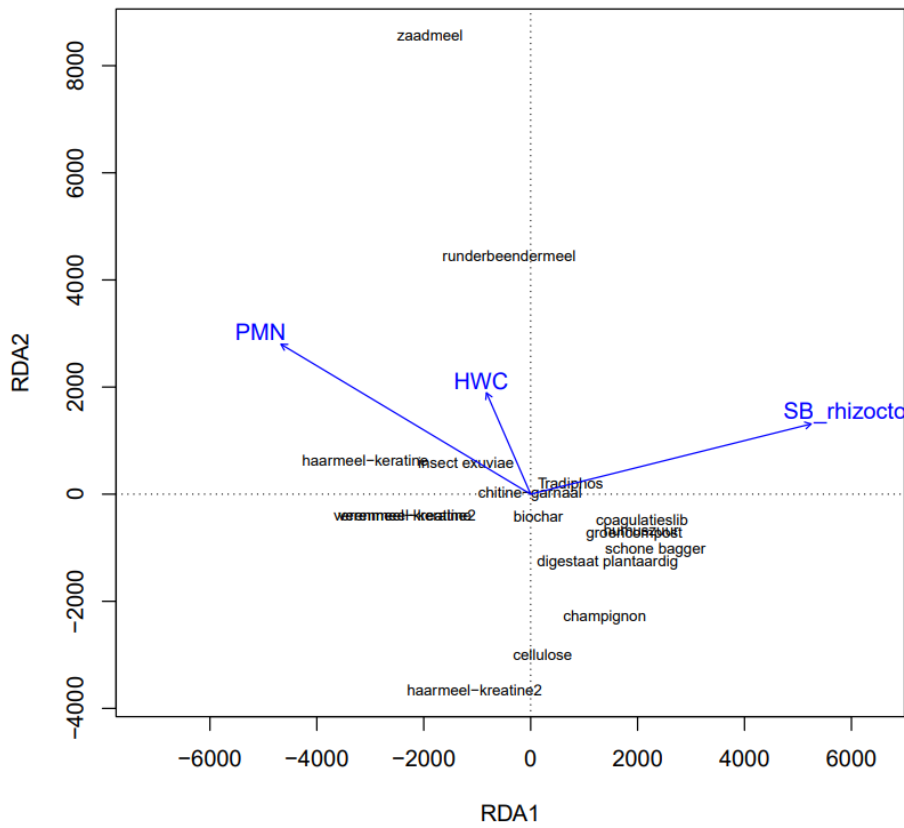
Redundancy Analysis uitgevoerd voor de verschillende pathogenen met behulp van het statistische programma R door Beatriz Andreo Jimenez. De figuren geven ook aan hoe de toegevoegde organische producten zich tot de parameters (blauwe pijlen) verhouden.

Samenvatting resultaten:

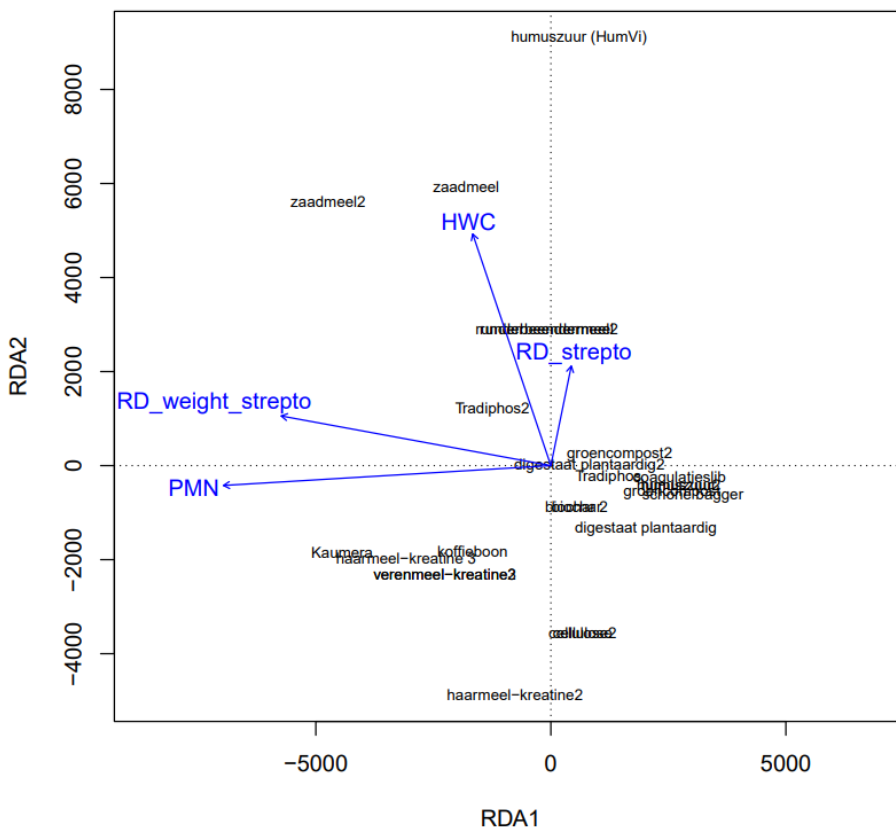
- Pythium aantasting (zowel na inoculatie als in de controle) is tegengesteld aan PMN resultaten (Figuur B5.1). Dat impliceert dus een hogere ziektevering bij hogere PMN waarden. HWC staat loodrecht op Pythium aantasting en heeft er dus geen invloed op.
- Ook Rhizoctonia aantasting is enigszins tegengesteld aan PMN resultaten en er lijkt dus enige correlatie tussen ziektevering tegen Rhizoctonia en de PMN waarden in de bodem (Figuur B5.2). HWC staat loodrecht op de Rhizoctonia aantasting en heeft dus geen invloed op de aantasting.
- In de radijsproef correleert PMN met de radijsgewicht (Figuur B5.3). De pijl van de Streptomyces aantasting is veel korter dan die van de andere parameters, wat betekent dat de Streptomyces aantasting weinig correleert binnen de dataset.



Figuur B5.1 Pythium aantasting in tuinkers (TK) (met en zonder Pythium inoculatie) en bodemparameters voor de verschillende toegevoegde organische producten.



Figuur B5.2 Rhizoctonia aantasting en bodemparameters voor de verschillende toegevoegde organische producten.



Figuur B5.3 Streptomyces aantasting, biomassa radijs en bodemparameters voor de verschillende toegevoegde organische producten.

Correspondentie adres voor dit rapport:

Postbus 16
6700 AA Wageningen
T 0317 48 07 00
wur.nl/plant-research

Rapport WPR-1183



De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen Wageningen University en gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 7.200 medewerkers (6.400 fte) en 13.200 studenten en ruim 150.000 Leven Lang Leren-deelnemers behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.

To explore
the potential
of nature to
improve the
quality of life



Correspondentieadres voor dit rapport:
Postbus 16
6700 AA Wageningen
T 0317 48 07 00
wur.nl/plant-research

Rapport WPR-1183

De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen Wageningen University en gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 7.200 medewerkers (6.400 fte) en 13.200 studenten en ruim 150.000 Leven Lang Leren-deelnemers behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.

