
Effectiviteit van inundatie voor de bestrijding van *Meloidogyne chitwoodi*

Onderzoek naar de effectiviteit van inundatie op praktijkpercelen
Onderzoek naar effect van inundatie-duur, temperatuur en toevoegen van organisch materiaal op de effectiviteit van inundatie

J.H.M. Visser, J. Postma, P. Brinkman, W. van Geel & L.P.G. Molendijk

Dit onderzoek is in opdracht van de brancheorganisatie Akkerbouw uitgevoerd in het kader van Plan van Aanpak *Meloidogyne* en de PPS beter bodem beheer, door de Stichting Wageningen Research (WR), business unit WUR-Open Teelten (WUR-OT, Lelystad).

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



Rapport WPR-914

J.H.M. Visser, J. Postma, P. Brinkman, W. van Geel & L.P.G. Molendijk, 2021. *Effectiviteit van inundatie voor de bestrijding van Meloidogyne chitwoodi*; Wageningen Research, WUR| Open Teelten, Lelystad Wageningen Research, Projectnummer 3750377500 Rapport WPR-914.

This report can be downloaded for free at: <https://doi.org/10.18174/561880>

© 2021 Wageningen, Stichting Wageningen Research, Wageningen Plant Research, Business unit Open Teelten, Postbus 430, 8200 AK Lelystad; T 0320 29 11 11; www.wur.nl/openteelten

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.

Foto omslag: Inundatie in Oostelijk Flevoland

Inhoud

Inhoudsopgave

Inhoud	3
Woord vooraf	5
Samenvatting	7
1 Inleiding	9
1.1 Aanleiding	9
1.2 Doelstelling	10
2 Opzet en uitvoering	11
2.1 Effect inundatie praktijkpercelen	11
2.2 Bakkenproef; effect inundatie-condities	20
2.3 Monitoring inundatieperceel 2015	22
3 Resultaten en Discussie	25
3.1 Praktijkpercelen	25
3.3 Bakkenproef	43
3.5 Monitoring inundatie perceel 2015	46
4 Conclusie	47
4.1 Praktijk-percelen	47
4.3 Effect van inundatieduur, inwerken van organische materiaal en temperatuur op de effectiviteit van inundatie	49
Literatuur	51
Bijlage 1 Bodemvruchtbaarheidsanalyse grond bakkenproef	53
Bijlage 2 Nutriënteninhoud van de organische stofbronnen, bakkenproef inundatie 2018.	55
Bijlage 3 Flyer, inunderen tarragrond	58

Woord vooraf

Voor u ligt de rapportage van project 3750377500 dat in opdracht van het Plan van Aanpak| Meloidogyne is uitgevoerd. Het project is gefinancierd door de Branche Organisatie Akkerbouw (<https://www.bo-akkerbouw.nl/kennis-en-innovatie/plan-van-aanpak-meloidogyne>) en de PPS beter bodembeheer (<https://www.beterbodembeheer.nl/nl/beterbodembeheer.htm>).

Aanleiding is het onderzoek dat in 2015 op initiatief van de akkerbouwers Anita en Frans van Dam (Wieringermeer) is uitgevoerd op basis van een kennisvoucher. De resultaten van deze veldproef waren voor de Branche Organisatie aanleiding verdiepend onderzoek naar de effectiviteit van inundatie en de ervaringen met de techniek van telers in de praktijk in gang te zetten. De sectie nematologie van WUR| Open teelten, Lelystad heeft het project in uitvoering genomen en brengt de resultaten samen in dit rapport.

Dit is de gelegenheid om de telers die aan het onderzoek hebben meegewerkt te bedanken en om in die dank ook de Branche Organisatie te betrekken die het belang van de ontdekking van inundatie ter bestrijding van *M. chitwoodi* als alternatief voor chemische grondontsmetting, heeft gezien en dit onderzoek mogelijk heeft gemaakt. De Brancheorganisatie Akkerbouw heeft dit onderwerp ingebracht in de PPS beter bodem beheer waardoor het mogelijk werd naast het effect van inundatie op *M. chitwoodi* een indruk te krijgen van het effect van deze maatregel op bodemweerbaarheid.

Inmiddels maakt inundatie in verschillende gebieden al veel opgang waarmee de implementatie van de resultaten in de praktijk volop gaande is. Het Plan van Aanpak| Meloidogyne heeft daarmee een mooi succes geboekt.

Wanneer deze rapportage aanleiding geeft tot vragen, opmerkingen of suggesties neem dan contact op met de verantwoordelijke onderzoekers.

Johnny Visser (Johnny.Visser@wur.nl)

Leendert Molendijk (Leendert.Molendijk@wur.nl)

Samenvatting

Het maiswortelknobbelaaltje *Meloidogyne chitwoodi* is een quarantaine aaltje, wat betekent dat vermeerderingsmateriaal als aardappelpootgoed vrij moet zijn van deze aaltjessoort. Al bij een zeer lage veldbesmetting kan het vermeerderingsmateriaal besmet raken. Vermeerderingsmateriaal dient daarom geteeld te worden op percelen die vrij zijn van *M. chitwoodi*. Dit aaltje is lastig te bestrijden, inundatie blijkt echter een perspectiefvolle methode om een besmetting met *M. chitwoodi* volledig te saneren.

Teelt van hoogwaardig uitgangsmateriaal is een belangrijke bron van inkomsten voor de agrarische sector in Nederland. De totale export van bijvoorbeeld aardappelpootgoed bedroeg in 2014 ca. 500 miljoen euro (CBS). Uitgangsmateriaal dient vrij te zijn van Q-organismen zoals het aardappelpootcysteaaltje en het maiswortelknobbelaaltje *Meloidogyne chitwoodi*. Al zeer lage veldbesmettingen van *M. chitwoodi* leiden, in de teelt van uitgangsmateriaal zoals aardappelpootgoed, tot besmetting van het eindproduct. Bij een besmetverklaring verliest een pootgoedpartij de pootgoedstatus en daarmee een groot deel van zijn economische waarde. Noodzakelijk is dat de gronden waarop pootgoed wordt geteeld, vrij is van aaltjessoorten met een quarantainestatus. In geval van besmetting met 'een Q' wordt de teelt van pootgoed en ander uitgangsmateriaal onmogelijk. Bestrijding door chemische grondontsmetting is wegens verscherpte regelgeving en verbod van middelen amper meer mogelijk en sowieso technisch niet afdoende. Bij een lage restbesmetting raakt het vermeerderingsmateriaal (pootgoed) alweer besmet. Inundatie, het langdurig onder water zetten van een perceel, lijkt perspectief te bieden. Deze methode wordt in de bollenteelt al vele jaren ingezet ter bestrijding van het stengelaaltje, maar over de effectiviteit van deze methode tegen wortelknobbelaaltjes was nog weinig bekend.

Vanuit potproefonderzoek van WUR-OT en het voormalige PPO-BBF (bollen) (Elberse, 2013) waren er aanwijzingen dat bestrijding van *M. chitwoodi* via inundatie zou kunnen werken. In inundatieonderzoek uitgevoerd in bakken, bij een constante temperatuur van 20° C en een inundatieduur van 14 weken, werd *M. chitwoodi* volledig bestreden. In de praktijk komen bodemtemperaturen van 20° C of hoger, gedurende een dergelijk langer periode, echter zelden voor.

In 2015 is door WUR-OT in samenwerking met een aantal telers in de Wieringermeer de discussie rondom inundatie tegen *M. chitwoodi* gestart. Op basis van een kennisvoucher werd het mogelijk veldonderzoek te doen bij Maatschap van Dam in de Wieringermeer. In 2018 zijn in totaal vijf met *M. chitwoodi* besmette percelen voorafgaand aan de inundatie intensief bemonsterd om de uitgangssituatie van de *M. chitwoodi*-besmetting goed in kaart te brengen. De verwachting was dat de besmetting op deze percelen duidelijk aantoonbaar zou zijn, maar niet bijzonder hoog. Om het effect van het inunderen met een grotere betrouwbaarheid te kunnen vaststellen zijn verspreid over het perceel ook zakjes met *M. chitwoodi*-besmet wortelmateriaal ingegraven. De zakjes zijn ingebracht in speciaal geprepareerde emmers om introductie van *M. chitwoodi* in het perceel te voorkomen. De inundatie is in de zomer uitgevoerd. De percelen hebben vanaf begin juli tot eind september/begin oktober onder water gestaan. In december zijn dezelfde plekken in het perceel weer bemonsterd en zijn de inoculumzakjes opgegraven. In zowel de veldgrond als in de inoculumzakjes zijn geen *M. chitwoodi* aaltjes meer gevonden. De inundatie op deze percelen is zeer effectief geweest en heeft de *M. chitwoodi* besmetting teruggedrongen tot onder detectiegrens of mogelijk zelfs volledig gesaneerd.

Om vast te stellen of de *M. chitwoodi* besmetting door de inundatie volledig is bestreden, is het perceel dat in 2015 is geïnundeerd opnieuw intensief bemonsterd. Deze bemonstering is uitgevoerd in 2018 na de teelt van de voor *M. chitwoodi* goede waard aardappel. De grond is met de traditionele opspool methode geanalyseerd en gebruikt voor een biotoets met de voor *M. chitwoodi* zeer goede waard tomaat. Met deze biotoets kunnen zeer lage besmettingen nog worden aangetoond. Bij zowel

de spoelmethode als in de biotoets zijn geen *M. chitwoodi*-aaltjes meer gevonden waarmee bevestigd is dat de sanering is geslaagd.

In 2018 zijn er metingen uitgevoerd op vier praktijkpercelen waarop inundatie werd uitgevoerd. Er zijn ook hier, naast de aanwezigheid van verschillende natuurlijke besmettingen, inoculum zakjes met kunstmatige besmettingen aangebracht op 20 en 40 cm diepte. De percelen waren besmet met *M. chitwoodi*. Eén perceel had daarnaast ook een besmetting met het noordelijk wortelknobbelaaltje *M. hapla* en één perceel bleek ook besmet met het graswortelknobbelaaltje *M. naasi*. De percelen zijn voorafgaand aan en kort na de inundatie bemonsterd. Voor het bepalen van de eindbesmetting zijn de grondmonsters opgespoeld en is er ook weer een biotoets met tomaat uitgevoerd. Er zijn op drie percelen geen *M. chitwoodi* aaltjes terug gevonden behalve een zeer kleine besmetting (3/100 ml) in de biotoets met de grond van de teler die te laat (begin september) was gestart met inundatie. Hiermee is aangetoond dat inundatie voor de praktijk een effectieve maatregel is voor de bestrijding van plant parasitaire aaltjes zoals *M. chitwoodi*, mits op tijd wordt gestart.

Voor een effectieve inundatie is, afhankelijk van het te bestrijden organisme, een inundatieduur van 10 tot 14 weken noodzakelijk met een bodemtemperatuur boven de 16 graden Celsius. Uit de proeven blijkt dat *M. hapla* ook wordt bestreden door inundatie. *M. naasi* overleeft echter wel. Het lijkt erop dat dit aaltje beter om kan gaan met zuurstofloze condities.

In 2018 zijn er naast de praktijkproeven ook emmerproeven uitgevoerd waarin het effect van inundatieduur (6, 10 en 14) in combinatie met het toevoegen van verschillende vormen van organische stof bij verschillende temperatuurregimes op een *M. chitwoodi*-besmetting is onderzocht. Een inundatieduur van 6 weken bleek in alle gevallen te kort (niet effectief). Ook wanneer de temperatuur tijdens de inundatie onder de 16 graden Celsius daalt, neemt de effectiviteit (sterk) af. Het toevoegen van vers organisch materiaal verbetert de effectiviteit van inundatie. Het sterkste effect was zichtbaar bij makkelijk afbreekbaar organisch materiaal zoals gras. Het verkorten van de inundatieduur tot tien weken, met behoud van effectiviteit, lijkt mogelijk als er 40 ton/hectare vers organisch materiaal wordt toegevoegd.

Op twee percelen werd het effect van inundatie op alle aaltjessoorten gemeten. Op basis van deze twee percelen mag worden gesteld dat direct na de inundatie de nematodenpopulatie sterk is gedaald en de soortensamenstelling (diversiteit) sterk is verminderd. De niet beantwoorde vraag is hoe het herstel eruitziet na een eerste teeltjaar en verderop in de vruchtwisseling. Opbrengst en kwaliteit van de cultuurgewassen waren volgens de proefveldhouders zeer tevredesntellend. Er kan op basis van dit beperkte onderzoek dan ook geen uitspraak worden gedaan of de blijvende effecten van de inundatie verstorend zijn.

Voor wat betreft de bodemvruchtbaarheid kan worden gesteld dat de tegengestelde en onverklaarbare grote verschillen in de metingen voor beide percelen het niet mogelijk maken de effecten van de inundatie op bodemvruchtbaarheidsparameters in de bodem goed te beoordelen. Het lijkt erop dat de meetfouten dermate groot zijn dat er om die reden uit de metingen geen conclusies getrokken kunnen worden.

HWC correleert met de totale bacterie- en schimmelbiomassa maar is geen maat voor de diversiteit van het bodemleven. Inundatie lijkt op deze percelen geen effect te hebben op HWC; de totale bacterie- en schimmelbiomassa.

In de vier praktijkpercelen bleek amper tot geen weerbaarheid tegen bodemziekten (*Rhizoctonia*, *Pythium*, *Meloidogyne hapla*) aanwezig te zijn. Wanneer deze er voor de inundatie er wel was, werd deze direct na de inundatie niet meer gemeten. Of de weerbaarheid permanent is verdwenen kan alleen worden bepaald door na een aantal teelten weer te meten. Dit viel buiten de scope van dit onderzoek. Er zijn onderzoeksresultaten en ervaringen vanuit de bollenteelt waar de weerbaarheid tegen *Pythium* zich binnen 15 maanden weer herstelt.

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Teelt van hoogwaardig uitgangsmateriaal is een belangrijke bron van inkomsten voor de agrarische sector in Nederland. De totale export van bijvoorbeeld aardappelpootgoed bedroeg in 2014 ca. 500 miljoen euro (www.CBS.nl). Vereiste is dat de gronden waarop deze gewassen worden geteeld, vrij zijn van bodemziekten en plagen die een quarantainestatus hebben. In geval van besmetting met 'een Q' wordt de teelt van uitgangsmateriaal onmogelijk. Voor de aardappelteelt zijn de Q nematoden aardappelmoehheid (met name *Globodera pallida*), het maïswortelknobbelaaltje (*M. chitwoodi*) en het bedrieglijk maïswortelknobbelaaltje (*M. fallax*) het belangrijkste. Stengelaaltjes (*Ditylenchus dipsaci*) hebben sinds kort geen Q status meer maar vormen een belangrijk kwaliteitsprobleem voor aardappel. Voor aardappelmoehheid geldt dat uitgangsmateriaal alleen geteeld mag worden op percelen met een AM-vrijverklaring. Voor *M. chitwoodi* en *M. fallax* is een vrijverklaring niet nodig maar wordt het product gecontroleerd. Besmette partijen aardappels verliezen hun pootgoedstatus en daarmee een groot deel van hun waarde. Met name *M. chitwoodi* (en *M. fallax*) heeft een grote impact op de pootgoedsector, doordat bij een aangetoonde besmetting in een partij pootgoed de percelen binnen een cirkel van een kilometer, rond het besmette perceel, onder verscherpte controle komen. Bestrijding door chemische grondontsmetting is wegens verscherpte regelgeving en verbod van middelen amper meer mogelijk en ook technisch niet afdoende. Bij een lage restbesmetting in de grond raken de nieuwe knollen al snel weer besmet. Inundatie, het langdurig onder water zetten van een perceel, lijkt perspectief te bieden. Inundatie wordt onder andere in de bollenteelt ingezet om schadelijke aaltjessoorten te bestrijden. De mogelijkheid om aaltjes met inundatie te bestrijden is bij toeval ontdekt. In de jaren '30 en '40 van de vorige eeuw ondervonden kwekers van narcis in de Wieringermeer veel schade door het wortellesieaaltje *Pratylenchus penetrans*. In de tweede wereldoorlog blies de Duitse bezettingsmacht op 17 april 1945 de dijk van de Wieringermeer op en zette het land willens en wetens onder water. Op 11 december van hetzelfde jaar was de polder weer droog. Nadien waren de problemen met *P. penetrans* verdwenen. In de jaren '70 kwam uit onderzoek naar de alternatieven voor Methylbromide bij toeval naar voren dat inundatie ook effectief bleek voor een aantal bodemschimmels (Muller, 1985). Hiermee werd bevestigd dat het onder het grondwater ploegen van de bouwvoor zoals in de bollenstreek wel werd uitgevoerd, inderdaad gunstig was voor het onderdrukken van bodemziekten. Het was in 1982 dat er voor het eerst een hectare actief blank werd gezet. Het voormalige laboratorium voor bloembollen te Lisse heeft in die jaren een speciale inundatiewerkgroep opgericht en veel onderzoek uitgevoerd. Inundatie is inmiddels voor de bollenteelt gangbare praktijk geworden. In 2011 is er opgeschaald door een akkerbouwer te Vierhuizen (Groningen). Hij zette 30 hectare onder water ter bestrijding van het aardappelpoetsaaltje *G. pallida*. Het Produktschap Akkerbouw en Agrifirm maakte het WUR Praktijkonderzoek AGV mogelijk metingen te verrichten. De bestrijding bleek zeer succesvol (Runia & Molendijk, 2013) en voor de NVWA voldoende aanleiding om inundatie als officiële bestrijdingsmaatregel voor aardappelpoetsaaltjes te erkennen.

Vanuit potproefonderzoek van WUR PAGV en het voormalige PPO BBF te Lisse (Elberse en Visser 2013) waren er aanwijzingen dat bestrijding van *M. chitwoodi* via inundatie zou kunnen werken. Op initiatief van een akkerbouwer in de Wieringermeer is in 2015 een met *M. chitwoodi* besmet perceel onder water gezet. Ter controle werd na de technisch goed uitgevoerde inundatie een biotoets uitgevoerd, waarin een sterk vermeerderende waardplant (tomaat) op grond afkomstig van het geïnundeerde perceel werd geteeld. In de biotoets werd geen *M. chitwoodi* meer gevonden. Het was voor het eerst dat er 100% effectiviteit werd aangetoond bij de bestrijding van *M. chitwoodi* (Visser en Molendijk; onderzoeksrapport Praktijkonderzoek AGV 3250321200, augustus 2017). De veldinundatie moet worden herhaald om vast te stellen dat de succesvolle bestrijding van

M. chitwoodi in 2015 geen toevalstreffer was. Daarnaast moet worden uitgezocht hoe een inundatie (technisch) moet worden uitgevoerd, zodat het een bedrijfszekere methode wordt die op korte termijn de aaltjes bestrijdt en op langere termijn de grondkwaliteit waarborgt. Momenteel worden de volgende adviezen voor de bestrijding van stengelaaltjes gehanteerd; een inundatieduur van 12-14 weken bij een bodemtemperatuur van minimaal 16°C gedurende de gehele inundatieperiode. De criteria voor een geslaagde inundatie voor de bestrijding van *M. chitwoodi* zijn echter nog onvoldoende duidelijk. Bekend is dat duur, temperatuur en het toevoegen van organisch materiaal hierbij een rol spelen. Naast de landbouwkundige deugdelijkheid is er zorg over het effect van inundatie op bodemweerbaarheid op de korte en lange termijn. De inundatie zou mogelijk ook het nuttige bodemleven kunnen doden, waardoor de geïnundeerde grond kwetsbaarder wordt voor de ontwikkeling van bodemziekten en -plagen. Vanuit de bollenpraktijk is bekend dat *Pythium* in het eerste jaar na inundatie problemen kan veroorzaken. De praktijk is daar dan ook, dat er na inundatie compost wordt toegepast en er geen tulpen worden geteeld omdat deze gevoelig zijn voor *Pythium*. Het tweede jaar na inundatie speelt *Pythium* geen rol meer.

1.2 Doelstelling

Doelstellingen van dit project zijn:

- **Toetsing van de effectiviteit van inundatie als bestrijdingsmaatregel tegen *Meloidogyne chitwoodi* op praktijkpercelen**
- **Verkrijgen van inzicht in de effecten van inundatie op de bodemweerbaarheid tegen bodemziekten (ziektewerendheid), bodembioïologie (Heet Water extraheerbare koolstofCarbon (HWC), milieuaaltjes) en chemische bodemvruchtbaarheid.**
- **Vaststellen van criteria voor het effectief uitvoeren van een inundatie.**
*Daartoe wordt in een bakkenproef het effect van inundatieduur, temperatuur en toevoegen van organisch materiaal op de bestrijding van *M. chitwoodi* getoetst.*
- **Monitoring duurwerking van inundatie als bestrijdingsmaatregel tegen *M. chitwoodi* op een praktijkperceel.**
*Het praktijkperceel waar in 2015 het effect van de inundatie op de *M. chitwoodi* besmetting is gemeten, wordt in 2018, direct na de oogst van de eerste aardappelteelt na de inundatie, opnieuw bemonsterd.*

Bij effectieve bestrijding van *M. chitwoodi* met inundatie wordt veel areaal weer geschikt voor zowel pootaardappel als voor ander uitgangsmateriaal zoals bloembollen en vaste planten. Daarnaast is dan het risico voor schade aan peen en schorseneren geweken. Internationaal wordt onze positie als exporteur van landbouwproducten versterkt als wij percelen vrij kunnen maken en houden van deze bodemplaag/dit Q-organisme.

2 Opzet en uitvoering

Het onderzoek project is opgedeeld in drie onderdelen:

1. Onderzoek op praktijkpercelen naar effect van de inundatie op de *M. chitwoodi* besmetting, bodemvruchtbaarheid, bodembioologie (HWC en milieuaaltjes) en ziekteverendheid (biotoetsen).
2. Een bakken-proef onder geconditioneerde omstandigheden waarin het effect van inundatieduur, temperatuur en toevoegen van organisch materiaal op de bestrijding van *M. chitwoodi* wordt getoetst.
3. Onderzoek naar de duurwerking van inundatie door opnieuw bemonsteren van het praktijkperceel waar in 2015 het effect van de inundatie op de *M. chitwoodi* besmetting is bepaald .

2.1 Effect inundatie praktijkpercelen

Het effect van inundatie op *M.chitwoodi* is in vier percelen onderzocht: in twee percelen zijn uitgebreide metingen gedaan, in twee andere percelen is alleen het effect op de bestrijding van *M. chitwoodi* bepaald.

2.1.1 Informatie percelen

In het voorjaar van 2018 heeft WUR-OT via haar netwerk (erf-betreders, studiegroepen) telers gezocht voor het inundatie-onderzoek. Twee percelen zijn vervolgens geselecteerd voor het onderzoek; een perceel in de Wieringermeer (Wm-M) en een perceel in de Noordoostpolder (NOP-M). Op deze twee percelen met een natuurlijke *M. chitwoodi* besmetting is het effect van de inundatie op de besmetting met plantparasitaire aaltjes, bodemvruchtbaarheid, bodembioologie (milieuaaltjes, Hot Water extractable Carbon, HWC) en bodemweerbaarheid (biotoetsen) gemeten.

De analyses zijn uitgevoerd aan grondmonsters die kort voorafgaand aan de inundatie, kort na beëindigen van de inundatie en in het voorjaar volgend op de inundatie zijn genomen (zie tabel 1). Perceel Wm-M heeft de maanden voorafgaand aan de inundatie braak gelegen. Op het moment van bemonsteren (17 juli) was het perceel vrij droog.

Op perceel NOP-M is de inundatie wat later gestart. Voorafgaand aan de inundatie zijn zilveruien geteeld. Direct na de oogst, half augustus, is het perceel onder water gezet.

Naar verwachting zal de natuurlijke besmetting van *M. chitwoodi* voor de inundatie vrij laag zijn. Hierdoor is het lastig om betrouwbaar het effect van de inundatie vast te stellen. Daarom is er naast de natuurlijke besmettingen ook een kunstmatige *M. chitwoodi* besmetting aangebracht om nauwkeurig het inundatie-effect te kunnen meten.

Aanvullend op de twee hiervoor genoemde percelen, waaraan uitgebreidere metingen zijn uitgevoerd, is op nog twee percelen in de Wieringermeer (Wm-D en Wm-S) het effect van de inundatie op de natuurlijke en/of kunstmatig aangebrachte *M. chitwoodi*-besmetting bepaald.

In tabel 1 is de start en einddatum van de inundatie weergegeven. Teler Wm-S is de inundatie vrij laat (5 sept) gestart. Belangrijkste doel van de inundatie bij deze teler was de bestrijding van aardappelopslag, na de pootgoedteelt. Een inundatieduur van 12-14 weken bij een bodemtemperatuur van minimaal 16 °C, wat voor de bestrijding van verschillende bodempathogenen noodzakelijk is, is naar verwachting voor de bestrijding van aardappelopslag niet nodig. Door bij deze teler een kunstmatige *M. chitwoodi*-besmetting aan te brengen, was het mogelijk om ook het effect van een zeer late inundatie op een *M. chitwoodi*-besmetting vast te stellen.

Tabel 1. Gegevens van vier inundatiepercelen, inundatie-onderzoek 2018.

Perceel	Wieringermeer-M	Wieringermeer-D	Wieringermeer-S	NO Polder-M
perceelscode	Wm-M	Wm-D	Wm-S	NOP-M
grondsoort	zeer lichte zavel	zeer lichte zavel	Lichte zavel	zavel
Zuurgraad (Ph)	7.2	7.3		7.0
Organische stof (%)	1.4	1.2		1.8
Afslibbaar (%)	7	12		11
Voorvrucht (2018)	Geen (braak)	Winter plantuien	aardappelpootgoed	zilveruien
Natuurlijke Melo-besmetting	X	X		X
Inoculum ingebracht*	X		X	X
Begin inundatie	17 juli	26 juli	5 sept.	14 aug.
Einde inundatie	2 nov.	7 nov.	23 nov.	31 okt.
Aantal weken onder water	15	15	11	11
Vorbemonstering	17 juli	26 juli	----	14 aug
Nabemonstering-1	11 dec.	11 dec.	----	18 dec
Nabemonstering-2	28 mrt-19	----	----	1 mrt-19

*Inoculum ingegraven gelijk met de voorbemonstering en uitgehaald gelijk met nabemonsterig-1
 *** Wm_S: inoculum ingegraven op 5 september en uitgehaald op 5 december

2.1.2 Meetplots en grondbemonsteringen

Op elk perceel zijn vijf meetplots van 2 x 2 m uitgezet en met GPS vastgelegd (zie afbeelding 1). De plots zijn voor, direct na en in het voorjaar volgend op de inundatie bemonsterd. Per plot is met een 13 mm boor circa 2.5 L grond uit de bouwvoor (laag: 0-30cm) verzameld. De grond is gemengd (gehomogeniseerd) en vervolgens zijn er submonsters genomen voor de analyses op plant parasitaire aaltjes, milieuaaltjes, bodemvruchtbaarheid en HWC (zie 2.1.4.4).

Voor de bodemweerbaarheidstoetsen (zie 2.1.4.2) is per plot, kort voor en direct na de inundatie, met een 35 mm boor, circa 10 L grond verzameld uit de laag 0-30 cm.



Figuur 1. Op het perceelsdeel met naar verwachting de hoogste *M. chitwoodi* besmetting zijn vijf meetplots uitgezet.

2.1.3 Kunstmatige besmetting

De verwachting is dat de natuurlijke *M. chitwoodi*-besmetting op de praktijkpercelen vrij laag zal zijn. Bij een laag besmettingsniveau vóór inundatie is het (bijna) niet mogelijk om betrouwbaar de effectiviteit van de inundatie op de *M. chitwoodi*-besmetting te meten. De natuurlijke sterfte is vaak zo sterk dat de besmetting onder de detectiegrens van de bemonstering zou kunnen zakken zodat er 'valse' nullen worden gemeten.

In overleg met de telers is daarom besloten om, onder gecontroleerde omstandigheden, op vijf plekken op het perceel ook kunstmatig een *M. chitwoodi*-besmetting aan te brengen.

Grond van het perceel (10 x 2,5 L) is kunstmatig besmet met *M. chitwoodi* door er 10 gram besmette tomatenwortel doorheen te mengen. De kunstmatig besmette grond is vervolgens in fijnmazige netzakjes gedaan (zie foto's 1 en 2).

Op vijf plekken op het inundatie-perceel, direct naast elk meetplot, zijn 25 cm hoge bakken ingegraven (Afbeelding 3). De bakken, waarvan de bodem is verwijderd, hebben een diameter van 34 cm (circa 40 L). De rand van de bakken steekt nog een paar centimeter boven de grond (maaiveld) uit. De bakken zijn gevuld met een laagje grond van circa 10cm. Hier bovenop is een zakje met inoculum gelegd; circa 40 cm onder het maaiveld (foto 3). De bakken zijn verder aangevuld met grond tot circa 18 cm onder de rand en vervolgens is een tweede zak met inoculum in de bak gelegd; circa 18 cm onder het maaiveld (foto 4). Daarna zijn de bakken verder gevuld met grond tot enkele centimeters onder de rand van de bak (foto5)

De gemiddelde *M. chitwoodi*-besmetting in de tomatenwortels is bepaald door vijf keer 10 gram besmette tomatenwortels op zeefjes in de mistkast te plaatsen en zes weken te incuberen. De aaltjes die uit de wortels kruipen worden opgevangen en geteld. De aantallen *M. chitwoodi* per gram tomatenwortel is als maat gebruikt voor de beginbesmetting van de inoculumzakjes met 2,5 L grond. De besmetting in de tomaten-wortels is gemiddeld 2940 *M. chitwoodi* aaltjes/gram wortel. Door elk grondmonster van 2,5 L is 10 gram tomatenwortels gemengd. Omgerekend is de beginbesmetting in een inoculum-zakje circa 1175 *M. chitwoodi* per 100 mL grond.



Foto 1 en 2. Kunstmatig besmetten van grond van het inundatieperceel met *M. chitwoodi* besmette tomatenwortels.



Foto 3, 4 en 5. Aanbrengen van de kunstmatige besmetting in de ingegraven bakken.

In december, na het beëindigen van de inundatie, zijn de inoculum-zakjes weer opgegraven. De grond in de bakken en de grond tot circa 20 cm onder de bakken is afgegraven en afgevoerd. De grond in de inoculum-zakjes is gemengd en er is een submonster van 200 ml genomen voor uitvoeren van de aaltjesanalyse (zie 2.1.4.1).

Om een indruk te krijgen van de natuurlijke sterfte van *M. chitwoodi* in de inoculum-zakjes, zijn vijf extra inoculum-zakjes met grond van inundatie perceel Wm-M gemaakt en gedurende de inundatieperiode onder gecontroleerde omstandigheden bewaard bij 18 °C. Na deze periode is ook in deze zakjes de eindbesmetting bepaald.

2.1.4 Metingen/analyses/biotoetsen

Voorafgaand, direct na en in het voorjaar volgend op de inundatie zijn grondmonsters gestoken om het effect van de inundatie op een aantal chemische en biologische bodemparameters vast te stellen. Deze grond is gemengd en er zijn submonsters genomen om de verschillende analyses aan uit te voeren. Perceel Wm-M heeft de maanden voorafgaand aan de inundatie braak gelegen. Op het moment van bemonsteren (17 juli) was het perceel erg droog.

Op perceel NOP-M is de inundatie wat later gestart. Voorafgaand aan de inundatie zijn zilveruien geteeld. Direct na de oogst, half augustus, is het perceel onder water gezet.

2.1.4.1 Plantparasitaire aaltjes

De besmetting van plantparasitaire aaltjes is aan een submonster van 200 ml grond bepaald. Het 200 mL-grondmonster is over een 180 µm zeef gespoeld. De nematoden in de opgevangen suspensie (<180 µm) zijn vervolgens opgespoeld met een Oosterbrinktrechter. De op de zeef achtergebleven grond en organisch materiaal (> 180 µm) is vier weken geïncubeerd bij 20°C om aanwezige eieren af te rijpen en uit te laten komen. Het aantal nematoden is geteld in twee submonsters van 10 mL, van zowel de spoel- als incubatie fractie. De plantparasitaire aaltjes zijn tot op geslacht-niveau (genus) gedetermineerd. Voor de families Meloidogynidae, Pratylenchidae en Trichodoridae is een determinatie tot op soort uitgevoerd. Uit de suspensie van de spoelfractie zijn twintig tot vijfentwintig aaltjes van deze families "gevist" en gedetermineerd tot op soortniveau.

De grondmonsters zijn niet geanalyseerd op besmetting met cysten. Het aantal vrij in de grond aanwezige *Heterodera* juvenielen (juvenielen van aardappel- en bietencysteaaltjes) is wel bepaald. Gezien de gebruikte techniek (die gericht is op aaltjes die geen cysten vormen) is het getelde aantal echter een zware onderschatting van de daadwerkelijke besmetting met cysteaaltjes.

2.1.4.2 Biotoets met tomaat

De verwachting is dat als gevolg van de inundatie de *M. chitwoodi*-besmetting zeer sterk zal afnemen, mogelijk tot onder de detectiegrens van de gebruikte analysemethode (200 mL grond spoelen met Oostenbrink-trechter). Wanneer er geen besmetting meer wordt aangetoond, betekent dit niet dat de besmetting ook met honderd procent zekerheid volledig gesaneerd is. Door het telen van het voor *M. chitwoodi* goede waardgewas tomaat op de geïnundeerde grond zal een mogelijke (niet detecteerbare) rest-besmetting zich op de tomaat vermeerderen en weer toenemen tot een aantoonbare besmetting.



Foto 6, 7 en 8. Biotoets tomaat.

De biotoets met tomaat is uitgevoerd zowel met de grondmonsters die na de inundatie in de vijf meetplots zijn genomen als met de grond van de inoculum-zakjes die na de inundatie weer zijn opgegraven. Gedurende drie maanden is tomaat op de geïnundeerde grond geteeld (foto 6, 7 en 8). Na drie maanden is de *M. chitwoodi*-besmetting in het wortelstelsel bepaald door het wortelstelsel van de tomatenplanten schoon te spoelen, gedurende zes weken op zeeffjes in de mistkast te plaatsen en de aaltjes die uit het wortelstelsel kruipen op te vangen en te tellen.

2.1.4.3 Chemische bodemvruchtbaarheidsanalyse (EUROFINS)

De algemene bodemvruchtbaarheidsanalyses zijn uitgevoerd door Eurofins. Een standaard mineralenanalyse en analyse van enkele fysische parameters (analyse pakket Basis Akkerbouw) is uitgevoerd. Het organisch stofgehalte, evenals een aantal andere elementen, is bepaald met Near Infra Red Spectroscopy (NIRS). In tabel 2 is per element de door Eurofins gebruikte analysemethode weergegeven.

Tabel 2. Overzicht methodes bodemvruchtbaarheidsanalyse Eurofins.

element	methode	element	methode
Stikstof-totaal	Em: NIRS (TSC®)	C-organisch	Em: NIRS (TSC®)
C/N-ratio	afgeleide waarde	Organische stof	afgeleide waarde
N-leverend vermogen	afgeleide waarde	Lutum	Em: NIRS (TSC®)
Zwavel-totaal	Em: NIRS (TSC®)	C-anorganisch	Em: NIRS (TSC®)
C/S-ratio	afgeleide waarde	Koolzure kalk	afgeleide waarde
S-leverend vermogen	afgeleide waarde	Klei-humus (CEC)	Em: NIRS (TSC®)
P-beschikbaar (P-PAE)	Em: CCL3(PAE®)	Ca-bezetting	Em: NIRS (TSC®)
P-voorraad (P-Al)	Em: NIRS (TSC®)	Mg-bezetting	Em: NIRS (TSC®)
Pw	afgeleide waarde	K-bezetting	Em: NIRS (TSC®)
K-getal	afgeleide waarde	Na-bezetting	Em: NIRS (TSC®)
K-beschikbaar (K-PAE)	Em: CCL3(PAE®)	Mg-beschikbaar	Em: CCL3(PAE®)
K-voorraad	Em: NIRS (TSC®)	Na-beschikbaar	Em: CCL3(PAE®)
Ca-beschikbaar	Em: NIRS (TSC®)	CEC-bezetting	afgeleide waarde
Ca-totale bodemvoorraad	Em: NIRS (TSC®)	Bodemleven	Em: NIRS (TSC®)
Zuurgraad (pH)	Em: PHC3:(Gw ISO 10390)		

Em: Eigen methode, Gw: Gelijkwaardig aan

2.1.4.4 Biologische bodemkarakteristieken

Het bodemleven is de motor voor belangrijke processen die in de bodem plaatsvinden en heeft daardoor invloed op o.a. de gewasgroei. Zo stuurt het bodemleven de mineralisatie en afbraak van organische stof, wat nauw verbonden is met de beschikbaarheid van nutriënten. Verder spelen bacteriën en schimmels een belangrijke rol bij het vormen van bodemaggregaten, en dus voor een goede bodemstructuur. Hiernaast is een divers en actief bodemleven verantwoordelijk voor de algemene bodemweerbaarheid, het vermogen van de bodem om plantenziektes te onderdrukken. Het effect van inundatie op de bodembioïologie is in dit onderzoek gemeten aan de parameters HWC en milieuaaltjes.

2.1.4.4.1 Hot water extractable C (HWC)

HWC is een onderdeel van de totale organische stof en is een maat voor gemakkelijk afbreekbare (labiele) organische koolstof. HWC bestaat voor een groot deel uit polysachariden (mucigel, slijm) die voornamelijk zijn uitgescheiden door micro-organismen en in mindere mate door plantenwortels. Deze verbindingen werken als kit (lijm) bij de vorming van micro-aggregaten die bijdragen aan een goede kruimelige bodemstructuur. HWC lijkt goed te correleren met microbiële koolstof en wordt gezien als een goede maat voor "bodemkwaliteit".

De HWC analyses zijn uitgevoerd door Wageningen Environmental Research (Jaap Bloem). De HWC is gemeten als de hoeveelheid opgeloste koolstof na incubatie van 4 gram grondmonster in 30 mL heet water gedurende 16 uur bij 80°C (Ghani et al., 2003).

2.1.4.4.2 Milieuaaltjes (aaltjesgemeenschap)

In 100 gram grond bevinden zich enkele duizenden aaltjes. Er is een grote diversiteit aan soorten aaltjes, die van verschillende voedselbronnen leven. Op basis van de voornaamste voedselbronnen worden functionele (trofische) groepen onderscheiden: bacterie-etters (bacterivoren), schimmel-etters

(fungivoren), predatoren en alleseters (omnivoren). En plantparasitaire aaltjessoorten, soorten die zich aan planten voeden (herbivoren) en daardoor schadelijk kunnen zijn voor gewassen. De plantparasitaire aaltjessoorten vormen vaak maar een relatief klein deel van de totale aaltjespopulatie in de bodem.

Binnen een trofische groep kunnen de nematoden weer onderverdeeld worden in colonizer-persister groepen (cp-klassen, 1 t/m 5). Nematodensoorten in een bepaalde cp-klasse reageren vergelijkbaar op veranderingen in de bodem. Cp1 nematoden reageren snel op veranderingen in voedselaanbod in de bodem en hebben een vrij korte levenscyclus en -duur. Cp4 en 5 nematoden zijn gevoelig(er) voor veranderingen. Dit zijn de grotere meer gespecialiseerde soorten met een minder snelle voortplanting en langere levensduur. Een hoog aantal nematoden van de klassen Cp4-5 duidt op een stabiele (minder verstoorde) bodem. Op basis van de verhouding tussen de verschillende trofische groepen en cp-klassen zijn indices te berekenen die een indicator zijn voor de conditie van de bodem, het bodem voedselweb (Ferris et al, 2001). Dit zijn:

- **Maturity Index (MI):** wordt berekend op basis van de aantallen niet plant parasitaire aaltjessoorten en is een indicator voor de verstoring/stabiliteit van de bodem. Een lage waarde (1) wijst op een verstoorde en verrijkte bodem. Hoge MI waarden duiden op een stabiele (rijpe) bodem. Landbouwgronden, waarbij het bodemleven wordt verstoord als gevolg van o.a. grondbewerking en bemesting, hebben een MI van circa 2. In landbouwsystemen, die meestal nutriënten-rijk zijn, overheersen nematoden die behoren tot de cp-1 klasse. Bij het bepalen van MI2-5 wordt deze groep buiten de berekening gelaten.
- **Channel Index (CI):** De CI geeft de verhouding weer tussen de schimmel- en bacterie-eters met lage cp-waarden in relatie tot de afbraak van organisch materiaal. Een waarde van 100 betekent dat de afbraak volledig door schimmels en schimmel-eters gedomineerd is. Bij waarden die naar 0 gaan nemen bacteriën en bacterie-eters een belangrijkere rol in.
- **Enrichment Index (EI):** gebaseerd op snelgroeïende bacterie- en schimmeletende nematoden uit de cp-klasse 1 en 2. Een voedselweb is verrijkt als er verstoring optreedt en er meer makkelijk afbreekbaar voedsel(bronnen) beschikbaar komt. De microbiële activiteit is hoog en met name bacterie-eters, die sterk reageren op verrijking van de bodem, nemen toe.
- **Structure Index (SI):** gebaseerd op traag groeiende en reproducerende nematoden met een hoge cp-waarde (3 tot 5). In deze groep vallen veel carnivore en omnivore nematoden (vleeseters en alleseters), maar ook bacterie- en schimmeleters. Een voedselweb heeft meer structuur als voedselbronnen overvloediger zijn of wanneer er herstel van stress optreedt.
- **Basal Index (BI):** gebaseerd op bacterie- en schimmeletende nematoden uit cp-klasse 2. Relatief aandeel cp-2 nematoden ten opzichten van de totale nematoden populatie. Een systeem wordt basaal genoemd als EI en SI beide laag zijn.

De niet-plantparasitaire aaltjes vervullen een belangrijke rol binnen het bodemvoedselweb. Ze beïnvloeden belangrijke bodemprocessen zoals de nutriëntenkringlopen, de structuurvorming maar ook de bodemweerbaarheid. Het aantal soorten, de samenstelling van de verschillende voedselgroepen en de verhouding tussen de voedselgroepen wordt beïnvloed door omgevingsfactoren als bodemtype, beschikbaarheid van voedsel en geteelde gewassen en geeft informatie over de bodem(kwaliteit).

De analyse op milieuaaltjes is uitgevoerd door WUR-OT. Bij twee telers zijn vóór (juli 2018), direct na (begin dec. 2018) en langer na inundatie (maart 2019) grondmonsters gestoken op 5 plekken. De plekken zijn vastgelegd en in de tijd gevolgd. Bij de eerste twee bemonsteringen werd 200 mL opgespoeld, bij de derde bemonstering werd abusievelijk 100 mL ipv 200 mL.

Het 100 of 200 mL grondmonster is over een 180 µm zeef gespoeld. De nematoden in de opgevangen suspensie (<180 µm) zijn vervolgens opgespoeld met een Oosterbrink trechter. Na 48 uur op een melkfilter zijn de aaltjes afgetapt. Microscopisch is het aantal nematoden in deze suspensie bepaald en zijn 150 aaltjes at random gedetermineerd, tot op het laagst mogelijke niveau (familie, geslacht of soort). Op basis van aantallen nematoden per trofische groep en cp-klasse zijn met het online beschikbare programma NINJA de verschillen indices berekend (Sieriebriennikov, 2014). Bij het berekenen van de indexen zijn dauerlarven (ruststadia die niet zijn te determineren) niet meegerekend.

2.1.4.5 Biotoetsen bodemweerbaarheid

Het (microbiële) bodemleven draagt bij aan de bodemweerbaarheid/ziektewerendheid van de bodem. Ziektewerende gronden kenmerken zich doordat ziekteverwekkers zich niet kunnen vestigen of zich minder sterk vermeerderen en/of dat de mate van aantasting lager is dan op basis van het besmettingsniveau verwacht wordt (een hogere schadedrempel). De ziektewering van een grond kan worden bepaald door een (bodem) pathogeen aan de grond toe te voegen, er vervolgens een gevoelig toetsgewas op te telen en de mate van aantasting door het betreffende pathogeen te meten. In drie biotoetsen is het effect van de inundatie op de bodemweerbaarheid/ziektewerendheid getoetst. De biotoetsen zijn uitgevoerd met drie pathogeen-plant-combinaties; de bodemschimmel *Rhizoctonia solani* en suikerbiet, de oömyceet *Pythium* sp. en tuinkers en het plantparasitaire aaltje *Meloidogyne hapla* en sla. De ziektewerendheid van de grond is kort voor en direct na de inundatie getoetst.

2.1.4.5.1 Biotoets *Rhizoctonia*-suikerbiet (Postma en Schilder, 2015).

De biotoets *Rhizoctonia*-suikerbiet is uitgevoerd door Joeke Postma en Mirjam Schilder van WPR. Weerbaarheid tegen *Rhizoctonia* wordt wel gezien als specifieke weerbaarheid. Een specifieke ziektewering is afhankelijk van enkele antagonistische micro-organismen die in staat zijn om een specifieke ziekte te onderdrukken. Dit is het geval voor *Rhizoctonia solani*, die kan worden gecontroleerd door bijvoorbeeld *Pseudomonas*-, *Streptomyces*- en *Lysobacter*-soorten (Postma et al., 2008).

Ziektewering van de gronden (zie paragraaf 2.2.1) tegen *R. solani* AG 2-2 is bepaald door de ziekteverspreiding van dit pathogeen in grond met suikerbietenzaailingen te meten. De toets is 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 (foto 9). Suikerbietenzaad (F763156, met standaard zaadbehandeling hymexazol, thiram (fungiciden) en het insecticide Gaucho1; SESVanderHave, Rilland, NL) zijn gezaaid in twee rijen met een afstand van 2 cm. In totaal werden 22 zaden per tank gebruikt. Na opkomst van de zaden is vooraan elke rij het pathogeen toegevoegd. Hiervoor werden vijf haverkorrels, gekoloniseerd met *R. solani* AG 2-2IIIB isolaat 12-194a (IRS, Bergen op Zoom, Nederland), 2 cm voor de zaailingen net onder het grondoppervlak aangebracht. Ziekteverspreiding is tweemaal per week bepaald door de aangetaste zaailingen te scoren (bruinigrijze lesies op de stengel, verwelkte en dode planten). De ziekteverspreiding 21-22 dagen na inoculatie is gebruikt als eindbeoordeling, aangezien in deze periode in een deel van de tanks de maximale ziekteverspreiding van 22 cm werd bereikt. (Postma en Schilder, 2015).



Foto. 9 Biotoets voor het bepalen van de bodemweerbaarheid tegen *Rhizoctonia solani*.

2.1.4.5.2 *Biotoets Pythium-tuinkers (Bongiorno et al., 2019)*

De *Pythium*-tuinkers biotoets is eveneens uitgevoerd door Joeke Postma en Mirjam Schilder (WPR). De *Pythium*-biotoets geeft een indruk van de meer generalistische ziektevering. Een generalistische ziektevering wordt vooral in verband gebracht met een divers en actief bodemleven dat ziekteverwekkers door competitie en antagonistische werking onderdrukt. De oömyceet *Pythium ultimum*, veroorzaker van de omvalziekte, is waarschijnlijk gevoelig voor deze generalistische ziektevering.

Om de ziektevering van de grond tegen *Pythium* te testen is tuinkers als toetsgewas gebruikt. Aan de helft van de te testen grond van elk monsterveldje is *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 geïncubeerd bij 20 °C. Daarna zijn per grondmonster steeds 4 potjes (Ø 6 cm, 95 mL) gevuld met *Pythium* geïnculeerde grond en 4 potjes met niet geïnculeerde grond. Op het oppervlak van elk potje is 0,5 g onbehandelde biologische tuinkers zaden (*Lepidium sativum*, De Bolster, Epe, Nederland) verspreid. Alle potjes zijn individueel op een schoteltje geplaatst om kruisbesmetting tussen verschillende behandelingen te voorkomen. Potten zijn 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 zijn 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 is het plastic folie verwijderd en de potten kregen indien nodig van onderaf water. Zeven dagen na het zaaien is 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 (foto 10).



Foto 10. *Biotoets met tuinkers voor het bepalen van de bodemweerbaarheid tegen Pythium ultimum. Links gronden met ziektevering rechts gronden zonder ziektevering wat zich uit in sterfte van de tuinkers zaailingen*

2.1.4.5.3 *Biotoets Meloidogyne hapla-sla*

In een biotoets met sla is het effect van de inundatie op de bodemweerbaarheid tegen het noordelijk wortelknobbelaaltje *Meloidogyne hapla* getoetst. Deze toets is uitgevoerd door WUR-Open Teelten.

Potten zijn gevuld met 0.5 L testgrond en één dag later zijn 600 *M. hapla* J2-juvenielen per pot geïnculeerd (6x 2 mL aaltjessuspensie met 50 *M. hapla* /mL; tweede juveniele stadium). Vier dagen na de inoculatie is per pot één slaplantje van ca. 14 dagen oud geplant (cultivar Wengen, RijkZwaan; biologisch zaad). De planten zijn gedurende 6 weken in de kas verzorgd (18-22 °C bij 8 uur nacht - 16 uur dag). Extra slaplanten zijn gebruikt om tussentijds te bepalen of de door *M. hapla* geïnduceerde wortelknobbels voldoende ontwikkeld waren om deze goed te kunnen tellen. Aan het einde van de proef (6 weken na inoculatie) zijn vers- en drooggewicht van de krop bepaald. De wortels zijn

schoongespoeld en vers gewogen, waarna het aantal wortelknobbels per plant is geteld. Na beoordeling van de wortels is ook het drooggewicht van de wortels bepaald. Per grondmonster zijn 4 herhalingen ingezet.

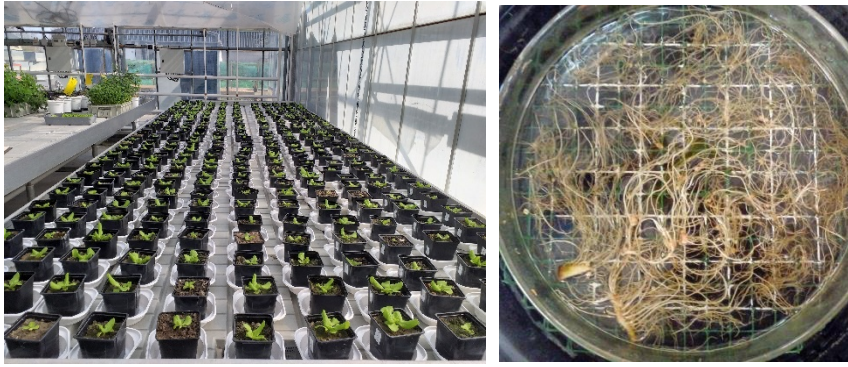


Foto 11 en 12. *Biotoets met sla voor het bepalen van de bodemweerbaarheid tegen *M. hapla*. Rechts een telbakje waarin het aantal knobbels op het wortelstelsel worden geteld.*

2.1.4.6 Bodemtemperatuur

Met een datalogger (i-button) is gedurende de inundatieperiode de bodemtemperatuur op 20 cm diepte geregistreerd. Op elk perceel zijn in drie van de vijf meetveldjes de temperatuurmeters ingegraven.

2.2 Bakkenproef; effect inundatie-condities

De effectiviteit van een inundatie is afhankelijk van diverse factoren. In een bakkenproef, onder geconditioneerde omstandigheden, is het effect van inundatieduur, temperatuur en toevoeging van organisch materiaal op de effectiviteit van inundatie voor de bestrijding van *M. chitwoodi* onderzocht.

In de proef zijn onderstaande factoren getoetst:

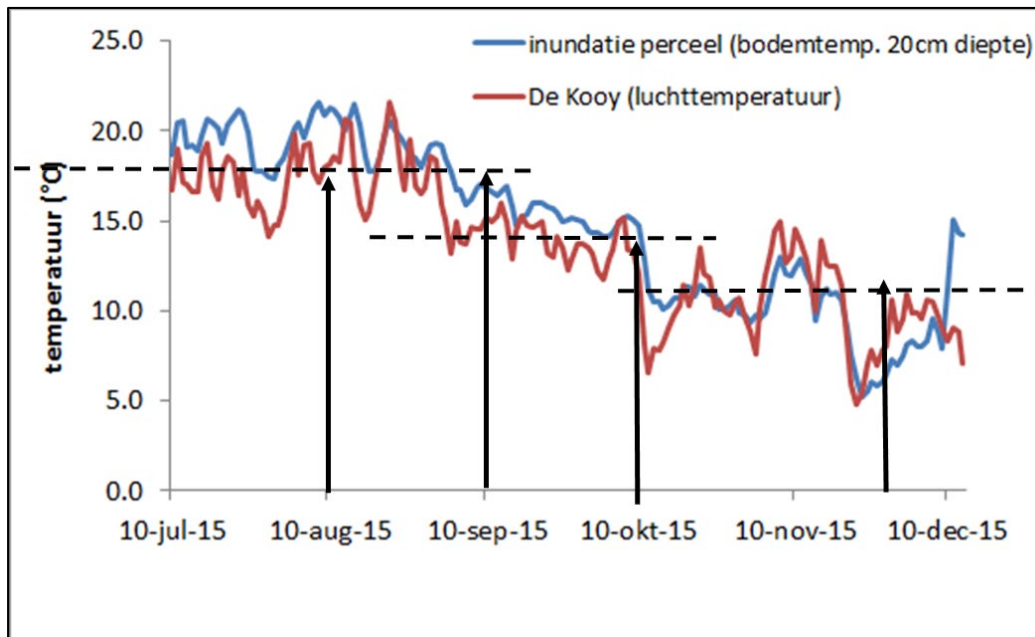
A. Duur van de inundatie (3)

1. Zes weken: een inundatie duur van zes weken is naar verwachting te kort om een besmetting volledig te saneren. Vraag is of het mogelijk is om door toevoegen van organisch materiaal de inundatie-duur (sterk) te verkorten?
2. Tien weken
3. Veertien weken (10 weken was in de proef van Elberse en Visser (2013) te kort voor volledige sanering. In de praktijk wordt 12-14 geïnundeerd voor bestrijding van stengelaaltjes.

B. (Bodem)temperatuur (2)

De proef is uitgevoerd bij twee temperatuur-regiems:

1. Continu 18°C (praktijkadvies is om de inundatie uit te voeren bij een bodemtemperatuur van minimaal 16°C, Spaul (1992)).
2. Temperatuurverloop; wat is de effectiviteit wanneer de inundatie pas later in de zomer kan worden gestart, na half augustus. Op basis van temperatuurmetingen die in 2015 op het inundatie perceel in de Wieringermeer zijn uitgevoerd, is een temperatuurverloop afgeleid van: vier weken 18 °C, vier weken 14 °C en 6 weken 10 °C (zie figuur 1).



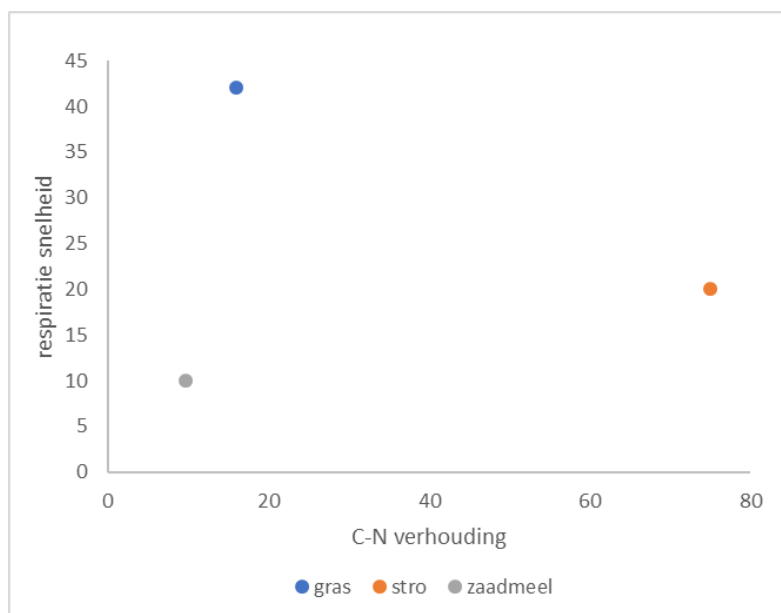
Figuur 1. Luchttemperatuur (weerstation De Kooy) en gemiddelde bodemtemperatuur op 20 cm diepte gemeten gedurende de inundatie, Wieringermeer 2015.

C. Organische stofbronnen (3, en geen toevoeging)

Gras, stro en zaadmeel zijn als organische stof (OS) bronnen toegepast. Deze OS bronnen verschillen onder andere in C/N verhouding en afbreekbaarheid (zie figuur 2).

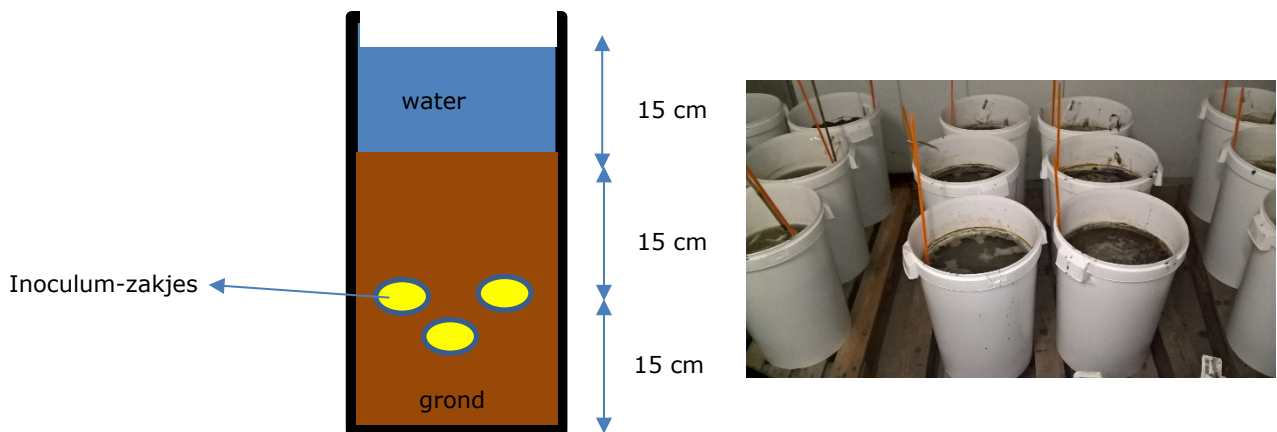
1. Gras. Dosering: 40 ton/ha (16 gram/liter grond) Dit is een vergelijkbare dosering als wordt toegepast bij een anaerobe grondontsmetting.
2. Stro. Dosering: 20 ton/ha (8 gram/liter grond). Inundatie kan na de teelt van een bolgewas worden uitgevoerd. In de teelt van tulpen, hyacinten en narcissen wordt respectievelijk 10 ton, 20 ton en 10-15 ton stro per hectare opgebracht.
3. Zaadmeel. Dosering: 7 ton/ha (2,8 gram/liter grond).
4. Geen toevoeging.

Om de natuurlijke sterfte vast te stellen is ook een object "grond zonder OS-toevoeging - geen inundatie" in de proef opgenomen.



Figuur 2. Relatie tussen CN-verhouding en afbreekbaarheid (mmol O₂/kg OS/uur) van de organische stofbronnen.

De bakkenproef is uitgevoerd met een lichte zavelgrond, afkomstig van het praktijkperceel van het proefveld dat in 2015 is geïnundeerd (zie 2.3). De grond heeft een organisch stofgehalte van 1.5%, een pH van 7,5 en een percentage afslibbaar van 12% (zie bijlage 1, bodemvruchtbaarheidsanalyse). Emmers met een hoogte van 50 cm en inhoud van 42 L zijn gevuld met onbehandelde grond en grond waar organisch materiaal door gemengd is. De emmers zijn gevuld met circa 30 L grond, tot 15 cm onder de rand van de emmer. Voor de berekening van de hoeveelheid organisch materiaal per liter grond is uitgegaan van een behandeling van de bouwvoor met een bouwvoordiepte van 25 cm. Bij een bouwvoor van 25 cm is het volume van één hectare 2.500.000 liter (1000 dm * 1000 dm * 2.5 dm). Het effect van de inundatie is gemeten aan een kunstmatig aangebrachte *M. chitwoodi* besmetting. Op circa 15 cm van de bodem van de emmer zijn drie inoculum-zakjes ingebracht (zie 2.1.3 en afbeelding 2), één voor elk van de drie uithaalmomenten. Bij het maken van de inoculum-zakjes zijn besmette tomatenwortels gemengd met de grond van het betreffende object. Na inbrengen van de inoculum-zakjes zijn de emmers (aan)gevuld met water tot circa 5 cm onder de rand van de emmer en vervolgens bij de verschillende behandeltemperaturen geplaatst. Zes, tien en veertien weken na de start van de inundatie is per emmer één inoculumzakje opgegraven. De grond is gedroogd tot veldcapaciteit. Een submonster van 200 ml grond is genomen om, met de opspoel-methode (zie 2.1.3.1) de besmetting met *M. chitwoodi* te bepalen. Bij een aantal objecten zal naar verwachting de *M. chitwoodi*-besmetting zeer laag zijn. Om besmettingen die onder de detectiegrens van de opspoelmethode liggen toch waar te kunnen nemen, is met het restant van de grond een biotoets met tomaat ingezet (zie 2.1.3.2)



Afbeelding 2: schematische weergave emmer-proef

2.3 Monitoring inundatieperceel 2015

Op initiatief van een akkerbouwer in de Wieringermeer is in 2015 een met *M. chitwoodi* besmet perceel geïnundeerd. Op vijf geselecteerde plekken op het perceel is kort voorafgaand aan de inundatie en in december na het beëindigen van de inundatie in de laag 0-30 en 30-60 cm de besmetting met *M. chitwoodi* bepaald. Daarnaast is ook een kunstmatige besmetting aangebracht. Verspreid over het perceel zijn zakjes met *M. chitwoodi*-besmet wortelmateriaal ingegraven. De zakjes zijn ingebracht in speciaal geprepareerde emmers om introductie van *M. chitwoodi* in het perceel te voorkomen. Na een technisch goed uitgevoerde inundatie (14 weken in de zomer) zijn in december, na het afdalen van het water, de inoculum-zakjes weer opgegraven.

In zowel de veldgrond als in de inoculum-zakjes zijn geen *M. chitwoodi*-aaltjes meer gevonden. Met deze (grond) monsters is ter controle ook een biotoets met tomaat (zeer goede waard) uitgevoerd. Door tomaat op de testgrond te telen kunnen zeer lage besmettingsniveaus worden aangetoond. Ook in de biotoets met tomaat werd geen *M. chitwoodi* meer gevonden.

De *M. chitwoodi*-besmetting op dit perceel lijkt door de inundatie volledig te zijn gesaneerd (Visser en Molendijk; onderzoeksrapport Praktijkonderzoek AGV 3250321200, augustus 2017).

Op het perceel zijn vervolgens suikerbieten (2016), plantuien (2017) en in 2018 consumptieaardappelen geteeld.

Om inzicht te krijgen in het duureffect van de inundatie is het perceel in 2018, na de oogst van de consumptieaardappelen, opnieuw bemonsterd. De vijf plekken (3 x 3 m) die ook in 2015 zijn bemonsterd, zijn met gps opnieuw uitgezet en bemonsterd. Per plot is met een 25 mm boor circa 50 L grond uit de bouwvoor (laag: 0-30 cm) verzameld. Een submonster van 200 mL grond is genomen om, met de opspoel-methode (zie 2.1.3.1) de besmetting met *M. chitwoodi* te bepalen. Het restant van de grond is gebruikt voor de biotoets met tomaat, zodat eventueel zeer lage dichtheden van *M. chitwoodi* kunnen worden gedetecteerd. Per plot zijn 10 potten van 5 L ingezet.

3 Resultaten en Discussie

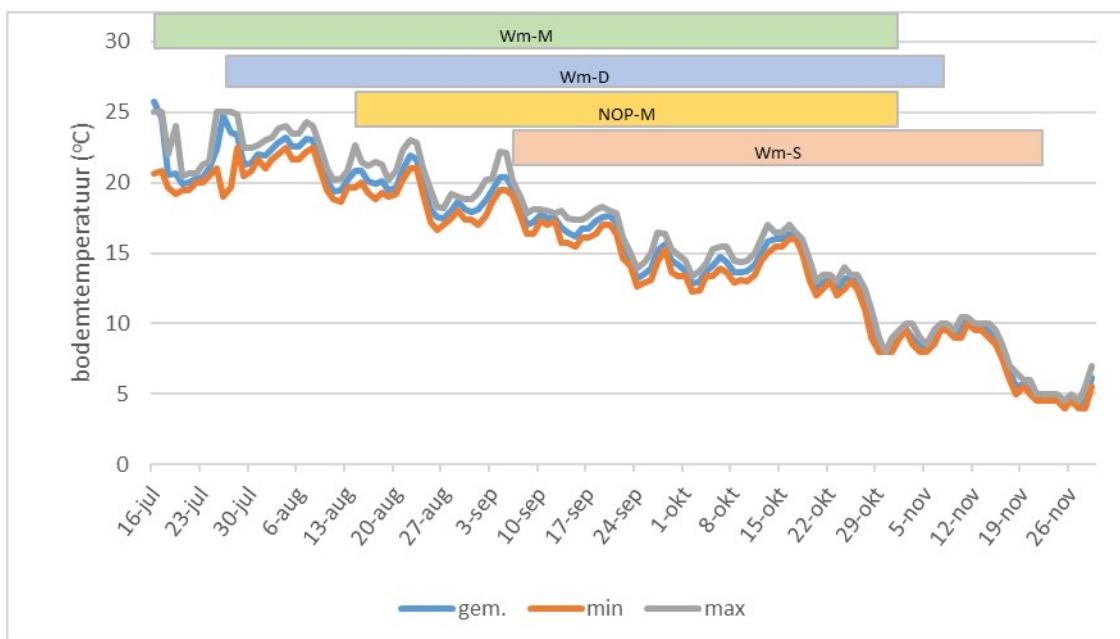
De resultaten van de metingen aan het effect van inundatie in de vier praktijkpercelen, het onderzoek naar het effect van temperatuur, toedienen van organische stof en inundatieduur (bakkenproef) en het monitoren van het duureffect van de inundatie die op een praktijkperceel in 2015 is uitgevoerd worden in dit hoofdstuk weergegeven.

3.1 Praktijkpercelen

Op drie praktijkpercelen is het effect van de inundatie op de natuurlijke en een kunstmatig aangebrachte *M. chitwoodi* besmetting onderzocht. Op één perceel, dat niet besmet was met *M. chitwoodi*, is alleen het effect op de kunstmatig aangebrachte besmetting onderzocht. De grond in alle percelen bestaat uit (zeer) lichte zavel met een pH van circa 7, een organisch stofgehalte van 1,5 tot 1,8 procent en een afslibbaarheid van circa 10 procent.

3.1.1 Temperatuurverloop

In onderstaande figuur is de minimum-, maximum- en gemiddelde dagtemperatuur op circa 20 cm diepte weergegeven. De verschillen tussen de percelen zijn zo verwaarloosbaar klein dat weergave per perceel geen toegevoegde informatie geeft. Daarom worden de gemiddelde waarden weergegeven van de vier inundatiepercelen, gemeten vanaf het tijdstip dat de inundatie werd gestart. Na 20 september daalt de bodemtemperatuur op alle percelen onder de 16 °C, een temperatuur die momenteel als minimumtemperatuur voor een effectieve inundatie wordt gezien. Roosjen (1990) en Spaul (1992) laten in hun onderzoek zien dat de effectiviteit sterk afneemt bij een inundatietemperatuur onder 15°C. Tussen 20 september en half oktober schommelt de bodemtemperatuur rond de 13 à 14 °C, waarna deze geleidelijk afneemt naar circa 5°C eind november. De balken in de figuur geven de periode en duur van de inundatie weer; de start en het moment waarop de inundatie is beëindigd.



Figuur 3. Gemiddelde bodemtemperatuur op circa 20 cm diepte tijdens de inundatie (de gekleurde balken geven per perceel; het begin en einde van de inundatieperiode weer), inundatie-onderzoek praktijkpercelen 2018.

Op 17 juli is de eerste teler (Wm-M) gestart met de inundatie en op 5 september de laatste. Bestrijding van aardappelopslag was de belangrijkste reden voor de inundatie van de teler die pas begin september is gestart met het onder water zetten van zijn perceel. In tabel 3 is van elk perceel de datum weergegeven waarop de inundatie is gestart en de datum waarop de inundatie is afgebroken. Het moment waarop de teler is begonnen met het oppompen van water is gekozen als startdatum van de inundatie. Het duurt dan nog circa drie dagen voordat het perceel volledig onder water staat. De einddatums weergegeven in de tabel zijn de datums waarop de teler gestopt is met pompen. Het duurt dan vaak nog wel één à twee weken voordat het perceel echt droog begint te vallen.

Met uitzondering perceel NOP-M hebben alle percelen minimaal 12 weken onder water gestaan. Echter, geen van de telers heeft minimaal 12 weken geïnundeerd bij een bodemtemperatuur van minimaal 16 °C. Gebaseerd op onderzoek van Elberse en Visser (2013) en het inundatie-onderzoek dat in 2015 op een praktijkperceel is uitgevoerd (zie hoofdstuk 3.5), lijkt een inundatieperiode van twaalf tot veertien weken bij een bodemtemperatuur van minimaal 16°C noodzakelijk om een *M. chitwoodi*-besmetting volledig te saneren.

Tabel 3. Gegevens inundatiepercelen, inundatie-onderzoek praktijkpercelen 2018.

Perceel	Wieringermeer-M	Wieringermeer-D	Wieringermeer-S	NO Polder-M
Perceelscode	Wm-M	Wm-D	Wm-S	NOP-M
Start inundatie	17 juli	26 juli	5 sept.	14 aug.
Afbreken inundatie	2 nov	7 nov.	23 nov.	31 okt.
Inundatieduur (weken)	16	15	13	11
Inundatieduur met temp. >16 °C (weken)	11	10	3	6

3.1.2 Effect op de natuurlijke besmetting van plant parasitaire aaltjes

In de tabellen 4, 5 en 6 is voor de percelen Wm-M, Wm-D en NOP-M de natuurlijke besmetting met plant parasitaire nematode (PPN) voor en na de inundatie weergegeven, bepaald met de opspoelmethode (met vier weken incubatie). Perceel Wm-S was niet besmet met *M. chitwoodi*. Op dit perceel, dat geïnundeerd is om aardappelopslag te bestrijden, is alleen het effect van de inundatie op de kunstmatig aangebrachte *M. chitwoodi* besmetting bepaald.

Perceel Wm-M was, voorafgaand aan de inundatie, zeer licht besmet met *M. chitwoodi*, het bietenwortellesieaaltje *Pratylenchus neglectus* en *Paratrichodorus pachydermus* (Tabel 4). Na de inundatie zijn geen van deze aaltjessoorten meer teruggevonden.

Tabel 4 Natuurlijke besmetting van plant parasitaire aaltjes kort voor (Pi) en direct na (Pf-1) inundatie en in het daaropvolgende voorjaar (Pf-2), perceel **Wm-M**, 2018-2019.

monstermoment	<i>Meloidogyne chitwoodi</i> (n/100 mL grond)	<i>Pratylenchus neglectus</i> (n/100 mL grond)	<i>Paratrichodorus pachydermus</i> (n/100 mL grond)
Pi (17-7-2018)	2 b	4 b	12 b
Pf-1 (11-12-2018)	0 a	0 a	0 a
Pf-2 (28-3-2019)	0 a	0 a	0 a

Perceel NOP-M is licht besmet met twee *Meloidogyne*-soorten; *M. chitwoodi* en het graswortelknobbelaaltje *M. naasi* (Tabel 5). Daarnaast is het perceel ook (zeer) licht besmet met aaltjes van de geslachten *Pratylenchus* (wortellesieaaltjes) en *Paratylenchus* (speldaaftjes). Na de inundatie zijn er geen *M. chitwoodi* en *Pratylenchus* spp meer teruggevonden. De inundatie heeft geen of maar een zeer beperkt effect gehad op de besmetting met *M. naasi* en *Paratylenchus* spp. De besmetting met *Paratylenchus* is na de inundatie licht afgenomen (De aaltjes zijn niet tot op soort gedetermineerd, bij de milieuaaltjesanalyse van deze monsters is de soort P, projectus aangetroffen). De *M. naasi*-besmetting die na inundatie is gemeten ligt iets hoger dan voor de inundatie. Bekend is dat de levenscyclus *M. naasi* een rustfase (diapauze/dormancy) kent. Aaltjes in dit stadium laten zich niet of nauwelijks lokken. Na een periode met lage(re) temperaturen worden de aaltjes pas weer actief (Antoniou, 1987). Hierdoor is de besmetting gemeten kort voorafgaand aan de inundatie waarschijnlijk een onderschatting van de daadwerkelijke besmetting. *M. naasi* is ongevoelig voor inundatie. Dit wordt bevestigd door resultaten van inundatie-onderzoek met rest- en sorteergroend in 2020. In dit onderzoek bleek *M. naasi* een inundatie van zestien weken bij een temperatuur van minimaal 16°C te overleven (WUR-OT/HLB, zie bijlage 3).

Tabel 5 Natuurlijke besmetting van plant parasitaire aaltjes kort voor (Pi) en direct na (Pf-1) inundatie en in het daaropvolgende voorjaar (Pf-2), perceel **NOP-M**, 2018-19.

Monstermoment	<i>Meloidogyne chitwoodi</i> (n/100 mL grond)	<i>Meloidogyne naasi</i> (n/100 mL grond)	<i>Pratylenchus</i> spp (n/100 mL grond)	<i>Paratylenchus</i> spp (n/100 mL grond)
Pi (14-8-2018)	21 b	4 a	3 b	43 b
Pf-1 (18-12-2018)	0 a	33 ab	0 a	9 a
Pf-2 (1-3-2019)	0 a	77 b	0 a	13 a

Het perceel Wm-D is licht besmet met *M. chitwoodi* en matig tot zwaar besmet met het Noordelijk wortelknobbelaaltje *M. hapla* (Tabel 6). Op het perceel is ook een lichte besmetting met *Pratylenchus* spp en *Trichodorus similis* aangetroffen. De inundatie heeft de besmetting met beide wortelknobbelaaltjessoorten teruggedrongen tot onder de detectiegrens (of mogelijk volledig gesaneerd). Na de inundatie zijn er ook geen aaltjes van het geslacht *Pratylenchus* meer aangetroffen maar nog wel een zeer lichte besmetting met *T. similis*. Vanuit de bollenteelt is bekend dat Trichodoride-aaltjes (*Trichodorus similis* en *Paratrachodorus pachydermus*) niet volledig door inundatie worden bestreden (ASJES, 1996). *Paratylenchus* overleeft inundatie ook. Er is niet vastgesteld welke *Paratylenchus* soort het hier betrof.

Tabel 6 Natuurlijke besmetting van plant parasitaire aaltjes kort voor (Pi) en direct na (Pf-1) inundatie, perceel **Wm-D**, 2018.

Monstermoment	<i>Meloidogyne chitwoodi</i> (n/100 mL grond)	<i>Meloidogyne hapla</i> (n/100 mL grond)	<i>Pratylenchus</i> spp (n/100 mL grond)	<i>Trichodorus similis</i> (n/100 mL grond)
Pi (26-7-2018)	3 b	289 b	4 b	4 a
Pf-1 (11-12-2018)	0 a	0 a	0 a	1 a

3.1.2.1 Biotests met tomaat

Op de drie percelen met een natuurlijke *M. chitwoodi*-besmetting is na de inundatie, met de opspoelmethode, geen *M. chitwoodi* meer gevonden. Dit kan betekenen dat de besmetting volledig is gesaneerd of dat deze is gedaald tot onder de detectiegrens van de gebruikte detectiemethodiek. Met het restant van de grondmonsters die na de inundatie zijn genomen is daarom een biotests met tomaat ingezet (zie 2.1.4.2). Met deze biotests kunnen zeer lage besmettingen, onder de detectiegrens van de opspoelmethode, worden aangetoend. Ook in de biotests is geen enkele besmetting met *M. chitwoodi* meer aangetoend terwijl de niet geïnundeerde referentie 467 *M. chitwoodi* aaltjes per 100 ml grond aaltjes opleverde

Tabel 7. Eindbesmetting *M. chitwoodi* in de biotoets tomaat met geïnundeerde grond, inundatie-onderzoek praktijkpercelen 2018.

Perceel	Niet geïnundeerde grond (ref, 20 °C)			
	Wieringermeer-M	Wieringermeer-D	NO Polder-M	
Eindbesmetting (n/100 ml grond)	467 b	0 a	0 a	0 a

3.1.3 Effect op de kunstmatig aangebrachte *M. chitwoodi*-besmetting

Zoals verwacht was de natuurlijke *M. chitwoodi*-besmetting op alle drie de percelen erg laag. Bij een laag besmettingsniveau is het lastig om betrouwbaar het effect van de inundatie te meten. Daarom is op de percelen, op vijf plekken en op twee diepten, ook een kunstmatige besmetting met *M. chitwoodi* in zakjes aangebracht (zie 2.1.3).

De beginbesmetting in de inoculum-zakjes is 1175 *M. chitwoodi* per 100 ml grond.

Na de inundatie zijn de zakjes weer opgegraven. Om de natuurlijke sterfte vast te stellen zijn inoculum-zakjes, voor de duur van de inundatie (half juli tot begin december), bewaard bij 20°C. De grond in de zakjes is gemengd en een submonster van 200 mL is genomen voor de aaltjesanalyse met de opspoel-methode. In tabel 8a is de besmetting in de inoculum-zakjes na de inundatie weergegeven.

In de zakjes die bewaard zijn bij 20 °C is de besmetting door natuurlijke sterfte afgenomen met ruim 50% naar 535 *M. chitwoodi* aaltjes per 100 mL grond. Op perceel Wm-M en NOP-M heeft de inundatie de besmetting, in zowel de zakjes die op 20 cm als op 40 cm diep waren ingegraven, teruggedrongen tot onder de detectiegrens. Op perceel Wm-S, waar de inundatie pas begin september is gestart, is na de inundatie nog een zeer lichte besmetting in de inoculum-zakjes aangetroffen. Dit perceel is wel bijna 12 weken geïnundeerd, maar bij onvoldoende hoge temperaturen. Alleen de eerste zes weken van deze inundatie lag de bodemtemperatuur boven de 16 °C.

Tabel 8a Effect van inundatie op een kunstmatige *M. chitwoodi* besmetting ($P_i=1175 M. chitwoodi/100 mL$ grond) aangebracht op twee diepten in de bodem in drie praktijkpercelen, 2018.

Perceel	Start inundatie	Diepte onder maaiveld (cm)	Meloidogyne chitwoodi** (n/100 ml grond)
Referentie (20°C)*	17 juli	-----	535 c
Wm-M	17 juli	20	0 a
		40	0 a
NOP-M	14 aug.	20	0 a
		40	0 a
Wm-S	5 sept	20	1 b

* zakjes met inoculum bewaard in grond bij 20 °C

** totaal van de minerale (spoel) – en organische fractie (vier weken incubatie)

Met de grond uit de inoculum-zakjes is ook nog een biotoets met tomaat ingezet. De eindbesmetting bij deze biotoets-tomaat zijn weergegeven in tabel 8b.

De resultaten bevestigen de resultaten van de opspoelmethode (tabel 8). De eindbesmetting bij het referentie-object (geen inundatie, bewaring bij 20 °C) is 151 *M. chitwoodi*/100 mL grond. De inundatie op perceel Wm-M en NOP-M lijkt de besmetting te hebben gesaneerd. Ook in de biotoets zijn er geen *M. chitwoodi* aaltjes meer gevonden. Dit in tegenstelling tot perceel Wm-S waar ook in de biotoets met tomaat een *M. chitwoodi* besmetting is vastgesteld.

Tabel 8b *M. chitwoodi* besmetting in een biotoets met tomaat uitgevoerd met kunstmatig besmette grond na inundatie, inundatie-onderzoek praktijkpercelen, 2018.

Perceel	Start inundatie	Diepte onder maaiveld (cm)	Meloidogyne chitwoodi (n/100 ml grond)
Referentie (20°C)	17 juli	-----	151 b
Wm-M	17 juli	20	0 a
		40	0 a
NOP-M	14 aug.	20	0 a
		40	0 a
Wm-S	5 sept	20	3 b

3.1.4 Milieuaaltjes

Perceel Wm-M

Vóór de inundatie (Pi) was minder dan 10% van de actieve aaltjes in het perceel plantenparasiet (Tabel 9, Figuur 4). De plantenparasieten bestonden ongeveer voor de helft uit trichodoriden, een kwart uit Heteroderidae en *Meloidogyne chitwoodi* en een kwart uit wortelhaarvoeders. Van deze laatste groep wordt aangenomen dat ze weinig invloed hebben op de groei van de plant. De overige ruim 90% van de aaltjes waren bacterie-etters en schimmeleters, in gelijke verhouding. Er werden geen predatoren en alleseters aangetroffen in de grond. Daarnaast kwamen dauerlarven in de grond voor. Deze dauerlarven zijn een ruststadium van bacterie-etters die snel in aantal kunnen toenemen wanneer er voedsel in de grond beschikbaar komt.

Na inundatie was het aantal aaltjes afgenomen. Vlak na inundatie (Pf1) werden, op een enkele wortelhaarvoeder na, vrijwel alleen bacterie-etters van één geslacht gevonden (Tabel 9, Figuur 4). Dit geslacht *Monhystrella* staat bekend om bestendigheid tegen hoge osmotische stress en komt voor in zoute binnenwateren (Jacobs 1987). Dit geslacht werd niet gevonden vóór inunderen en is mogelijk met het inundatie-water binnengebracht. Er werden geen schimmeleters en echte plantenparasieten gevonden.

Op tijdstip Pf2 waren de aantallen aaltjes in de grond zeer laag (tabel1). Twee derde van de aaltjes was plantenparasiet en een derde bacterie-etters (Figuur 4). Het geslacht *Monhystrella* werd niet meer gevonden. De plantenparasieten die werden gevonden waren *Heterodera* en wortelhaarvoeders. De diversiteit, dat wil zeggen het aantal verschillende groepen aaltjes, nam zeer sterk af van ruim 17 vóór inundatie tot 1,4 na inundatie (Tabel 9). De diversiteit was na een aantal maanden licht toegenomen. De totale biomassa aaltjes (zonder dauerlarven) was laag vóór en werd nog lager na inunderen.

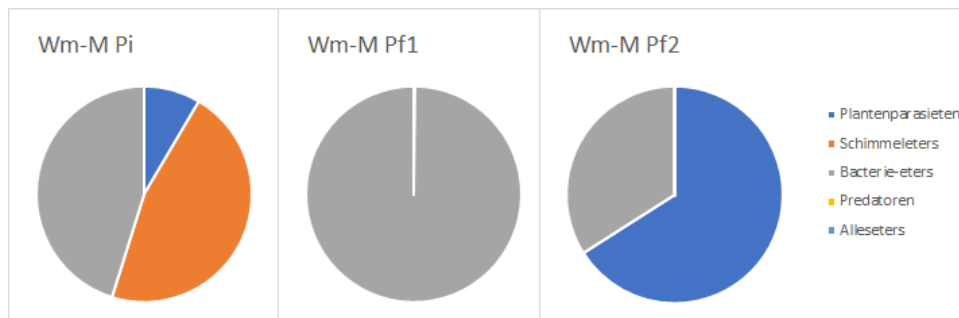
De waarde van de MI vóór inunderen was bijna twee en werd veroorzaakt door vrijwel uitsluitend vóórkomen van aaltjes met een cp-waarde van twee (dauerlarven niet meegerekend). Net na inunderen kwam slechts één geslacht voor met cp-waarde twee en op Pf2 kwamen in drie monsters alleen plantenparasieten voor, waardoor geen MI berekend kon worden. Gezien het zeer lage aantal groepen na inunderen waarmee deze index is berekend, en het lage aantal monsters, kan de MI hier niet als een indicator worden gezien voor verstoring. De MI2-5 in dit systeem was slechts iets hoger dan de MI, omdat er weinig nematoden uit cp-klasse 1 voorkwamen.

Vóór inundatie was de CI hoog, wat betekent dat er meer snelgroeiende schimmeleters dan bacterie-etters in de grond voorkwamen. Net na inundatie waren deze groepen verdwenen en was het daarmee niet mogelijk een CI te berekenen. Een aantal maanden later was de CI 0, wat betekent dat er geen snelgroeiende schimmeleters waren, maar alleen snelgroeiende bacterie-etters. Het verloop van de BI laat zien dat het voedselsysteem vrij basaal was en na inundatie alleen bestond uit een basaal netwerk. De indexen geven hier slechts een beperkte indruk van het voedselweb, omdat vlak na de inundatie de diversiteit zeer laag was en een aantal maanden later het aantal nematoden zeer laag was.

Tabel 9. Perceel Wm-M. Totaal aantal aaltjes, verdeling over voedselgroepen, diversiteit en indexen berekend aan de hand van de waargenomen groepen aaltjes bij bemonstering vóór inunderen (Pi), vlak na inunderen (Pf1) en ca. 4 maanden na inunderen (Pf2).

Variabele	Pi	Pf1	Pf2
Totaal aantal aaltjes*	560	231	7
Aantal plantenparasieten*	41	0,5	4,4
Aantal bacterie-eters*	216	231	2,3
Aantal schimmeleters*	221	0	0
Aantal predatoren*	0	0	0
Aantal alleseters*	0	0	0
Aantal dauerlarven (ruststadium)*	83	0	0,3
Diversiteit (aantal groepen)	17,2	1,4	2,4
Maturity Index (MI)	1,99	2,00	2,18
Maturity Index 2-5 (MI2-5)	2,01	2,00	2,25
Channel Index (CI)	89	-	0
Basal Index (BI)	63	100	45
Totale biomassa (mg)*	0,61	0,02	0,10

* per 100 mL verse grond

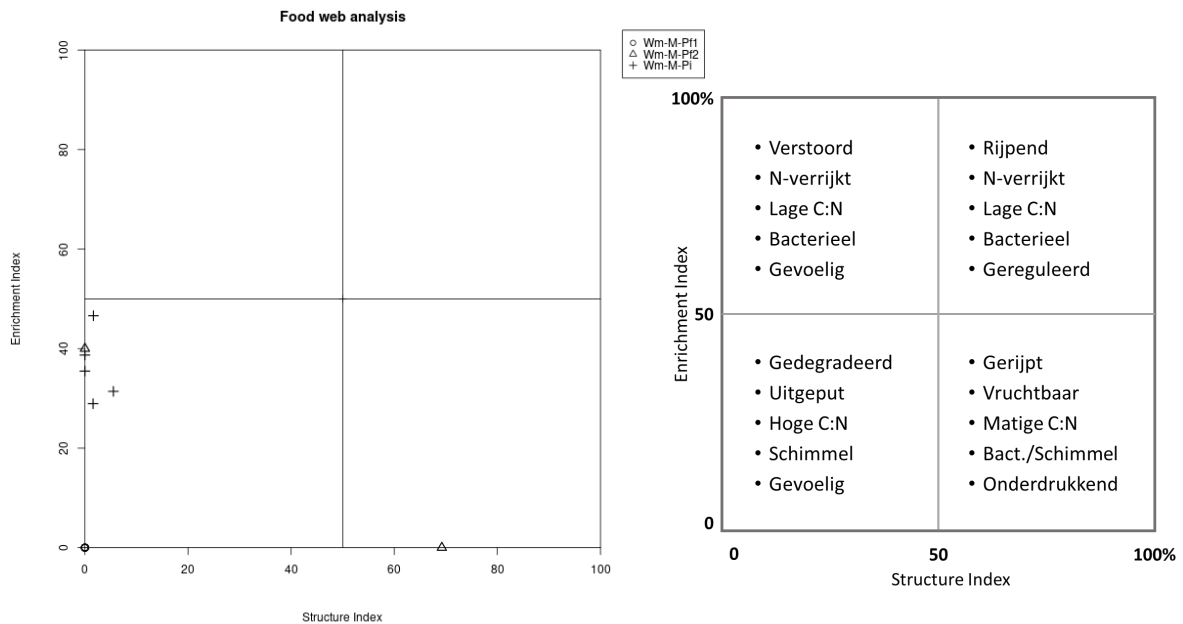


Figuur 4. Perceel Wm-M. Verdeling van de aaltjes over de verschillende voedselgroepen (plantenparasiet, bacterie-eter, schimmeleter, predator en alleseter) bij bemonstering vóór inunderen (Pi), vlak na inunderen (Pf1) en ca. 4 maanden na inunderen (Pf2).

De Enrichment Index (EI) is een maat voor de aanwezigheid van aaltjes die snel reageren op een toename in voedselaanbod. Vóór inundatie waren deze aaltjes in beperkte mate aanwezig (Fig. 5). Net na inundatie was de EI nul, terwijl nog een aantal maanden later één monster een verhoogde EI had en één monster een EI van nul. Op Pf2 werden in drie monsters alleen plantenparasieten gevonden, waardoor geen EI berekend kon worden.

De Structure Index (SI) is een maat voor de complexiteit, structuur en interacties tussen aaltjes in de grond. Lagere waarden geven aan dat het voedselweb basaal is met voornamelijk bacterie- en schimmeleters met lage cp-waarden. Hogere waarden van de SI daarentegen zijn een indicatie voor een complexer voedselweb, waarin ook groepen voorkomen die gebruik maken van andere voedselbronnen (zoals predatoren en omnivoren) en met hogere cp-waarden. Dit zijn nematoden die gevoeliger zijn voor verstoring (Fig. 5). In het perceel Wm-M was de SI vóór inunderen zeer laag (Pi), was nul net na inunderen (Pf1) en een aantal maanden later (Pf2) was er één monsterpunt met een hogere waarde (Fig. 5). Deze hogere waarde wordt veroorzaakt door het aantreffen van één aaltje met hogere cp-waarde naast één aaltje met een lagere cp-waarde. Op Pf2 werden in drie monsters alleen plantenparasieten gevonden, waardoor geen SI berekend kon worden.

Uit het voedselwebschema komt naar voren, dat dit systeem vóór inunderen verarmd was met voor het bodemleven weinig beschikbaar snel verteerbaar voedsel en waarschijnlijk weinig beschikbaar stikstof (Fig. 5). De inundatie heeft de plek van dit perceel (de monsters) in het voedselweb-schema niet veranderd.



Figuur. 5 Voedselweb van aaltjes in perceel Wm-M vóór (Pi) en vlak na inunderen (Pf1) (boven) en interpretatieschema (er naast). Op tijdstip Pf2 waren alleen plant parasieten aanwezig en kon geen EI en Si worden berekend.

Perceel NOP-M

Vóór inunderen bestonden de actieve aaltjes voor bijna de ene helft uit bacterie-eters en de andere helft uit plantenparasieten (Tabel 10, Figuur 6). Twee derde van de plantenparasieten waren wortelhaarvoeders, waarvan wordt aangenomen dat ze weinig invloed hebben op de groei van de plant. Ruim een kwart bestond uit ectoparasieten van het geslacht *Paratylenchus*. Verder kwamen *Meloidogyne chitwoodi*, *M. fallax* en *M. naasi* voor. Er werden lage aantallen schimmel- en alleseters gevonden en sporadisch predatoren. Ook kwamen lage aantallen dauerlarven voor, een ruststadium van bacterie-eters die snel in aantal kunnen toenemen wanneer er voedsel in de grond beschikbaar komt.

Na inunderen was het aantal aaltjes sterk afgenomen (Tabel 10). Van de aaltjes op Pf1 was ongeveer twee derde bacterie-eter en een derde plantenparasiet (Tabel 10, Figuur 6). De plantenparasieten bestonden voor een derde uit *Paratylenchus* en voor twee derde uit wortelhaarvoeders. Er werd ook een enkele *M. chitwoodi* gevonden. Er werden sporadisch schimmeleeters en predatoren gevonden. Wat langer na inunderen (Pf2) was het aantal aaltjes toegenomen (Tabel 10). Ongeveer twee derde van de aaltjes was bacterie-eter en een derde plantenparasiet (Figuur 6). De plantenparasieten bestonden voor bijna 40% uit wortelhaarvoeders, ruim een derde uit *Paratylenchus* en ruim een kwart uit *M. naasi*. Het aantal dauerlarven, een ruststadium van bacterie-eters, was even hoog als het aantal actieve bacterie-eters.

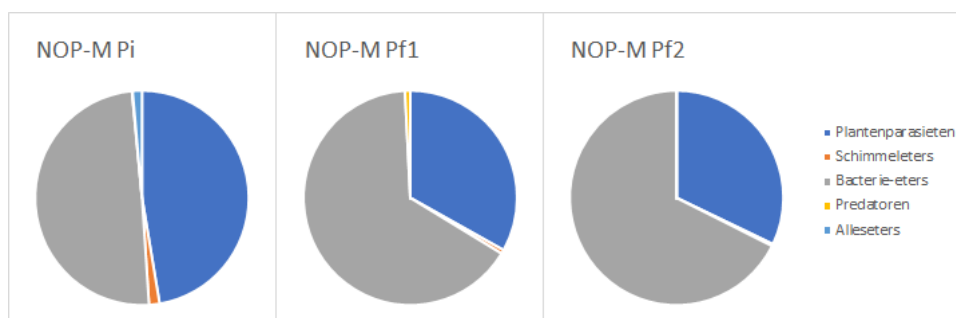
De diversiteit, dat wil zeggen het aantal aangetroffen groepen, was vóór inunderen 22,6 en was na inunderen afgenomen naar 12,8 (Tabel 10). Dit aantal nam in een aantal maanden tijd licht toe. De totale biomassa aaltjes (zonder dauerlarven) was zeer laag na inunderen, maar nam na een aantal maanden weer toe tot boven de oorspronkelijke waarde.

De waarde van de MI nam licht af vlak na inunderen, maar was een aantal maanden later verder gedaald. Dit werd vooral veroorzaakt door een sterke toename van het aantal bacterie-eters uit de familie *Rhabditidae* (met cp-waarde 1), die sterk reageren op beschikbaarheid van voedsel. Vóór inunderen waren andere bacterie-eters met een hogere cp-waarde in grotere aantallen aanwezig. Dit komt ook tot uiting in het grote verschil tussen de waarden van MI en MI2-5. De CI was in dit systeem zeer laag en daalde naar 0 na inunderen, wat betekent dat voornamelijk snelgroeiende bacterie-eters bijdroegen aan de afbraak makkelijk afbreekbaar voedsel. De BI nam eerst toe na inunderen en daalde na een aantal maanden sterk. Ook deze lage waarde hier is een reflectie van het grote aantal *Rhabditidae* uit de klasse cp-1.

Tabel 10. Perceel NOP-M. Totaal aantal (actieve) aaltjes, verdeling over voedselgroepen, diversiteit en indexen berekend aan de hand van de waargenomen groepen aaltjes bij bemonstering vóór inunderen (Pi), vlak na inunderen (Pf1) en ca. 4 maanden na inunderen (Pf2).

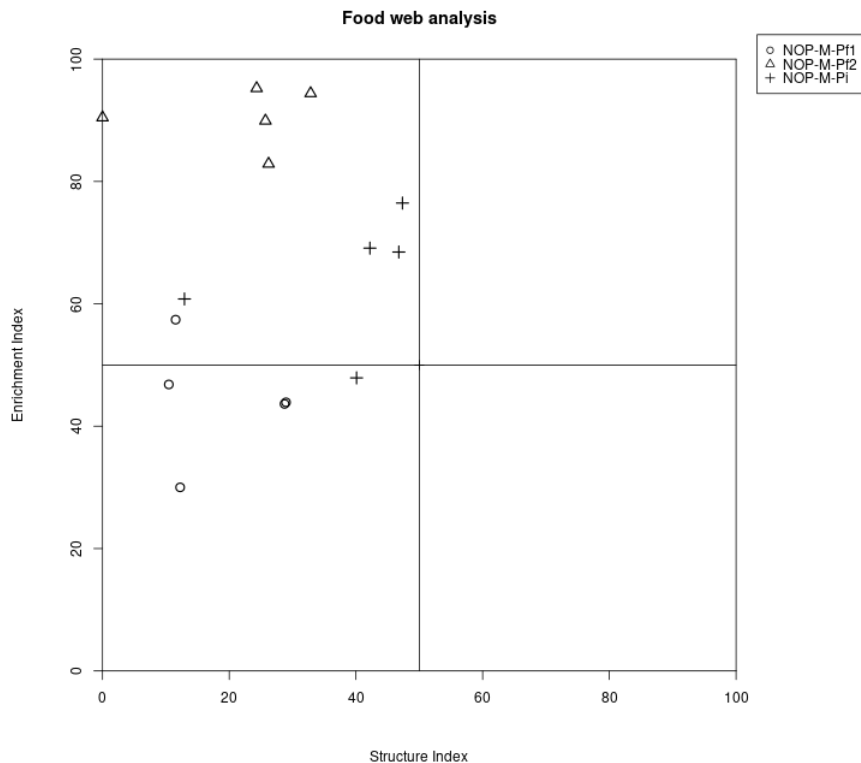
Variabele	Pi	Pf1	Pf2
Totaal aantal aaltjes*	879	91	600
Aantal plantenparasieten*	413	30	114
Aantal bacterie-eters*	432	59	240
Aantal schimmelelers*	14	0,5	1,1
Aantal predatoren*	0,9	0,7	0
Aantal alleseters*	12	0	0
Aantal dauerlarven (ruststadium)*	7,9	0,2	244
Diversiteit (aantal groepen)	22,6	12,8	13,4
Maturity Index (MI)	2,09	1,93	1,34
Maturity Index 2-5 (MI2-5)	2,33	2,10	2,11
Channel Index (CI)	2,5	1,1	0
Basal Index (BI)	32	49	9
Totale biomassa (mg)*	1,12	0,07	1,46

* per 100 mL verse grond



Figuur 6. Perceel NOP-M. Verdeling van de aaltjes over de verschillende voedselgroepen (plantparasiet, bacterie-eter, schimmeleler, predator en alleseeter) bij bemonstering vóór inunderen (Pi), vlak na inunderen (Pf1) en ca. 4 maanden na inunderen (Pf2).

In de situatie vóór inunderen was de variatie in de samenstelling van het voedselweb in perceel NOP-M vrij groot: ze werden in twee kwadranten aangetroffen (Figuur 7). Vier punten hadden een gemiddelde SI, wat betekent dat het voedselweb complexer was met plaats voor aaltjes zoals alleseters en aaltjes met hogere cp-waarden. In één monsterpunt was zowel de SI als de EI lager. Vlak na inundatie was zowel de SI als de EI afgenomen. Een aantal maanden later was de EI sterk toegenomen, veroorzaakt door een sterke toename van het aantal bacterie-eters uit de groep *Rhabditidae*, waarschijnlijk als gevolg van organische bemesting. De SI was in die maanden iets toegenomen.



Figuur 7. Voedselweb van aaltjes in perceel NOP-M bij bemonsteren vóór inunderen (Pi), vlak erna (Pf1) en ca. 4 maanden na inunderen (Pf2).

Samenvattend; zowel de samenstelling van de aaltjes vóór inunderen, de samenstelling na inunderen als de ontwikkeling in de daaropvolgende maanden vertoonde grote verschillen tussen de twee percelen. In perceel Wm-M was vóór inunderen het aantal plantenparasieten laag en kwamen schimmel- en bacterie-etters in gelijke verhoudingen voor, maar geen alleseters of predatoren. In dit perceel werden na inunderen vrijwel uitsluitend aaltjes van één groep bacterie-etters gevonden, die hiervoor niet aanwezig waren en nadien verdwenen. Een aantal maanden na inunderen was het aantal aaltjes in dit perceel zeer laag. In perceel NOP-M was het aantal plantenparasieten vóór inunderen hoger en kwamen vooral bacterie-etters voor, naast lage aantallen schimmeleeters, alleseters en een enkele predator. Na inunderen namen de aantallen plantenparasieten en bacterie-etters weer toe. De bacterie-etters waren vooral groepen die snel reageren op voedselbeschikbaarheid. Uit deze vergelijking komt naar voren dat er niet één index is die de verschuiving in de milieuaaltjes na inundatie karakteriseert. De combinatie van aantallen, diversiteit, voedselgroepen, cp-waarden en daaruit berekende indices, maar ook de achterliggende gegevens, zijn belangrijk om een beeld te krijgen van de verschuiving in de aaltjesgemeenschap. Er moet worden benadrukt dat zowel de uitgangssituatie vóór inunderen (braak in Wm-M, geogst gewas in NOP-M) als het tijdstip en de duur van inunderen voor beide percelen verschillend was. Daardoor is het niet mogelijk om aan te geven of de verschillen in milieuaaltjes na inunderen terug te voeren zijn op de verschillen in de samenstelling van de aaltjes vóór inunderen, of dat gewasresten, tijdstip en duur van inunderen belangrijker zijn.

Op basis van deze twee percelen mag echter wel worden gesteld dat direct na de inundatie de nematodenpopulatie sterk is gedaald en de soortsamenstelling (diversiteit) sterk is verminderd. De niet beantwoorde vraag is hoe het herstel eruit ziet na een eerste teeltjaar en verderop in de vruchtwisseling. Opbrengst en kwaliteit van de cultuurgewassen waren volgens de proefveldhouders zeer tevreden stellend. Er kan op basis van dit beperkte onderzoek dan ook geen uitspraak worden gedaan of de blijvende effecten van de inundatie verstorend zijn.

3.1.5 Bodemvruchtbaarheid

Voorafgaand aan de inundatie, direct na beëindigen van de inundatie en in het daaropvolgende voorjaar zijn per perceel vijf grondmonsters genomen voor analyse op bodemvruchtbaarheid. De gemiddelden van deze analyses zijn weergegeven in onderstaande tabel. De resultaten worden vergeleken met metingen in inundatiepercelen die in 2015 (Wieringermeer) en 2011 (Groningen) zijn uitgevoerd.

Tabel 11. Effect van inundatie op de bodemvruchtbaarheid, 2018-2019.

	NOP-M						Wm-M						Lsd	F pr.
	Pi	Pf_1		Pf_2		Pi	Pf_1		Pf-2					
Lutum (%)	1.2	ab	0.9	a	1.8	b	4.2	c	3.4	c	3.4	c	0.92	<0.10
Silt (%)	30	d	25	c	26	cd	19	ab	16	a	21	bc	4.5	n.s.
Zand (%)	64	a	69	b	68	ab	71	bc	75	c	70	bc	4.6	n.s.
pF_2.0 (%)	27	c	29	d	25	b	24	ab	25	b	23	a	1.8	n.s.
pF_4.2 (%)	4.4	ab	4.6	b	4.1	ab	3.9	a	3.9	a	3.9	a	0.692	n.s.
KZK (%)	4.3	c	3.2	b	2.5	a	3.7	b	4.4	c	3.4	b	0.55	<0.001
C-anorg (%)	0.6	c	0.5	b	0.4	a	0.5	b	0.6	c	0.5	b	0.07	<0.001
OS (%)	1.2	a	1.9	b	1.9	b	1.4	a	1.3	a	1.4	a	0.25	<0.001
C-org (%)	0.5	a	0.8	cd	0.9	d	0.7	bc	0.6	ab	0.7	bc	0.14	<0.001
N-Tot (mg N/kg)	644	a	932	b	846	b	828	b	652	a	586	a	157.9	<0.001
N L.ver (kg N/ha)	41	abc	56	d	53	cd	50	bcd	37	ab	36	a	13.4	<0.01
C/N	8.0	a	8.4	ab	10.6	bc	8.4	ab	9.6	c	11.4	c	2.511	n.s.
S-tot (mg S/kg)	196	a	184	a	262	ab	314	b	474	c	423	c	93.8	<0.05
S L.ver. (kg S/ha)	14	ab	11	a	19	bc	23	c	39	d	35	d	7.3	<0.01
S-besch (mg S/kg)	18	a	67	b	25	a	10	a	170	c	50	b	22.4	<0.001
P-besch (mg P/kg)	0.8	ab	0.9	ab	1.1	b	4.1	c	0.6	a	0.9	ab	0.42	<0.001
P-voorr. (mg P2O5/100 g)	28	a	40	b	42	b	59	c	56	c	59	c	7.3	<0.05
K (mg K/kg)	51	a	49	a	89	b	49	a	60	a	47	a	15.9	<0.001
K-vrd (mmol+/kg)	1.7	a	2.2	b	2.0	ab	2.6	c	3.5	d	2.7	c	0.39	n.s.
Ca-besch (kg Ca/ha)	401	ab	181	a	366	ab	298	ab	1030	c	522	b	301.0	<0.001
Ca-vrd (kg Ca/ha)	2624	a	3079	b	3466	a	3497	bc	3306	bc	3631	c	445.5	<0.10
Mg (mg Mg/kg)	38	a	101	c	74	b	39	a	148	d	104	c	12.1	<0.001
Mg-vrd (mmol+/kg)	2.0	a	3.3	bc	3.0	b	2.7	ab	3.3	bc	3.9	c	0.792	n.s.
Na (mg Na/kg)	15	ab	29	b	16	ab	11	a	250	c	14	ab	15.0	<0.001
Na-vrd (mmol+/kg)	0.5	ab	0.5	a	0.5	a	0.6	ab	0.9	c	0.7	b	0.18	<0.05
Na-bez (%)	1.2	b	0.9	a	0.9	a	1.0	ab	1.6	c	1.2	b	0.309	<0.01
CEC (mmol+/kg)	45	a	55	b	54	b	60	b	59	b	57	b	7.6	<0.10
CEC-Bez. (%)	100	a	100	a	100	a	100	a	100	a	100	a	0.6	n.s.
Ca-bez (%)	90	bc	89	abc	90	c	91	c	87	a	87	ab	2.2	<0.10
pH	7.1	ab	7.0	ab	6.9	a	7.2	b	7.2	ab	7.0	ab	0.241	n.s.

Pi=bemonstering voor de inundatie, Pf-1= bemonstering december kort na de inundatie, Pf-2=bemonstering voorjaar na de inundatie

Textuur, vochtvolume, koolzure kalk en C-anorganisch

Met betrekking tot de textuur van de bodem (gehalten lutum, silt en zand) is er gemiddeld over beide percelen een significant effect op de gemeten gehalten silt en zand. In dec 2018 is het gehalte silt afgenomen en gehalte zand toegenomen t.o.v. juli 2018, maar in maart 2019 is het gehalte silt weer toegenomen en gehalte zand afgenomen t.o.v. december en is er gemiddeld over de beide percelen geen wezenlijk verschil tussen de metingen in maart 2019 en juli 2018. In 2015 zijn metingen op het inundatieperceel Wieringermeer 2015 uitgevoerd. Op dit perceel was het gemeten silt-gehalte in december juist hoger dan in juli. De fluctuaties zijn niet te verklaren. Mogelijk moeten ze toch worden toegeschreven aan toeval (de meetfout, de spreiding van de methodiek). Het is niet aannemelijk dat door inundatie de textuur van de grond verandert. Wel kan inundatie op zavelgronden en fijnkorrelige zandgronden leiden tot verslemping.

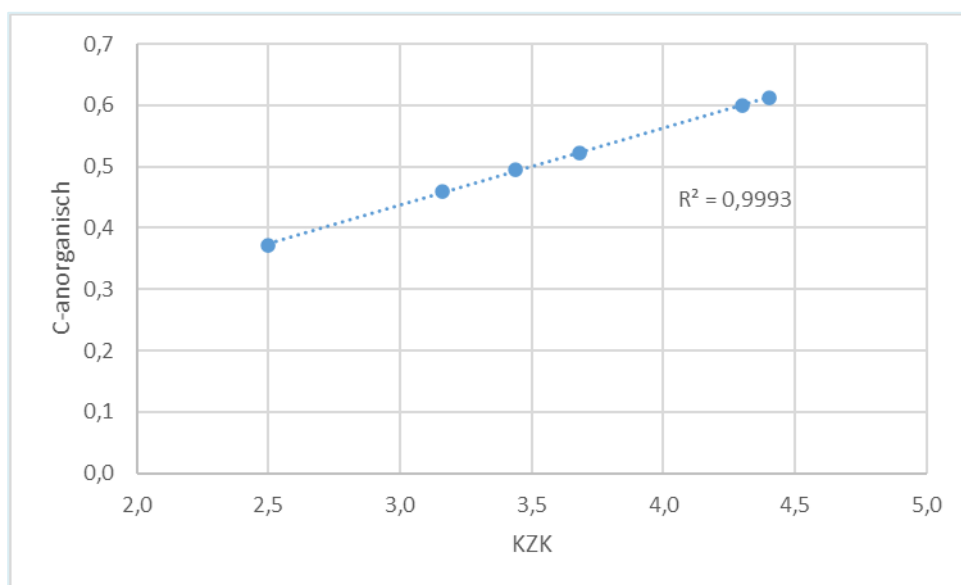
Bij pF2.0 is de volumefractie vocht gemiddeld over beide percelen in december significant toegenomen t.o.v. juli, maar in maart weer significant afgenomen. Hoeveel vocht een grond bevat bij een bepaalde

pF-waarde hangt samen met de textuur en porositeit van de grond. Zandgronden kunnen minder vocht vasthouden dan kleigronden. De fluctuatie van het vochtgehalte lijkt in dat opzicht ook niet te corresponderen met de textuurmeting (een hoger zandgehalte in december). Of de porositeit is beïnvloed door de inundatie is niet uit de meetgegevens op te maken.

Het gemeten gehalte koolzure kalk is na de inundatie significant lager dan ervoor op perceel NOP-M, maar niet op perceel Mw-M (zelfs significant hoger in dec t.o.v. juli). In 2015 (Wieringermeer) en metingen die in 2011 (Groningen) zijn uitgevoerd was het gehalte koolzure kalk niet wezenlijk veranderd door de inundatie. Deze fluctuaties zijn niet te verklaren en moeten waarschijnlijk worden toegeschreven aan toeval (meetfouten).

Hoewel calciumionen kunnen uitspoelen, verdwijnt koolzure kalk maar heel langzaam uit de bodem. Het is niet te verwachten dat door inundatie het gehalte koolzure kalk aanmerkelijk daalt.

C-anorganisch betreft hoofzakelijk de koolstof in CaCO_3 c.q. de koolzure kalk. Er is dan ook een sterk lineair verband tussen beide parameters (zie de figuur hieronder).



Figuur 8. Relatie tussen het gehalte koolzure kalk (KZK, %) en het gehalte C-anorganisch (%), metingen inundatie percelen Wm en NOP-M, 2018-2019.

Organische stof, C-organisch en N-totaal

Het organische-stofgehalte en het gehalte C-organisch zijn op perceel Wm-M niet veranderd en op perceel NOP-M significant toegenomen na de inundatie. De toename van 1,2% naar 1,9% organische stof (OS) is absoluut gezien een stijging van ca. 25.000 kg OS per ha in de laag 0-25 cm. Door het onder water zetten van een perceel wordt echter geen (massale) hoeveelheid OS aangevoerd. De stijging is derhalve niet te verklaren. In 2015 (was er geen wezenlijk effect op het OS%).

Het C-gehalte in de organische stof is niet significant beïnvloed door de inundatie. Het gemeten C-gehalte in de grond volgt min of meer het gemeten OS%. Dit illustreert nog eens hoe onbetrouwbaar de OS metingen zijn. Doordat er in deze velden op vijf vaste plekken is gemonsterd is hier de variabiliteit van een veldmonster niet aan de orde. Dit betekent dat een perceelsmonster een nog grotere spreiding in de tijd kan laten zien!

Het gehalte N-totaal is op perceel NOP-M significant toegenomen en op perceel Wm-M significant afgenomen na de inundatie. In geval van NOP-M gaat het om een toename van ongeveer 900 kg N per ha in de laag 0-25 cm en in geval van Wm-M om een afname van ruim 500 kg N per ha. In het perceel dat in 2015 is geïnundeerd was het gehalte N-totaal ook afgenomen en betrof het enkele honderden kilo's N per ha.

N-totaal in de bodem is voor het overgrote deel organisch gebonden N (N-org) en voor een relatief gering deel betreft het minerale stikstof. De minerale stikstof die in juli in de bodem zat, zal door de inundatie uitspoelen en/of denitrificeren en vervluchtigen. In het onderzoek in 2011 nam de

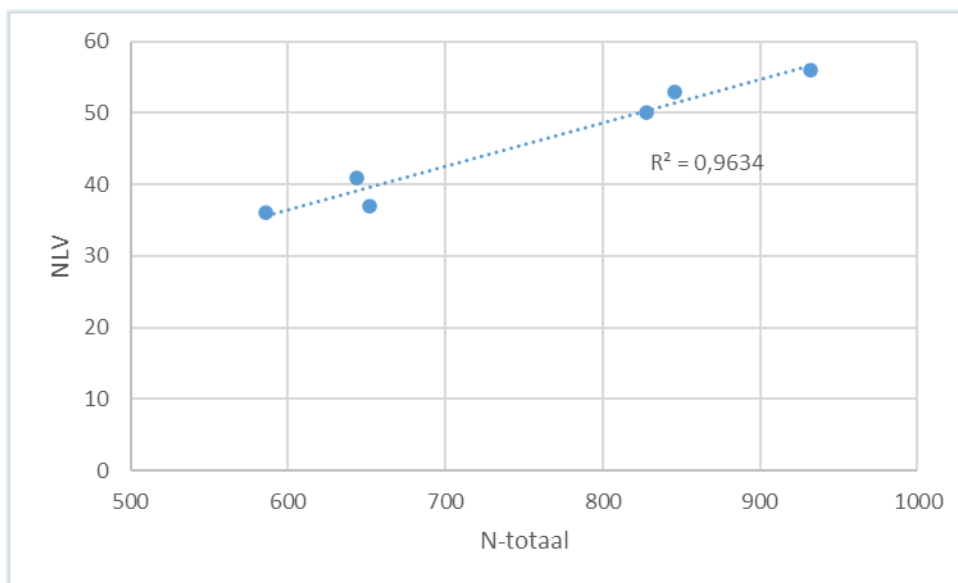
hoeveelheid minerale stikstof af van 55 naar 15 kg per ha. Een klein deel van de N-org is ingebouwd in het bodemleven. Het aerobe bodemleven sterft af door de inundatie, waardoor de N-org vrijkomt in minerale vorm. Naar schatting zou dit kunnen gaan om tussen de 50 en 100 kg N per ha. Dit effect treedt ook op na grondontsmetting: snel vrijkomen van N-org in minerale vorm door afsterving van bodemleven. Ook deze N zal vervolgens uitspoelen en/of denitrificeren en vervluchtigen. Het is niet bekend hoe groot de Nmin-voorraad was in juli, maar het totale N-verlies door inundatie zou kunnen oplopen tot een orde van grootte van 100-200 kg N per ha (50-100 kg Nmin en 50-100 kg N uit N-org). Dit verklaart niet de sterke afname op perceel Wm-M en waarom inundatie zou leiden tot een sterke toename van N-totaal op perceel NOP-M is ook niet te verklaren.

De afsterving van bodemleven c.q. levende organische stof leidt ook tot verlies van C-organisch, maar de meting van het C-organisch%, met 1 decimaal achter de komma, is te onnauwkeurig om die afname te kunnen vaststellen. Bovendien zorgt de meetfout voor onnauwkeurigheid van de bepaling.

De C/N-verhouding is op beide percelen gestegen na de inundatie. De C/N-verhouding is berekend als C-organisch/N-totaal. Dit zou erop wijzen dat er relatief gezien stikstof uit de grond is verdwenen t.o.v. de hoeveelheid C-organisch. De metingen in het perceel dat in 2015 is geïnundeerd laten juist een daling van de C/N-verhouding zien. De C/N is een berekende waarde, die sterk kan worden beïnvloed door de meetfout van C-organisch en N-totaal.

De tegengestelde en onverklaarbare grote verschillen maken het lastig om het effect van de inundatie op OS, C en N-totaal in de bodem te beoordelen.

Het N-leverend vermogen (NLV) is een berekende waarde aan de hand van N-totaal en de (geschatte) afbraaksnelheid van de OS. De NLV-waarden zijn sterk gerelateerd aan N-totaal (zie figuur hieronder).



Figuur 9. Relatie tussen het gehalte stikstof-totaal (mg N/kg) en het stikstof leverend vermogen (kg N/ha), metingen inundatie percelen Wm en NOP-M, 2018-2019.

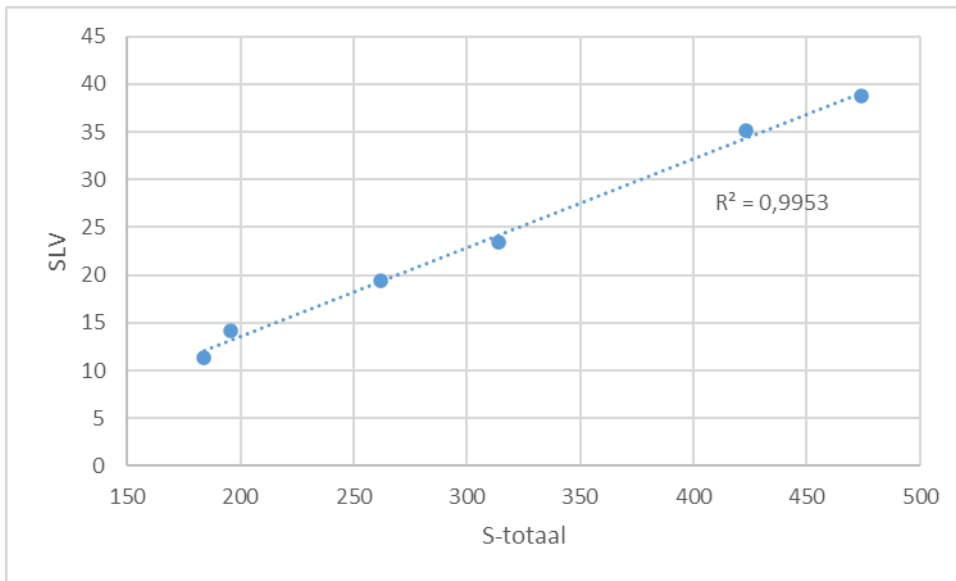
Zwavel (S)

S-totaal is op perceel NOP-M niet significant veranderd door de inundatie en op perceel Wm-M significant toegenomen. De toename is fors en bedraagt gemiddeld over december 2018 en maart 2019, 135 mg S per kg grond, ofwel ruim 600 kg S per ha in de laag 0-25 cm. Een duidelijke verklaring voor deze sterke toename is niet te geven.

In het perceel dat in 2015 is geïnundeerd nam S-totaal in een blok af en in een ander blok sterk toe kort na de inundatie. In het onderzoek in 2011 nam het S gehalte ook sterk toe. Als mogelijk verklaring werd de kwaliteit van het ingelaten water genoemd.

S-totaal betreft grotendeels organisch en anorganisch gebonden zwavel. Er is relatief weinig zwavel opgelost in het bodemvocht.

Het S-leverend vermogen (SLV) is een berekende waarde aan de hand van S-totaal en de (geschatte) afbraaksnelheid van de OS. De SLV-waarden zijn sterk gerelateerd aan S-totaal (zie figuur hieronder). S-aanvoer is een berekende waarde: SLV + S-depositie (à 3 kg S per ha).



Figuur 10. Relatie tussen het gehalte zwavel-totaal (mg S/kg) en het zwavel leverend vermogen (kg S/ha), metingen inundatie percelen Wm en NOP-M, 2018-2019.

S-PAE is de hoeveelheid gemakkelijk voor de plant beschikbare zwavel. Opmerkelijk is dat deze in december op beide percelen sterk is gestegen t.o.v. voor de inundatie (met name op perceel Wm-M) en vervolgens in maart weer is gedaald. Door inundatie nam de hoeveelheid plantbeschikbare zwavel dus toe in de bodem en vervolgens weer af toen er lucht in de grond kwam. De toename tijdens inundatie betreft 150 kg S per ha bij NOP-M en 570 kg S per ha bij Wm-M. De afname tussen december 2018 en maart 2019 bedroeg 125 kg S per ha bij NOP-M en 420 kg S per ha bij Wm-M. Als die afname een gevolg is van uitspoeling van zwavel in de winter, zou je ook een daling van S-totaal verwachten, maar dat was op perceel NOP-M niet het geval en op perceel Wm-M niet significant. Overigens is de lsd-waarde van S-totaal behoorlijk groot, wat erop wijst dat de variatie in de monsters groot is (dit geldt ook voor N-totaal). Onder anaerobe dan wel aerobe omstandigheden treden onder invloed van bacteriën chemische reacties op in de bodem waarbij zwavelverbindingen worden omgezet. Waarom S-PAE hier zo sterk op reageert is onduidelijk.

De C/S-verhouding is op perceel NOP-M gestegen na de inundatie en op perceel Wm-M iets gedaald. De C/S-verhouding is een berekende waarde en evenals voor C/N geldt dat deze sterk kan worden beïnvloed door de meetfout van C-organisch en S-totaal.

Ook voor zwavel maken de tegengestelde en soms onwaarschijnlijk grote verschillen het lastig om het effect van de inundatie te beoordelen.

Fosfaat

P-PAE is de fractie gemakkelijk beschikbaar fosfaat in de bodem. Op perceel NOP-M was deze fractie in juli laag en veranderde weinig door de inundatie (nam iets toe). Op perceel Wm-M was de P-PAE in juli hoog en nam sterk af door de inundatie. Eenzelfde effect werd in de inundatiepercelen-2011 en 2015 gevonden. De daling is mogelijk een gevolg van verlies van fosfaat door uitspoeling. De fractie P-PAE gaat relatief snel in oplossing in het bodemvocht en naarmate er meer water in de bodem zit, is er ook meer fosfaat opgelost. Bij een hoge aanvangs-P-PAE zal het verlies hoger zijn dan bij een lagere P-PAE. Het verlies op perceel Wm-M wordt geschat op ca. 11 kg P per ha (25 kg P₂O₅ per ha).

Of er op perceel Mulder geheel geen fosfaat is uitgespoeld, is lastig te beoordelen. Als de P-PAE in de bodem daalt, vindt er aanvulling plaats vanuit de bodemvoorraad fosfaat, waardoor de P-PAE bij dit soort lage waarden niet of nauwelijks verandert.

Het voornoemde fosfaatverlies zul je niet aantoonbaar kunnen terugvinden in het P-Al-getal. Met P-Al meet je een vele malen grotere fosfaatvoorraad in de bodem. De P-Al is op perceel Wm-M niet significant veranderd (vergelijkbaar met resultaten uit 2011 en 2015), maar op perceel NOP-M aanmerkelijk toegenomen en dat is niet te verklaren.

Het Pw-getal is hier niet gemeten maar berekend uit P-PAE en P-AL. Een verandering van deze parameters leidt dus ook toe een verandering van berekende Pw.

Kali

K-PAE is de fractie gemakkelijk beschikbare kalium in de bodem. Deze is op perceel Wm-M niet significant veranderd en op perceel NOP-M ook niet vóór en vlak na de inundatie. In maart is de K-PAE op dit perceel sterk toegenomen als gevolg van een (kali)bemesting in het voorjaar. In het inundatieperceel-2015 was de K-PAE afgenomen kort na de inundatie.

De kalivoorraad in de bodem is na de inundatie gestegen op beide percelen en in maart weer gedaald. In het inundatieperceel-2015 was de kalivoorraad in de bodem ook toegenomen kort na de inundatie. Een goede verklaring hiervoor is niet te geven. In 2011 was er geen effect op de kalivoorraad.

Er is bij de metingen van 2018-2019 geen duidelijk verband tussen de veranderingen in K-PAE en kalivoorraad. Het K-getal is een berekende waarde uit de K-PAE en kalivoorraad. Op perceel Wm-M is het niet significant veranderd en op perceel NOP-M eerst afgenomen en daarna weer toegenomen (a g v de bemesting).

Het is mogelijk dat er door de inundatie een kleine hoeveelheid kali uitspoelt, maar dit is uit de metingen van 2018-2019 niet duidelijk op te maken. Het effect van inundatie op de kalitoestand van de bodem is op basis van de metingen niet goed aan te geven.

Calcium, magnesium en natrium

Het gemeten verloop van de hoeveelheid gemakkelijk beschikbaar calcium (uitgedrukt in kg/ha) is grillig en tegengesteld op beide percelen. In inundatieperceel-2015 namen de hoeveelheid gemakkelijk beschikbaar Ca in de bodem ook toe kort na de inundatie.

De calciumvoorraad is in maart toegenomen t.o.v. juli en december. Dit is niet goed te verklaren, tenzij er in de tussentijd calcium is gestrooid. In 2011 was er geen effect op de kalivoorraad.

De magnesiumvoorraad is op beide percelen toegenomen na de inundatie. De hoeveelheid gemakkelijk beschikbaar magnesium is op beide percelen sterk toegenomen kort na de inundatie en in maart weer wat afgenomen. Ook in 2011 en 2015 nam de hoeveelheid gemakkelijk beschikbaar magnesium in de bodem toe kort na de inundatie. Hoe en waarom dit optreedt, is onbekend.

De hoeveelheid gemakkelijk beschikbaar natrium nam op perceel Wm-M sterk toe kort na de inundatie en in maart weer af. De bodemvoorraad natrium nam ook toe en in maart weer af. De Na-bezetting aan het kationenadsorptiecomplex nam ook iets toe in december en in maart weer af. Ik zo geen verklaring voor deze verschillen.

Op perceel NOP-M leek de hoeveelheid gemakkelijk beschikbaar natrium ook wat toe te nemen na de inundatie (n.s.) en daarna weer af te nemen. Er was geen significant effect op de bodemvoorraad. In 2011 en 2015 nam de hoeveelheden gemakkelijk beschikbaar natrium in de bodem ook toe kort na de inundatie waarbij als mogelijke oorzaak het ingelaten water werd genoemd.

CEC en bezetting

De kationenadsorptiecapaciteit (CEC) van de bodem wordt bepaald door de hoeveelheid organische stof en lutum in de bodem. De CEC is niet beïnvloed door de inundatie en evenmin de CEC-bezetting met kationen. Deze is 100% gebleven. Ook in 2015 was er geen effect op de CEC en de totale bezetting.

Het CEC wordt op beide percelen voor ongeveer 90% bezet door Ca-ionen. De inundatie heeft hier weinig effect op gehad. De Ca-bezetting is kort na de inundatie iets afgenomen en die met magnesium en kalium iets toegenomen.

3.1.6 HWC

Hot water extractable C (HWC) is een onderdeel van de totale organische stof en is een maat voor gemakkelijk afbreekbare (labiele) organische koolstof. HWC bestaat voor een groot deel uit polysacchariden (mucigel, slijm) die voornamelijk zijn uitgescheiden door micro-organismen en in mindere mate door plantenwortels. HWC correleert goed met de microbiële biomassa en wordt gezien als maat voor de bodemkwaliteit/bodemweerbaarheid.

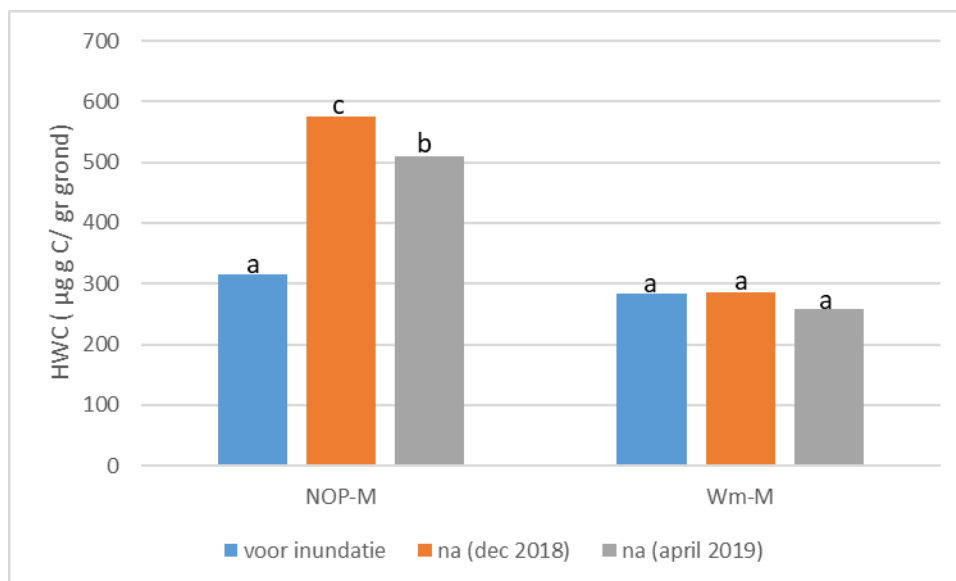
In figuur 11 is het verloop in HWC te zien, gemeten kort voor (juli/aug 2018), direct na (dec 2018) en in het voorjaar (april 2019) na de inundatie.

De HWC gemeten op perceel Wm-M voorafgaand aan de inundatie is gemiddeld 284 $\mu\text{g C/g}$ grond en daarmee vrij laag voor dit soort akkerbouwgronden (pers. med. J. Bloem). De inundatie heeft op dit perceel geen effect op de HWC. Direct na de inundatie (dec) en in het voorjaar (mrt) verschilt de HWC-waarde niet betrouwbaar van de HWC kort voor de inundatie.

Op perceel NOP-M is de HWC significant toegenomen na de inundatie van gemiddeld 314 naar 576 $\mu\text{g C/g}$ grond. Deze toename is onwaarschijnlijk groot en niet te verklaren (pers. med. J. Bloem). Bekend is dat HWC in enige mate correleert met het organische stofgehalte. Ook het organische stofgehalte laat op dit perceel na de inundatie een onverklaarbaar sterke toename zien van 1,2% naar 1,9% organische stof.

De HWC gemeten in het voorjaar op perceel NOP-M is iets lager dan direct na de inundatie (510 $\mu\text{g C/g}$ grond). De HWC waarden gemeten na de inundatie op dit perceel zijn vrij hoog, maar niet uitzonderlijk voor dit soort akkerbouwgronden.

HWC correleert met de totale bacterie- en schimmelbiomassa maar is geen maat voor de diversiteit van het bodemleven. Inundatie lijkt op deze percelen geen effect te hebben op HWC; de totale bacterie- en schimmelbiomassa. Unger (2009) vond in haar laboratoriumproeven wel een afname van de microbiële biomassa door inundatie en ook een verandering van de samenstelling van het microbiële bodemleven. Soorten die anaerobe conditie kunnen overleven namen toe en soorten die gevoelig zijn voor anaerobe omstandigheden af.



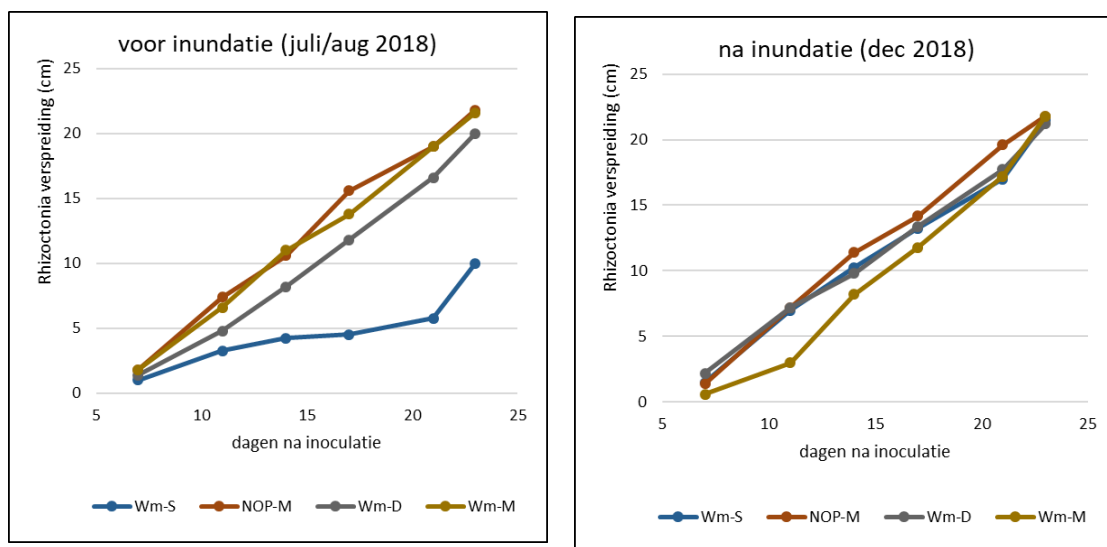
Figuur 11. Effect van inundatie op HWC, inundatie praktijkpercelen 2018-2019.

3.1.7 Bodemweerbaarheid biotoetsen

Om te bepalen of de inundatie effect heeft op de ziekteverendigheid van de bodem is de weerbaarheid van drie verschillende plant-pathogenen combinaties getoetst, namelijk een schimmel *Rhizoctonia solani*, een protist *Pythium ultimum* en een nematode *Meloidogyne hapla*

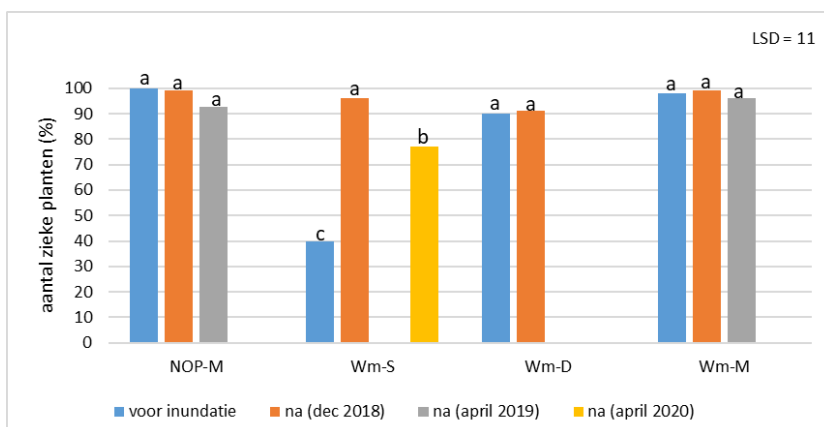
3.1.7.1 Rhizoctonia-suikerbiet

Ziektewering tegen *R. solani* (zie 2.1.4.5) is bepaald door de ziekteverspreiding van dit pathogeen in grond met suikerbietenzaailingen te meten. In figuur 12 zijn de resultaten weergegeven van de biotoets *Rhizoctonia*-biet die is uitgevoerd met grond van voor de inundatie en in figuur 13 van de geïnundeerde grond. Weerbaarheid tegen *Rhizoctonia* wordt gezien als specifieke weerbaarheid. Drie van de vier percelen bleken voorafgaand aan de inundatie geen weerbaarheid tegen *Rhizoctonia* te bezitten. 90-100% van de planten was aangetast 23 dagen na *Rhizoctonia* inoculatie (fig 14). De inundatie heeft op deze percelen geen (positief) effect gehad op de weerbaarheid. Ook na de inundatie is er bij deze percelen geen weerbaarheid tegen *Rhizoctonia* gevonden. Het aantal aangetaste planten was vergelijkbaar met de mate van aantasting van voor de inundatie. Alleen perceel Wm-S had, voorafgaand aan de inundatie, weerbaarheid tegen *Rhizoctonia*. Circa 40% van de planten was aangetast, 23 dagen na het aanenten van de grond met *Rhizoctonia*. Na de inundatie is deze weerbaarheid verloren gegaan en was ruim 90% van de planten binnen dit tijdsbestek aangetast, vergelijkbaar met die in niet-ziektewerende gronden. In juni 2020 is er opnieuw grond van dit perceel (Wm-S) verzameld en een biotoets *Rhizoctonia*-biet uitgevoerd. Het leek of de ziektevering weer iets was hersteld. In de biotoets met *R. solani* waren 77% van de planten aangetast. Er is echter geen vergelijking met de oorspronkelijke ziektevering of een niet-ziektewerende grond van een



andere teler.

Figuur 12 en 13. Weerbaarheid van grond tegen *Rhizoctonia solani* voorafgaand en kort na inundatie; biotoets *Rhizoctonia*-biet, inundatie-onderzoek 2018.



Figuur 14. Effect van inundatie op het percentage door *Rhizoctonia* aangetaste planten in een biotoets met suikerbiet, inundatie-onderzoek 2018

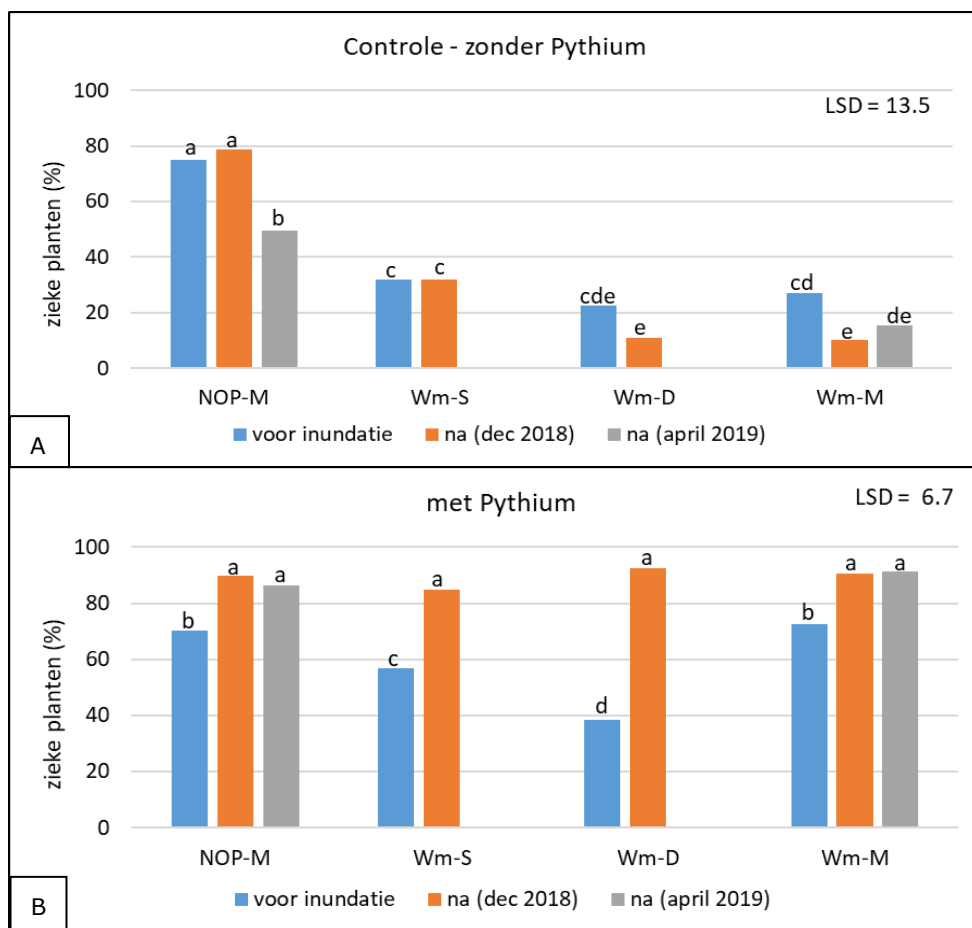
3.1.7.2 Pythium-tuinkers

Weerbaarheid tegen *Pythium* wordt gezien als algemene weerbaarheid. In een biotoets met tuinkers is het percentage zieke planten bepaald in wel- en niet geïnundeerde grond, waar *Pythium* doorheen is gemengd. Niet geïnoculeerde grond is gebruikt om de natuurlijke besmetting met *Pythium* vast te stellen (2.1.4.5).

In onderstaande figuren is het percentage zieke tuinkersplantjes weergegeven, gezaaid op grond met- en zonder *Pythium* inoculum.

In de grond van voor inundatie van de percelen in de Wieringermeer (Wm) was de aantasting door de natuurlijke besmetting 25 tot 30%. De al aanwezige aantasting in de grond van perceel NOP-M was veel hoger en lag op ruim 75%. Ook direct na de inundatie was de aantasting door de natuurlijke infectie op dit perceel nog hoog, bijna 80% aangetaste planten. De infectie verdween dus niet door inundatie. Ook op de andere percelen was de aantasting na inundatie vergelijkbaar met die van voor de inundatie. Een uitzondering was perceel Wm-M, waar de aantasting kort na inundatie iets lager was dan voor de inundatie.

Wanneer er *Pythium* aan de grond werd toegevoegd, nam de aantasting toe. In de niet geïnundeerde grond varieerde het percentage aangetaste planten van bijna 40% (Wm-D) tot circa 75% (Wm_M). Op alle percelen verloor de bodem door de inundatie de ziektevering tegen *Pythium*. De *Pythium*-aantasting was bij alle percelen na de inundatie betrouwbaar hoger dan voor de inundatie. Het percentage aangetaste tuinkersplantjes was op alle percelen, na inundatie, meer dan 80%. Ook vanuit de bloembollenteelt is bekend dat na inundatie de weerbaarheid van de bodem tegen *Pythium* sterk is afgenomen. Bollentelers telen dan ook geen *Pythium*-gevoelige bolgewassen het jaar na de inundatie, omdat het risico op een zware *Pythium*-aantasting dan zeer groot is. In suikerbiet kan *Pythium* plantwegval veroorzaken.



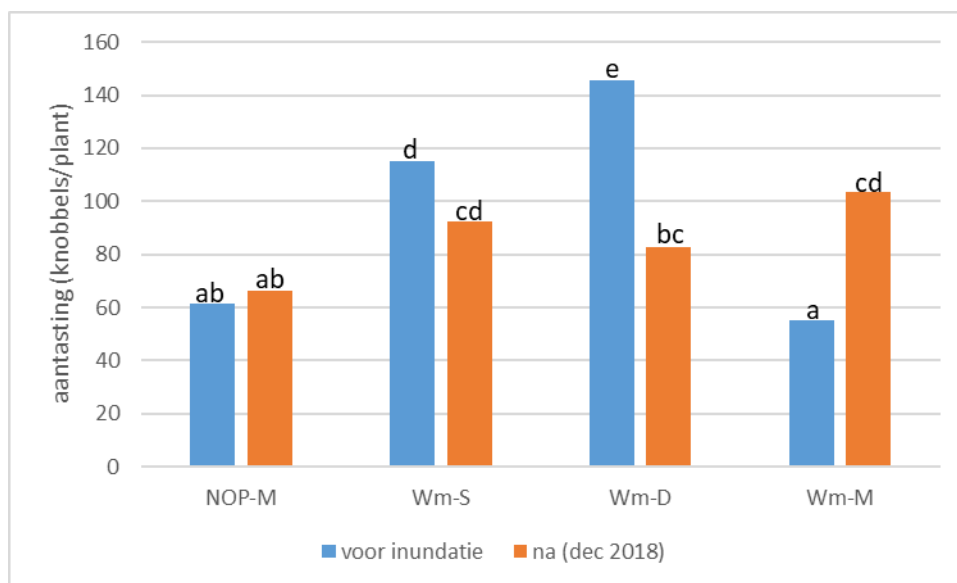
Figuur 15A en B. Effect van inundatie op het aantal door *Pythium* aangetaste tuinkersplantjes in grond zonder (A) en met een kunstmatige *Pythium*-besmetting (B), biotoets *Pythium*-tuinkers, inundatie-onderzoek 2018.

3.1.7.3 *M. hapla*-sla

De ziektevering tegen de nematode *M. hapla* is bepaald aan de hand van het aantal wortelknobbels dat per plant gevormd werd nadat deze plantparasitaire nematoden in een standaard dichtheid aan de grond waren toegevoegd (2.1.4.5.).

Op de percelen NOP-M en Wm-S had de inundatie geen effect op de weerbaarheid tegen *M. hapla* (fig. 16). Bij deze percelen was de mate van aantasting in de biotoets met grond van voor en na de inundatie vergelijkbaar. Bij perceel Wm-M was de aantasting na inundatie betrouwbaar hoger dan voor de inundatie en leek de bodem iets van de weerbaarheid tegen *M. hapla* te zijn verloren.

Bij perceel Wm-D leek de weerbaarheid door de inundatie toe te nemen. Echter dit perceel was van nature al vrij zwaar besmet met *M. hapla*. De inundatie heeft de natuurlijke *M. hapla* besmetting op dit perceel sterk teruggedrongen (tot onder de detectiegrens), waardoor de aantasting in de biotoets na inundatie duidelijk lager is dan voor de inundatie.



Figuur 16. Effect van inundatie op de mate van aantasting door toegevoegde *M. hapla* in een biotoets met sla, inundatie-onderzoek 2018.

3.3 Bakkenproef

In de bakkenproef is het effect van de duur van de inundatie, de temperatuur en toevoegen van organische stofbronnen op de effectiviteit van inundatie getoetst. De proef is uitgevoerd met een lichte zavel grond (pH=7.4, os=1.5%, afslibbaar= 12%), kunstmatig besmet met *M. chitwoodi* (inoculum-zakjes).

In tabel 12 staan de doseringen die zijn toegepast van de organische stofbronnen; stro, zaadmeel en gras. De producten verschillen sterk in CN-verhouding en afbreekbaarheid (respiratie snelheid). Het zaadmeel heeft de laagste CN-verhouding en breekt het minst snel af. Het gras heeft de hoogste respiratie snelheid (afbreekbaarheid), het stro de hoogste CN-ratio.

Tabel 12 Dosering en forfaitaire waarden voor CN-ratio en respiratie snelheid van de organische stofbronnen, bakkenproef inundatie 2018.

	Eenheid	stro	zaadmeel	gras
Dosering	(ton/ha)	20	7	40
C-N verhouding		75	10	16
Respiratie snelheid	(mmol O ₂ /kg OS/uur)	20	10	42

In bijlage 2 is de nutriëntensamenstelling van de producten weergegeven en in onderstaande tabel staan de hoeveelheden aan nutriënten/elementen die met de verschillende organische materialen aan de grond zijn toegevoegd. De grootste hoeveelheid droge stof werd toegediend bij de toepassing met stro, ruim 17 ton/ha. Met zaadmeel en gras werd respectievelijk 6.3 en 7.6 ton droge stof per hectare opgebracht. Met zaadmeel werd het meeste stikstof toegediend (322 kg/ha). Met stro en gras werd beduidend minder stikstof toegepast; respectievelijk 70 en 135 kg per hectare. Verder verschillen de hoeveelheden kalium, calcium, fosfor, mangaan, zink, ijzer, seleen, zwavel en borium dat met de producten werd toegediend sterk.

Tabel 13. Hoeveelheid droge stof en nutriënten toegediend bij de behandelingen met stro, zaadmeel en gras, omgerekend naar hoeveelheid per hectare

		Stro (20 ton/ha)	Zaadmeel (7 ton/ha)	Gras (40 ton/ha)
DS	kg/ha	17540	6279	7560
Ruw eiwit	kg/ha	631	1984	1603
N-totaal	kg/ha	70	322	135
Nitraat	kg/ha	4	1	15
Chloor	kg/ha	23	6	29
Natrium	kg/ha	2	1	12
Kalium	kg/ha	249	55	124
Magnesium	kg/ha	14	26	8
Calcium	kg/ha	82	50	32
Fosfor	kg/ha	12	64	14
Mangaan	g/ha	1105	251	166
Zink	g/ha	70	358	144
IJzer	g/ha	3806	678	2967
Koper	g/ha	47	57	36
Cobalt	mg/ha	1087	251	824
Seleen		0	1840	0
Zwavel	kg/ha	23	80	15
Molybdeen	g/ha	7	4	5
Borium	g/ha	68	94	32

Zes, tien en veertien weken na de start van de inundatie zijn de inoculum-zakjes uit de inundatie-emmers gehaald. Uit elk inoculum-zakje is een submonster van 200 ml grond genomen voor het vaststellen van de dichtheid *M. chitwoodi* met de opspoel-methode. De *M. chitwoodi*-dichtheid in de inoculum-zakjes bij de start van de inundatie (beginbesmetting) was gemiddeld 9000 *M. chitwoodi* aaltjes per 100 ml grond. In onderstaande tabel 14 is de besmetting in de inoculum-zakjes na de inundatie weergegeven.

In de inoculum-zakjes die zijn bewaard bij 18 °C, zonder inundatie, was door natuurlijke sterfte de besmetting na 6 weken met ruim 80% en na 14 weken met circa 90% afgenomen. Bij het temperatuurverloop van 18-14-10 °C was de natuurlijke sterfte minder sterk. Na 6 weken werd nog circa 75% van de beginbesmetting teruggevonden. Het is opvallend dat de besmetting vervolgens (na tien en veertien weken) bij een temperatuur die in de tijd nog verder daalde tot 10 °C, niet verder afnam. Bij het temperatuurverloop 18-14-10 °C verschilde de besmetting na tien en veertien weken niet van de besmetting die na zes weken werd gemeten. In deze bakkenproef leek er bij een temperatuur van 14 °C of lager geen natuurlijke sterfte meer op te treden.

Tabel 14 Effect van toevoegen van organische stof, temperatuur en de duur van de inundatie op een (kunstmatige) besmetting van *M. chitwoodi* (n/100 ml grond), bakkenproef inundatie 2018.

Inundatie	OS-bron	temperatuur		Inundatie-duur		
		(°C)	6 weken	10 weken	14 weken	
nee	---	18-14-10	2132 ghi	3706 hi	2970 hi	
nee	---	18	1874 fgh	1634 fgh	897 fg	
ja	---	18-14-10	657 ef	227 d	9 c	
ja	---	18	304 de	9 c	0 a	
ja	stro	18-14-10	3 bc	1 ab	0 a	
ja	stro	18	8 c	0 a	5 c	
ja	zaadmeel	18-14-10	1 ab	0 a	0 a	
ja	zaadmeel	18	0 a	0 a	0 a	
ja	gras	18-14-10	0 a	0 a	0 a	
ja	gras	18	0 a	0 a	0 a	

Beginbesmetting: 9000 Mc/100 ml grond

Bij de inundatie zonder toevoeging van organische stof was er een duidelijk temperatuureffect. De doding bij het temperatuurverloop van 18-14-10 °C was minder sterk dan bij een continue temperatuur van 18 °C. Bij het temperatuurverloop bleek, ook na 14 weken inundatie, de grond nog besmet te zijn met *M. chitwoodi*. Bij een continue temperatuur van 18 °C was de besmetting na 14 weken inundatie afgenomen tot onder de detectiegrens. Tien weken inunderen bij 18 °C was in deze emmerproef onvoldoende lang om de besmetting terug te dringen tot een niet detecteerbaar niveau. Alle organische stof toevoegingen versnelden het inundatie proces en de besmetting was na 6 weken inundatie al zeer sterk afgenomen, met meer dan 99%. Ook Ebrahimi (2016) laat in haar onderzoek aan aardappelmoeheid zien dat het door de grond mengen van extra (vers) organisch het inundatieproces kan versnellen.

Er was geen betrouwbaar effect van de inundatie-temperatuur op de mate van doding bij de objecten met organische stof toevoeging. De eerste zes weken, waarin al een zeer sterke doding plaatsvond, was echter het verschil tussen beide temperatuur-behandelingen nog klein. Bij het temperatuurverloop 18-14-10 °C was de temperatuur in de eerste vier weken ook 18° en daalde daarna naar 14°C. Alleen bij een inundatieduur van zes weken werden er kleine, maar statistisch betrouwbare verschillen waargenomen tussen toedienen van de verschillende organische stof bronnen. De *M. chitwoodi*-besmetting na zes weken inundatie met toevoeging van stro was betrouwbaar hoger dan bij de toepassing van zaadmeel of gras. Bij een inundatieduur van 10 en 14 weken was, met uitzondering van de objecten stro-met een temperatuurverloop van 18-14-10 °C en inundatieduur van 10 weken en 14 weken, de besmetting afgenomen tot onder de detectiegrens. Bij deze twee objecten werd in één van de vier herhalingen nog een zeer lichte *M. chitwoodi*-besmetting waargenomen.

Het restant van de geïnoculeerde grond is gebruikt voor een biotoets met de voor *M. chitwoodi* goede waardplant tomaat. Met deze biotoets kunnen besmettingen die onder de detectiegrens van de

opspoel-techniek liggen worden aangetoond. In onderstaande tabel 15 is de eindbesmetting *M. chitwoodi* in de biotoets-tomaat weergegeven.

De resultaten van de biotoets weerspiegelen in grote lijnen de waarnemingen van de grond-analyse met de opspoel-methode. De objecten waarbij met een opspoelmethode een duidelijk *M. chitwoodi*-besmetting was aangetoond lieten, zoals verwacht, in de biotoets een zware besmetting zien. De inundatie bij het temperatuur-regiem (zonder toevoeging van organisch materiaal) liet zien dat de effectiviteit van de inundatie afneemt wanneer de temperatuur tijdens de inundatie onder de 15°C zakt. Veertien weken inunderen bij een temperatuurverloop van 18-14-10°C, waarbij na zes weken inundatie de temperatuur onder de 15°C daalt, was in deze bakkenproef onvoldoende om de *M. chitwoodi* besmetting volledig te saneren. Bij de inundatie van veertien weken en een temperatuur van 18 °C werd ook in de biotoets geen besmetting met *M. chitwoodi* meer aangetoond. Tien weken inunderen (zonder extra organische stof toe te voegen) bij continu 18 °C lijkt te kort om een *M. chitwoodi* besmetting volledig te doden. Zoals ook de resultaten van de opspoelmethode al hebben laten zien, neemt de effectiviteit van de inundatie toe als voorafgaand aan de inundatie organische materiaal door de grond wordt gemengd. Toevoegen van organisch materiaal versnelt het inundatie proces; door een actiever bodemleven wordt de grond sneller zuurstofloos en er ontstaan hogere concentratie (toxische) afbraakproducten (Ebrahimi, 2016). Toevoegen van gras (makkelijk afbreekbare organische materiaal) was in deze bakkenproef effectiever dan toevoegen van stro, organisch materiaal dat minder makkelijk afbreekt. Door toevoegen van (vers) organisch materiaal kan de inundatieduur worden verkort. Bij de beide objecten met gras en bij de behandeling met zaadmeel bij een inundatietemperatuur van 18°C en een inundatie-duur van tien weken werd ook in de biotoets geen *M. chitwoodi* meer gevonden. Zes weken inunderen bij 18 °C, met 40 ton/ha vers gras door de grond gemengd, is naar alle waarschijnlijkheid te kort om een *M. chitwoodi*-besmetting te saneren. In de biotoets werd bij deze inundatie-behandeling nog een *M. chitwoodi*-besmetting aangetoond. Bij de objecten met stro werd na 14 weken inunderen in twee van de vier herhalingen nog een (lichte) *M. chitwoodi* besmetting gevonden

Tabel 15 *M. chitwoodi*-besmetting (n/100 ml grond) in de biotoets met tomaat uitgevoerd met inoculum-grond van de bakkenproef inundatie, 2018.

Inundatie	OS-bron	temperatuur		Inundatie-duur		
		(°C)	6 weken	10 weken	14 weken	
nee	---	18-14-10	14558 l	1155 ijk	2484 jkl	
nee	---	18	15376 l	6814 kl	3022 jkl	
ja	---	18-14-10	14567 l	2897 jkl	295 fghi	
ja	---	18	7150 kl	69 defg	0 a	
ja	stro	18-14-10	328 ghi	133 efgh	4 abc	
ja	stro	18	601 hij	4 abc	5 abc	
ja	zaadmeel	18-14-10	42 def	9 bcd	1 ab	
ja	zaadmeel	18	21 cde	0 a	0 a	
ja	gras	18-14-10	27 cde	0 a	0 a	
ja	gras	18	120 efgh	0 a	0 a	

3.5 Monitoring inundatie perceel 2015

Het perceel in de Wieringermeer dat in 2015 met succes is geïnundeerd is in 2018 opnieuw bemonsterd. Na de inundatie in 2015 werd er bij een intensieve bemonstering geen *M. chitwoodi* meer gevonden. Vervolgens zijn suikerbiet (2016) en plantuien (2017) op dit perceel geteeld, gevolgd door de consumptieaardappelteelt in 2018. Suikerbiet en (plant) uien zijn slechte tot matige waardgewassen voor *M. chitwoodi*. Aardappel is een zeer goede waard en vermeerdert *M. chitwoodi* sterk. De vijf monitoringsplots (3 x 3m) op dit perceel zijn op 28 september, direct na de oogst van de consumptieaardappelen, opnieuw uitgezet en bemonsterd. Per plot is uit de bouwvoor (0-30cm) circa 50 L grond verzameld.

Een submonster van 200 mL is gebruikt voor het bepalen van de *M. chitwoodi*-besmetting met de opspoel-techniek. Het restant (circa 50L grond) is gebruikt voor de biotoets met tomaat (zie 2.1.5.2). Met deze biotoets kunnen zeer lage besmettingsniveaus worden gedetecteerd. Per plot zijn 10 potten van 5 L ingezet.

In zowel de opspoel-monsters als in de biotoets met tomaat is geen *M. chitwoodi* meer gevonden! De inundatie lijkt de *M. chitwoodi* besmetting op dit perceel volledig te hebben gesaneerd.



Proef WUR: Inunderen geeft volledige doding van chitwoodi



Akkerbouwer Frans van Dam: „De inundatie heeft de besmetting gesaneerd, nadeel is dat het een kostbare maatregel is, toch al gauw een paar duizend euro per hectare.”



UNIVERSITY & RESEARCH



4 Conclusie

4.1 Praktijk-percelen

- De inundatie (12-14 weken, > 16 °C) die in 2015 op een perceel in de Wieringermeer is uitgevoerd heeft de *M. chitwoodi* besmetting volledig gesaneerd. Na de inundatie in 2015 werd er bij een intensieve bemonstering (dec 2015) geen *M. chitwoodi* meer gevonden. Na de teelt van de slechte tot matige waardgewassen suikerbiet en plantuien en de goede waard aardappel is het perceel in september 2018 opnieuw intensief bemonsterd. In de analyse van de grond en in de zeer gevoelige biotoets met tomaat is geen *M. chitwoodi* meer gevonden.
- Het inundatie-onderzoek 2018 op de praktijkpercelen bevestigt de goede resultaten van het onderzoek op het praktijkperceel in 2015.
 - Na de inundatie werd er geen *M. chitwoodi* meer teruggevonden, in zowel het spoelmonster als in de zeer gevoelige biotoets met tomaat
 - Inundatie lijkt ook het noordelijk wortelknobbelaaltje *M. hapla* goed te bestrijden. Na de inundatie werd in het perceel in de Wieringermeer met een natuurlijke *M. hapla* besmetting geen *M. hapla* meer gevonden in het spoelmonster. Ook in de biotoets met tomaat (tomaat is ook een goede waard voor *M. hapla*) werd geen besmetting met *M. hapla* meer waargenomen.
 - Het graswortelknobbelaaltje *M. naasi* blijkt ongevoelig voor inundatie. In het perceel in de NOP, met een natuurlijke *M. naasi* besmetting, werd ook na de inundatie nog een besmetting met *M. naasi* vastgesteld. Deze waarneming wordt bevestigd door resultaten van eerder uitgevoerd onderzoek aan inundatie van tarragrond.
 - Inundatie lijkt onvoldoende effectief voor de bestrijding van Paratylenchus (soort onbekend). In het perceel in de Wieringermeer (Wm-M) werd ook na de inundatie een besmetting met Paratylenchus gevonden. Naar alle waarschijnlijkheid betreft het hier de soort *P. projectus* (milieuaaltjes analyse).
 - Na de inundatie werd in het perceel Wm-D, in de Wieringermeer, nog een zeer licht besmetting met *Trichodorus similis* vastgesteld. Dit bevestigt het beeld dat trichodoride-aaltjes zeer lastig met inundatie te bestrijden zijn. Ook de inundatie (Wm-S) die pas begin september werd gestart heeft de (kunstmatige) *M. chitwoodi* besmetting nog zeer sterke teruggedrongen, maar heeft niet geresulteerd in een volledige doding van de kunstmatig aangebrachte besmetting.
- Effect op bodemvruchtbaarheid

De variatie van de meetuitslagen en een aantal tegengestelde effecten op beide percelen maken het lastig om het effect van inundatie op de bodemvruchtbaarheid te kunnen beoordelen. De verwachting is dat er door de inundatie nutriënten verloren zouden gaan (met name minerale stikstof), maar dat kan niet duidelijk uit de meetresultaten worden afgeleid. Onduidelijk is ook of en hoeveel nutriënten er met het inundatiewater zijn aangevoerd.

Anaerobe of aerobe omstandigheden hebben een belangrijk effect op de samenstelling van het bodemleven en daarmee ook op chemische reacties in de bodem. Bij veranderingen in de zuurstofbeschikbaarheid treden hierdoor verschuivingen op in de binding van nutriënten, wat weer een effect heeft op de beschikbaarheid ervan.

 - Stikstof: De metingen geven geen éénduidig beeld. Het totale N-verlies door inundatie zou naar verwachting kunnen oplopen tot 100-200 kg N per ha.

- fosfaat: bij een hoge P-PEA (makkelijk beschikbare P) lijkt er een afname (uitspoeling), echter er is nauwelijks een effect op de bodemvoorraad P (Pal))
- Kalium: er is geen duidelijk effect op kalium gehalte gemeten
- Zwavel: S-beschikbaar neemt eerst toe en wat langer na inundatie weer af. Er is geen effect op S-totaal gemeten, wat zou kunnen betekenen dat er geen hoeveelheid S van betekenis uitspoelt
- Er zijn geen effecten gemeten op organische stof en koolzure kalk
- Het effect van de inundatie op de gehalten calcium, magnesium en natrium lijkt beperkt. De meetresultaten zijn enigszins grillig. Gemiddeld lijken de gehalten toe te nemen na de inundatie maar in het voorjaar weer op een niveau te zitten vergelijkbaar met voor de inundatie

Een belangrijkste vraag is of de bodemvruchtbaarheid veel is veranderd nadat de water-luchthoudding in het voorjaar weer is hersteld. Helaas is die vraag op basis van de meetresultaten niet te beantwoorden. Duidelijk is dat de inundatie op bodemchemisch vlak (tijdelijke) verandering teweegbrengt. In vervolgonderzoek zal moeten worden nagegaan wat de effecten in de mineralentoestand op korte maar met name ook op de langere termijn zijn

In de praktijk worden in het teeltjaar na de inundatie vaak bovengemiddelde gewasopbrengsten gehaald. Hieruit is mogelijk af te leiden dat de bodemvruchtbaarheid zich in het voorjaar herstelt. Of zijn de hoge gewasopbrengsten toe te schrijven aan een mogelijk extra N-nalevering als gevolg van de inundatie.

- Effect inundatie op bodembioologie en bodemweerbaarheid:
 - Inundatie lijkt weinig effect te hebben op HWC, wat een maat is voor de totale bacterie- en schimmelbiomassa. De verwachting is dat de inundatie wel effect zal hebben op de diversiteit (samenstelling) van de bacterie- en schimmelpopulatie, zoals ook Unger (2009) in haar lab-proeven vond.
 - *Pythium* lijkt vrij ongevoelig voor inundatie. In de biotoets met tuinkers was de aantasting door de natuurlijke *Pythium* besmetting na inundatie vergelijkbaar met de mate van aantasting in de niet geïnundeerde grond. Bodemweerbaarheid tegen *Rhizoctonia* (specifieke weerbaarheid) en *Pythium* (algemene weerbaarheid) verdwijnen door inundatie. Weerbaarheid tegen *Rhizoctonia* lijkt een jaar na de inundatie iets te herstellen. Onderzoek van Van Os et al (1999) toonde aan dat na inundatie de ziekteonderdrukking tegen *Pythium* binnen een periode van twee jaar was hersteld, terwijl na natte grondontsmetting de ziekteonderdrukking slechts gedeeltelijk terug was.
 - Het effect inundatie op weerbaarheid tegen *M hapla* is onduidelijk: op drie percelen geen effect op één perceel lijkt de weerbaarheid door inundatie af te nemen.
 - Na inundatie is de samenstelling van de aaltjesgemeenschap anders dan voorheen. Er verdwijnen (onder detectiegrens) veel groepen en drie a vier maanden na afloop van de inundatie is dit (nog) niet hersteld.
 - Er is voor de betreffende twee percelen geen eenduidig effect van inundatie op de aaltjesgemeenschap.
 - De combinatie van aantallen, diversiteit, voedselgroepen, cp-waarden en daaruit berekende indices, maar ook de achterliggende gegevens, zijn belangrijk om een beeld te krijgen van de verschuiving in de aaltjesgemeenschap.

4.3 Effect van inundatieduur, inwerken van organische materiaal en temperatuur op de effectiviteit van inundatie

- Duur:
 - Een inundatie-duur van twaalf tot veertien weken bij 18°C (temp >16°C) lijkt noodzakelijk om een *M. chitwoodi*-besmetting volledig te kunnen saneren.
 - Tien weken, bij 18°C, zonder toevoeging van organisch materiaal was in de bakkenproef te kort om een *M. chitwoodi*-besmetting volledig te bestrijden.
- Toevoegen organische stof:
 - De emmerproef heeft aangetoond dat toevoegen van organische materiaal het inundatie proces versnelt/versterkt. De organische stof zorgt voor een actiever bodemleven; waardoor de bodem sneller, zuurstofloos wordt en er ontstaan hogere concentratie (toxische) afbraak producten. Dit is een bevestiging van de resultaten van Ebrahimi, 2016.
 - Makkelijk afbreekbaar organisch materiaal is effectiever dan organisch materiaal dat langzaam afbreekt, zoals stro. Bij toevoegen van vers organisch materiaal werd na een inundatieduur van 10 weken geen *M. chitwoodi* meer gevonden. Bij toevoegen van stro werd na 10 weken inundatie nog wel een *M. chitwoodi*-besmetting gedetecteerd.
- Temperatuur:
 - De effectiviteit van de inundatie is lager bij een temperatuurverloop waarbij de temperatuur onder de 16 °C daalt t.o.v. continu 18 °C.
 - Temperatuur onder 15 °C lijkt inundatie proces te vertragen, waarbij de effectiviteit duidelijk afneemt.

Zonder toevoegen van extra organisch materiaal is een inundatieduur van 12 – 14 weken met een temperatuur van minimaal 16 graden noodzakelijk. Toevoegen van makkelijk afbreekbaar organisch materiaal zoals gras kan het inundatie proces versnellen. Door inwerken van extra, makkelijk afbreekbaar, organisch materiaal kan de inundatie mogelijk verkort worden naar 8 tot 10 weken, bij voldoende hoge temperaturen (>16 °C).

Nog te beantwoorden vragen

De bodemvruchtbaarheidsmetingen die binnen dit project en in de inundatie-proeven van 2011 en 2015 zijn uitgevoerd geven nog geen éénduidig beeld van het effect van inunderen op de algehele bodemvruchtbaarheid en het risico op uitspoeling van nutriënten. In vervolgonderzoek zal moeten worden nagegaan wat de effecten van inundatie op de mineralentoestand op korte maar met name ook op de langere termijn zijn.

Een aantal telers schijnt toch problemen te hebben met de structuur na inunderen terwijl het algemene beeld is dat de structuur na inundatie sterk verbetert. Nagegaan moet worden wat de gronden met structuurproblemen na inundatie typeert.

Inundatie heeft een groot effect op het bodemleven. De aaltjesgemeenschap (milieuaaltjes), wat een belangrijk onderdeel is van het totale bodemvoedselweb, verandert sterk door inundatie. Onduidelijk is nog hoe en hoe snel na een inundatie de aaltjesgemeenschap herstelt. Ook voor het andere bodemleven, zoals de bacterie- en schimmelpopulatie, is niet bekend hoe deze zich ontwikkelt

(herstelt) na een inundatie. Monitoring van inundatiepercelen in de tijd zal inzicht geven in het herstel van het bodemleven na inunderen.

Voor een aantal belangrijke bodempathogenen is nog onbekend of deze met inundatie betreden kunnen worden. Onder andere voor bodemplaaginsecten en een aantal bodemschimmels als *Fusarium*, *Rhizoctonia solani* AG3 (lakschurft) en *Verticillium*. Vanuit de praktijk komen geluiden dat inundatie mogelijk onvoldoende effectief is tegen *Meloidogyne fallax*. Voor *M. fallax* is in 2021 inundatie onderzoek gestart.

Naast de vragen over de effectiviteit tegen deze pathogenen is ook nog onvoldoende duidelijk hoe effectief inundatie is op zwaardere grondsoorten. Inundatie en onderzoek aan inundatie wordt met name uitgevoerd op de wat lichtere grondsoorten (zand, lichte zavel). Of inundatie ook voldoende effectief is op kleigronden en wat toevoegen van organisch materiaal mogelijk kan bijdrage aan het verbeteren van de effectiviteit van inundatie op zware grond is niet bekend.

Literatuur

- Antoniou, M. & Evans, A., 1987. Diapause in *Meloidogyne naasi* eggs, I. The effect of constant temperature incubation. *Nematologica* 33; 186-198
- Asjes, C., Bakker-van der Voort, M., Blom-Barnhoorn, G. & Ploeg, A., 1996. Flooding sandy soil does not reduce the incidence of nematode transmitted tobacco rattle virus. *Nematologica* 42; 554-563
- 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.
- Ebrahimi, N., Viaene, N., Aerts, J., Debode, J. & Moens, M., 2016. Agricultural waste amendments improve inundation treatment of soil contaminated with potato cyst nematodes, *Globodera rostochiensis* and *G. pallida*
- Elberse, I., Visser, J., 2013. Bestrijding van wortelknobbelaaltjes in de bodem; Inundatie. Projectrapport, PPO nr. 32 361438 00/ PT nr. 14739.
- Ghani, A., Dexter, M. & Perrottl, K.W., 2003. Hot-water extractable carbon in soils: a sensitive measurement for determining impacts of fertilisation, grazing and cultivation. *Soil Biology and Biochemistry* Volume 35, Issue 9, September 2003, Pages 1231-1243
- Jacobs, L.J., 1987. A redefinition of the genus *Monhystrella* Cobb (Nematoda, Monhysteridae) with keys to the species. *Zoologica Scripta* 16(3): 191-197.
- Muller, P.J., van Aartrijk, J., 1985 Flooding reduces the soil population of stem nematode *Ditylenchus dipsaci* (Khun) in sandy soil. *Acta Horticulturae*, 255, P261-264.
- Postma et al., 2008. Soil suppressiveness and functional diversity of the soil microflora in organic farming systems. *Soil Biology and Biochemistry* Volume 40, Issue 9, September 2008, Pages 2394-2406
- 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.
- Roosjen, J. & Boerma, M., 1990 Effecten van inundatie op de populatie van de nematoden *Globodera pallida*, *Meloidogyne hapla*, *Pratylenchus spp.* en de schimmels *Rhizoctonia solani* en *Sclerotinia sclerotiorum*. Jaarverslag Stichting Interprovinciaal Onderzoekcentrum voor de Akkerbouw op zand- en veenkoloniale grond in Middenoost- en Noordoost-Nederland, P64-67
- Runia, W.T. & Molendijk, L.P.G, 2013. Effectiviteit inundatie voor de bestrijding van *Globodera pallida* en *Verticillium dahliae*. PPO-AGV (nu WUR-Open Teelten) projectrapport 3250224101.
- Runia, W.T., Molendijk, L.P.G., Stevens, L.H., Postma, J. & Schilder, M.T., 2014. Inundation as tool for management of *Globodera pallida* and *Verticillium dahliae*. Proc. VIIIth IS on Chemical and Non-Chemical Soil and Substrate Disinfestation. Eds: M.L. Gullino et al. Acta Hort. 1044, ISHS.

- Sieriebriennikov, B., Ferris, H., & de Goede, R. G. M. (2014). NINJA: An automated calculation system for nematode-based biological monitoring. *European Journal of Soil Biology*, 61, 90-93.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2014.02.004>
- Spaull, A.M., Trudgill, D.L. & Batey, T., 1992. Effects of anaerobiosis on the survival of *Globodera pallida* and possibilities for control. *Nematologica* 38: 88-97.
- Unger, I., Kennedy, A. & Muzika, R. 2009. Flooding effects on soil microbial communities. *Applied Soil Ecology* 42, p1-8
- Van Os, G., Wijnker, J., & Van Gulik, W. 1999. Effects of soil fumigation and flooding on suppression of *Pythium* root rot in ornamental bulb culture. *European Journal of Plant Pathology* 105(8), p791-800.
- Vreeburg, P. & Korsuize 2011. Twaalf weken inundatie noodzakelijk voor de bestrijding van stengelaaltjes. *Bloembollenvisie* 224, p20-21

Bijlage 1 Bodemvruchtbaarheidsanalyse grond bakkenproef

Resultaat	Eenheid	Resultaat	Streeftraject	laag	vrij laag	goed	vrij hoog	hoog
Chemisch	N-totale bodemvoorraad	kg N/ha	2930	4010 - 5850				
	C/N-ratio		8	13 - 17				
	N-leverend vermogen	kg N/ha	55	95 - 145				
	S-plantbeschikbaar	kg S/ha	276	20 - 30				
	S-totale bodemvoorraad	kg S/ha	1500	725 - 1010				
	C/S-ratio		15	50 - 75				
	S-leverend vermogen	kg S/ha	36	20 - 30				
	P-plantbeschikbaar	kg P/ha	4,7	6,5 - 10,8				
	P-bodemvoorraad	kg P/ha	945	475 - 725				
	K-plantbeschikbaar	kg K/ha	335	255 - 395				
K-bodemvoorraad	kg K/ha	550	315 - 470					
Ca-plantbeschikbaar	kg Ca/ha	465	260 - 610					
Ca-bodemvoorraad	kg Ca/ha	5140	3295 - 4940					
Mg-plantbeschikbaar	kg Mg/ha	225	180 - 305					
Mg-bodemvoorraad	kg Mg/ha	220	195 - 500					
Na-plantbeschikbaar	kg Na/ha	125	125 - 180					
Na-bodemvoorraad	kg Na/ha	85	85 - 125					
Fysisch	Zuurgraad (pH)		7,5	5,4 - 6,0				
	C-organisch	%	0,6					
	Organische stof	%	1,5					
	C/OS-ratio		0,40	0,45 - 0,55				
	Koolzure kalk	%	6,9	2,0 - 3,0				
	Klei (<2 µm)	%	7					
	Silt (2-50 µm)	%	18					
	Zand (>50 µm)	%	67					
	Klei-humus (CEC)	mmol+/kg	81	> 54				
	CEC-bezetting	%	100	> 95				
Ca-bezetting	%	88	75 - 85					
Mg-bezetting	%	6,2	6,0 - 10					
K-bezetting	%	4,8	2,0 - 5,0					
Na-bezetting	%	1,2	1,0 - 1,5					
H-bezetting	%	< 0,1	< 1,0					
Al-bezetting	%	< 0,1	< 1,0					
	Eenheid	Resultaat	Streeftraject	laag	vrij laag	goed	zeer goed	
Verkruimelbaarheid	rapportcijfer	9,2	6,0 - 8,0					
Verslemping	rapportcijfer	5,5	6,0 - 8,0					

Bijlage 2 Nutriënteninhoud van de organische stofbronnen, bakkenproef inundatie 2018.

Tabel Nutriënteninhoud van de organische stofbronnen, bakkenproef inundatie 2018.

Kop	Eenheid	stro	zaadmeel	gras
DS	gr/kg	877	897	189
Ruw eiwit	gr/kg DS	36	316	212
Nitraat	gr/kg DS	0.2	0.2	4
Chloor	gr/kg DS	1.3	1	7.6
Natrium	gr/kg DS	0.1	0.1	3.3
Kalium	gr/kg DS	14.2	8.8	32.9
Magnesium	gr/kg DS	0.8	4.1	2.2
Calcium	gr/kg DS	4.7	7.9	8.4
Fosfor	gr/kg DS	0.7	10.2	3.7
Mangaan	mg/kg DS	63	40	44
Zink	mg/kg DS	4	57	38
IJzer	mg/kg DS	217	108	785
Koper	mg/kg DS	2.7	9	9.5
Cobalt	µg/kg DS	62	40	218
Zwavel	gr/kg DS	1.3	12.8	4
Molybdeen	mg/kg DS	0.4	0.6	1.2
Borium	mg/kg DS	3.9	14.9	8.4
N-totaal	gr/kg DS	4	51.3	35.7

Bijlage 3 Flyer, inunderen tarragrond

Waar werkt inundatie tegen (en waar tegen niet):
Inunderen is een zeer effectieve methode om bodemziekten te bestrijden. Een besmetting met aardappelcysteaaltjes (AM) kan met inundatie met meer dan 99% worden gedood. Het lijkt zelfs mogelijk om, met een goed uitgevoerde inundatie, een besmetting met het maiswortelknobbelaaltje volledig te saneren. Er zijn echter ook een aantal bodemziekten die zich niet of maar zeer matig met inundatie laten bestrijden zoals het bietencysteaaltje. Onderstaande tabel geeft een overzicht van het effect van inundatie op een groot aantal bodemziekten.

Inundatie is ook een goede manier om uw afvalhopen op te ruimen. Hierdoor is het verplicht afdekken van deze hopen i.v.m. de verspreiding van Phytophthora niet langer nodig.



Zó pakt u verwerking van zeef- en restgrond aan

Restgrond vaak zwaar besmet met cysten
Inundatie effectief tegen bodemziekten

Legenda

+	zeer effectief
++	matig effectief
-	niet effectief
?	onbekend
(?)	waarschijnlijk effectief
(?)	waarschijnlijk niet effectief

Nematoden	Effectiviteit	
Aardappelcysteaaltje	<i>Globodera pallida</i> / <i>rostoch</i>	+
Witte bietencysteaaltje	<i>Heterodera schachtii</i>	-
Maiswortelknobbelaaltje	<i>Meloidogyne chitwoodi</i>	+
Bedrieglijk maiswortelknobbelaaltje	<i>Meloidogyne fallax</i>	?
Noordelijk wortelknobbelaaltje	<i>Meloidogyne hapla</i>	+
Graswortelknobbelaaltje	<i>Meloidogyne naasi</i>	+
Wortelcysteaaltje	<i>Pratylenchus penetrans</i>	+
Stergelaaftje	<i>Ditylenchus dipsaci</i>	+
Trichodoride	Trichodoridae	++
Schimmels		
Fusarium	<i>Fusarium</i> spp.	(?)
Lakschurft	<i>Rhizoctonia solani</i> AG 3	+
Rhizoctonia 2-2 III B	<i>Rhizoctonia solani</i> AG 2-2 III B	+
Zwart poot	<i>Rhizoctonia solani</i> AG 2-1	+
Sclerotinia-rot	<i>Sclerotinia sclerotiorum</i>	+
Wiltrot	<i>Sclerotium cepivorum</i>	(?)
Verwelingsziekte	<i>Verticillium dahliae</i>	(?)
Wrastziekte	<i>Synchytrium endobioticum</i>	(?)
Onkruiden		
Akkerdistel	<i>Cirsium arvense</i>	+
Akkerkers	<i>Rorippa sylvestris</i>	++
Heermoes	<i>Equisetum arvense</i>	+
Klein hoefblad	<i>Tussilago farfara</i>	+
Knolcyperus	<i>Cyperus esculentus</i>	+
Kweek	<i>Elymus repens</i>	+
Paardenstaart-achtigen	<i>Equisetaceae</i>	+
Zaadonkruiden		?
aardappelopslag		?

In een notendop
Brenge zeef- en sorteergroend niet zomaar terug naar een (willekeurig) perceel. Deze groend kan besmet zijn met aardappelcysten (AM) en andere bodemziekten en kan daardoor een belangrijke verspreidingsbron zijn. Mogelijk is de groend besmet met een virulente AM populatie. Behandel restgroend en voorkom zo verdere verspreiding van virulente AM populaties.

- Voor een maximale doding is een inundatieduur van 14 weken met een temperatuur van minimaal 15 °C noodzakelijk. Start de inundatie op tijd.
- De groend moet continue onderwater staan, het droogvallen van de groend heeft een negatief effect op de doding.
- Vul het bassin langzaam en vanuit het punt waar het grondniveau het laagst is zodat er geen lucht insluit waardoor de effectiviteit kan afnemen.
- Afdekken van zeef- en sorteergroend met plastic om zo anaerobe omstandigheden te creëren werkt onvoldoende. Een belangrijk deel van de bodempathogenen zal dit overleven.









Contact | Johnny Visser | Johnny.Visser@wur.nl | @ Johnny Spiekman
Meer weten? Op het YouTube-kanaal van BO Akkerbouw vindt u 9 video's met tips over inundatie.
Deze flyer is gemaakt in opdracht van Plan van Aanpak AM.

Waarom inunderen?

Bij de oogst van aardappelen komt veel tarragrond mee naar de aardappelhopen en schuren. Per hectare aardappelen wordt zo 1 à 2 ton aan zeef- en sorteergroend op het bedrijf verzameld. De kans is groot dat deze groend besmet is met verschillende bodemziekten (pathogenen) zoals aardappelcysteaaltjes. Tarragrond bevat vaak meer cysten dan de gemiddelde besmetting in het perceel. Wanneer restgroend wordt teruggebracht naar het perceel is er een groot risico dat bodemziekten worden verspreid, zeker als de groend van verschillende percelen afkomstig is. Om verspreiding van bodemziekten door restgroenden te voorkomen dient de groend op verantwoorde wijze te worden afgevoerd of moet worden gesaneerd, zodat het "veilig" teruggebracht kan worden naar het perceel. **Inundatie van restgroend is een effectief en kostenefficiënte methode om pathogenen in deze groend te bestrijden.** Als gevolg van uitselctie van virulente aardappelcysteaaltjes neemt het belang van een goede bedrijfshygiëne nog verder toe. Om verspreiding van deze zogeheten virulente populaties te voorkomen is het van groot belang om besmette zeef- en sorteergroend niet zoals dat nu gebeurt, vlak te schuiven maar de groend eerst te saneren

Inunderen: het principe

Het onder water zetten van percelen is een beproefde methode in de bloembollenteelt om bodemziekten te bestrijden en vindt inmiddels ook opgang in de akkerbouw. Deze methode blijkt ook zeer effectief voor het "ontsmetten" van restgroend. De effectiviteit van een inundatie wordt bepaald door de temperatuur in combinatie met de tijd dat een perceel of de restgroend onderwater staat. De inundatie dient daarom in de zomermaanden, bij een voldoende hoge temperatuur, te worden uitgevoerd.

Zuurstofloosheid en afbraakproducten
De doding van de pathogenen vindt plaats onder zuurstofloze omstandigheden. De zuurstofloosheid ontstaat omdat er organisch materiaal afbreekt. Dit proces onttrekt zuurstof aan de groend en het water voorkomt toevloed van zuurstof vanuit de lucht. De zuurstofloosheid en de afbraakproducten die ontstaan, door de anaerobe afbraak van organisch materiaal, zorgen voor de doding. Door extra organisch materiaal door de groend te mengen (b.v. 15-20 kg vers gras per kuub) wordt het inundatie proces versneld en neemt de effectiviteit nog verder toe.

Inunderen: de uitvoering

Minimale tijdsduur en tijdstip van inundatie
De minimale tijdsduur van onderwaterzettingen bedraagt 4 maanden bij een (bodem) temperatuur van minimaal 15°C. Kortere inunderen en/of bij lagere temperatuur gaat ten koste van de effectiviteit. Dit betekent dat de inundatie in de zomerperiode uitgevoerd moet worden.

Vullen van het bassin met water
Voorkom, bij het vullen van het bassin, insluiting van lucht in de groend. Op plekken in de groend waar nog luchtballen zitten zal de doding minder sterk zijn. Vul het bassin langzaam en vanuit het punt waar het grondniveau het laagst is zodat het bassin van onderaf volloopt en de lucht, door de stijgende waterspiegel, uit de groend wordt gedrukt.

Waterspiegel en bijvullen
Er is een minimale waterstand nodig van circa 20 cm boven de tarragrond. In de praktijk zal tijdens het seizoen 2 à 3 maal water bijvullen nodig zijn om het verlies door verdamping aan te vullen. Als de groend droogvalt, ook al is het maar kortstondig, gaat dit ten koste van de effectiviteit.



A Gegraven bassin
Het gegraven bassin heeft een inhoud van circa 120 m³ (15x4x2m) en is voldoende groot om de tarragrond van een bedrijf met 50 ha aardappelen te verwerken. De kuil is bedekt met landbouwfolie (dikte 0,2 mm). Kosten voor de aanleg (graswerkzaamheden, folie en afrastering) zijn circa € 750,-. Jaarlijks folie vernieuwen: € 250,-.



B Bassin van gestapelde betonblokken
Dit bassin is gemaakt van gestapelde betonblokken van 160 x 80 x 40 cm (Lxbxh). De onderste laag blokken zijn deels ingegraven om te voorkomen dat het bassin uitteven wordt gedrukt. Het bassin op de foto heeft een inhoud van 36 m³. Kosten voor de blokken en folie zijn circa € 2500,-. Jaarlijks folie vernieuwen: € 250,-.



C Mestcontainer
De mestcontainer heeft een inhoud van 36 m³. De aanschafwaarde van een gebruikte mestcontainer met een inhoud van 36 m³ ligt op circa € 6000,-.

Correspondentie adres voor dit rapport:

Postbus 430
3200 AK Lelystad
T 0320 29 11 11
www.wur.nl/plant-research

Rapport WPR-941

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, 5.000 medewerkers en 12.000 studenten 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.

