



Kennisinventarisatie Nutriënten & Gewasgezondheid: Literatuurstudie, Enquête & Kennisinteractie

Sanae Mouden¹, Esmée de Graaf¹, Marjolein Kruidhof¹, Patricia Strijbis², Jeroen Sanders²,
Wim Voogt¹ en Kirsten Leiss¹

¹ Wageningen University & Research, ² Vertify

Rapport WPR-1139



Referaat

Een literatuurstudie is uitgevoerd naar de relatie tussen nutriënten en vatbaarheid van het gewas voor ziekten en plagen, effecten op constitutieve en geïnduceerde plantweerbaarheid en de effectiviteit op biologische bestrijding. De focus lag hierbij op, maar is niet gelimiteerd tot, tuinbouwgewassen. Richtinggevend zijn daarbij de volgende onderzoeksvragen: a) Wat is bekend over effecten van nutriënten op gewasgezondheidsaspecten, zowel ziekten als plagen? b) wat is bekend over effecten van nutriënten op constitutieve en geïnduceerde plantweerbaarheid? c) wat is bekend over effecten en interacties van nutriënten op biologische bestrijders? Daarnaast zijn door middel van enquêtes de ervaringen en de gedachten van telers, adviseurs en bedrijven, die actief zijn in de biologische gewasbescherming, over dit onderwerp geïnventariseerd. Tenslotte is in een kennisinteractie tussen onderzoekers, adviseurs en telers gediscussieerd over hoe de gevonden resultaten het beste kunnen worden vertaald naar praktische toepassingen in kasteelten.

Abstract

A literature study was conducted on the relationship between nutrients and susceptibility of the crop to diseases and pests, effects on constitutive and induced plant resilience and the effectiveness on biological control. The focus of this study was on, but not limited to, horticultural crops. The following research questions served as guidelines: a) What is known about the effects of nutrients on crop health aspects, both diseases and pests? b) what is known about the effects of nutrients on constitutive and induced plant resilience? (c) what is known about the effects and interactions of nutrients on biological control agents? In addition, by means of surveys, the experiences and thoughts of growers, consultants and companies active in biological crop protection on this subject have been inventoried. Finally, in a knowledge interaction between researchers, advisors and growers it has been discussed how the results obtained can best be translated into practical applications in greenhouse production.

Rapportgegevens

Rapport WPR-1139

Projectnummer: 3742306200

DOI: <https://doi.org/10.18174/569148>

Thema: Plantgezondheid

Dit project/onderzoek is mede tot stand gekomen door de bijdrage van Stichting Kijk, Glastuinbouw Nederland, Groen Agro Control, Stichting Control in Food & Flowers, van Iperen, Koppert B.V., Gerdi Consult B.V., en Kairos Tuinbouwadvies VOF.

Disclaimer

© 2022 Wageningen, Stichting Wageningen Research, Wageningen Plant Research, Business unit Glastuinbouw, Postbus 20, 2665 MV Bleiswijk T 0317 48 56 06, www.wur.nl/plant-research.

Kamer van Koophandel nr.: 09098104

BTW nr.: NL 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 aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Adresgegevens

Wageningen University & Research, BU Glastuinbouw

Postbus 20, 2665 ZG Bleiswijk

Violierenweg 1, 2665 MV Bleiswijk

T +31 (0)317 48 56 06

Inhoud

	Samenvatting	5
1	Introductie	7
1.1	Conceptueel raamwerk	7
1.2	Voedingsoplossingen in de teelt	10
1.3	Referenties	11
2	Literatuurstudie (WUR)	13
2.1	Invloed van nutriënten op ziekten	13
2.1.1	Overzicht van de gevonden literatuur	13
2.1.2	Effect van stikstof (N) op ziekten	14
2.1.2.1	Effect op ziekteontwikkeling	14
2.1.2.2	Effect op fysische en biochemische plant afweermechanismen	15
2.1.3	Effect van fosfor (P) op ziekten	16
2.1.3.1	Effect op ziekteontwikkeling	16
2.1.3.2	Effect van kaliumfosfaat op morfologische en chemische afweer	17
2.1.3.3	Effect van kaliumfosfaat op de inductie van hormonale signaalroutes	18
2.1.4	Effect van kalium (K) op ziekten	18
2.1.4.1	Effect op ziekteontwikkeling	18
2.1.4.2	Effect op morfologische en chemische plantafweer	19
2.1.4.3	Effect op de inductie van hormonale signaalroutes	19
2.1.5	Effect van silicium (Si) op ziekten	20
2.1.5.1	Chemische eigenschappen silicium	20
2.1.5.2	Effect op ziekteontwikkeling	20
2.1.5.3	Effect op morfologische en chemische plantafweer	21
2.1.5.4	Effect op de inductie van hormonale signaalroutes	22
2.1.6	Referenties	22
2.2	Invloed van nutriënten op plagen en hun natuurlijke vijanden	31
2.2.1	Overzicht van de gevonden literatuur	31
2.2.2	Effecten van gecombineerde nutriënten op plaagorganismen	32
2.2.3	Effecten van stikstof (N) op plaagorganismen	34
2.2.4	Effecten van fosfor (P) op plaagorganismen	35
2.2.5	Effecten van kalium (K) op plaagorganismen	36
2.2.6	Effecten van Silicium (Si) op plaagorganismen	37
2.2.7	Effecten van nutriënten op natuurlijke vijanden	39
2.2.8	Referenties	40
2.3	Discussie en conclusies	44

3	Enquête (Verify)	47
3.1	Introductie	47
3.2	Specialisten	47
3.2.1	Introductie	47
3.2.2	Resultaten	47
3.3	Telers	51
3.3.1	Introductie	51
3.3.2	Resultaten	52
3.4	Discussie en conclusies	60
3.4.1	Specialisten	60
3.4.2	Telers	60
4	Kennisinteractie	63
4.1	Introductie	63
4.2	Stellingen	63
4.3	Plenaire terugkoppeling	65
	Bijlage 1 Enquête bemesting specialisten	67
	Bijlage 2 Enquête bemesting telers	71

Samenvatting

In een gezamenlijk meerjarenproject (PPS) van Glastuinbouw Nederland, Stichting Control in Food & Flowers, Vertify en de WUR wordt onderzoek gedaan naar de effecten van nutriënten op ziekten, plaagorganismen en hun bestrijders. Daarbij richt het project zich op effecten van nutriënten op de plantweerbaarheid tegen ziekten en plagen. Een verhoogde plantweerbaarheid vormt, samen met een goede biologische bestrijding de basis van robuuste en weerbare teeltsystemen in de kas, waarbij de afhankelijkheid van gewasbeschermingsmiddelen sterk kan worden verminderd.

In dit kader is als eerste stap (Werkpakket 1) een kennisinventarisatie doorgevoerd. Deze omvat een brede – dat wil zeggen voor de belangrijkste nutriënten (namelijk stikstof (N), fosfor (P), kalium (K) en silicium (Si)) en voor een veelheid aan gewassen – verkenning van de literatuur, en van de reeds aanwezige kennis en ervaring in de praktijk middels een enquête om de volgende onderwerpen te belichten:

- a) Wat is bekend over effecten van nutriënten op gewasgezondheidsaspecten, zowel op ziekten als plagen?*
- b) wat is bekend over effecten van nutriënten op de constitutieve en geïnduceerde plantweerbaarheid?*
- c) wat is bekend over effecten en interacties van nutriënten op biologische bestrijders?*

In de literatuurstudie is de relatie tussen nutriënten en vatbaarheid van het gewas voor ziekten en plagen, effecten op constitutieve en geïnduceerde plantweerbaarheid en de effectiviteit op biologische bestrijding beschreven. Deze studie is uitgevoerd door de WUR. Uit het literatuuronderzoek zijn 189 artikelen in relatie tot effecten op ziekten en 99 artikelen in relatie tot effecten op plagen en natuurlijke vijanden naar voren gekomen. In de meeste gevallen leiden lagere N-giften tot een tragere populatiegroei van plagen. Er zijn echter maar een paar artikelen waarin een verlaging van de N(PK) gift leidde tot een tragere plaagontwikkeling zonder negatieve gevolgen voor de gewasgroei. Over de effecten van fosfor op plagen is heel weinig bekend. Ook zijn er relatief weinig studies over de effecten van K bemesting op plagen, maar de meeste studies wijzen uit dat een tekort aan K de plaagontwikkeling stimuleert. Van Si is ook in verschillende studies aangetoond dat ze een onderdrukkend effect op plagen kan hebben. In een kwart van deze artikelen is ook naar de effecten op natuurlijke vijanden gekeken. Hierbij lag de focus van de meeste artikelen op sluipwespen, en is over de effecten van nutriënten op andere groepen natuurlijke vijanden, zoals roofwantsen, roofmijten en roofkevers heel beperkt. Sluipwespen ontwikkelen zich doorgaans tot kleinere individuen (met een lagere levensduur, lagere verspreidingscapaciteit en/of lagere vruchtbaarheid) dan plaaginsecten die op planten met een hogere voedingswaarde leven. Bij de ziekten vermelden een derde van de artikelen een effect van stikstof en een derde een effect over fosfor met als meest voorkomende ziekten echte meeldauw, Botrytis, Fusarium, Fytoftora en Anthracnose. Twee derde van de papers in relatie tot plagen ging over het effect van stikstof waarbij bladluis, rupsen en wittevlieg het meest vertegenwoordigd waren. Tuinbouwgewassen zijn in het onderzoek op effecten van stikstof en silicium wel vertegenwoordigd maar in mindere mate en nog minder bij effecten van fosfor en kalium. Ook is er relatief weinig literatuur over het effect van nutriënten op geïnduceerde weerbaarheid met name op verdedigingsstoffen. Stikstof is het belangrijkste voedingselement voor plantengroei. Stikstof bevordert de ontwikkeling van biotrofe schimmels die levende planten nodig hebben maar verminderd de ontwikkeling van necrotrofe schimmels die van verzwakte of dode planten leven. Plagen blijken bij een hogere stikstofgift toe te nemen. Veel stikstof veroorzaakt zwakke celwanden in de plant en verlaagt hun aanmaak van verdedigingsstoffen. Stikstof activeert de salicylzuur plantenafweer. Fosfor kan ziektegevoeligheid van planten verlagen door versterking van celwanden, toename in afweerstoffen, productie van schimmelwand afbrekende enzymen en activatie van de salicylzuur afweerroute. De beschikbaarheid van fosfor voor de plant is echter sterk afhankelijk van de binding in de bodem wat de interpretatie van de literatuurgegevens lastig maakt. Ook is daarmee een eventuele sturing voor verhoging van weerbaarheid in de praktijk complex. Verhoging van kalium vermindert infectie met zowel biotrofe als necrotrofe pathogenen door de regulatie van de opening van de huidmondjes, aanmaak van plantafweerstoffen en vermindering van de jasmonzuur plantafweerroute welke de salicylzuur route tegenwerkt.

Wellicht is de sturing van kalium voor verhoging van weerbaarheid moeilijk omdat het als de opname van de andere kationen (calcium, magnesium) sterk beïnvloed. Silicium heeft een brede werking op plantweerbaarheid en is niet ziekte- of plaag gebonden. Het heeft een sterk fysisch effect door formatie van mechanische barrières in het blad, aanmaak van plantafweerstoffen en afbraakenzymen als ook activatie van de salicylzuur plantafweerroute. Daarmee lijkt silicium het meest belovend om plantweerbaarheid middels nutriënten te verhogen, maar gewassen verschillen sterk in de accumulatie van silicium waarbij vooral monocotyle planten silicium kunnen ophopen. De chemie van silicium is tamelijk complex en lang niet alle vormen zijn geschikt voor toepassing in de bemesting. Hoewel de literatuur laat zien dat vooral stikstof en silicium de meeste potentie hebben om plantweerbaarheid te verhogen zijn deze resultaten vaak afkomstig uit meer fundamenteel onderzoek van niet-tuinbouwgewassen. Het is dus noodzakelijk deze resultaten met verder gericht onderzoek te toetsen met tuinbouwgewassen om dit ook voor toepassing in de praktijk te kunnen vertalen

In de enquête wordt de kennis, ervaringen en de gedachten van telers, adviseurs en bedrijven over dit onderwerp beschreven. Deze enquête is uitgevoerd door Vertify. Hiervoor zijn adviseurs, producenten en bemestingsspecialisten uit verschillende werkgebieden als ook telers bevraagd. Voor elke groep is een speciale enquête ontworpen. Hierbij kwam naar voren dat de specialisten voornamelijk met het basis bemestingsadvies, opgesteld door Proefstation Naaldwijk werken waarbij ze op de uitslagen van de drainanalyses sturen. Er worden echter door individuele adviseurs wel eigen accenten gelegd op bepaalde voedingselementen. Het wordt als belangrijk gezien om verschillende basis schema's zoals vldruppel, vegetatief en generatief aan te houden. Calcium (Ca) en stikstof worden als belangrijkste hoofdelementen in de glastuinbouw gezien. Kalium en fosfor worden als zeer essentieel ervaren voor een sterke gewasontwikkeling. IJzer (Fe) wordt genoemd als belangrijkste spoorelement. Chloor (Cl) en het element silicium komen naar voren als elementen met invloed op de plantweerbaarheid. Er worden linken gezien door de specialisten waarbij nutriënten een rol kunnen spelen in de plantweerbaarheid, echter de wetenschappelijke onderbouwing wordt gemist zodat er nog weinig in de praktijk mee wordt gedaan. Bij de telers wordt calcium gezien als het element met de grootste impact op gewasgezondheid, maar wat ook als het lastigste te sturen. Andere hoofdelementen zoals kalium en stikstof worden ook als zeer essentieel gezien voor een sterke gewasontwikkeling. Sporenelementen die belangrijk zijn voor een sterk en weerbaar gewas zijn ijzer maar ook mangaan (Mn) werd regelmatig genoemd. Bijna geen teler ziet een effect tussen de bemesting en het aanslaan van natuurlijke vijanden, wel denken alle telers dat er een link is tussen de weerbaarheid van de plant en de bemesting. Hierbij worden drainwater- en gietwateranalyse gezien als belangrijke informatie op basis waarvan gestuurd kan worden. Er is zeker behoefte aan meer kennis over bemesting en er wordt ook verwacht dat er meer bereikt kan worden met deze kennis. Telers vinden de mening van hun adviseur/specialist belangrijk, dus deze groep meer informatie geven is een goede manier om deze kennis ook bij telers te krijgen.

Tenslotte is een kennisinteractie met adviseurs (teelt-, gewasbescherming, bemesting), onderzoekers van kennispartijen, veredelaars, telers, producenten van potgrond en van meststoffen gehouden. In deze bijeenkomst is gereflecteerd en gediscussieerd hoe de gevonden resultaten van de literatuurstudie en enquête het beste kunnen worden vertaald naar praktische toepassingen in kasteelten. Tijdens de kennisinteractie zijn de resultaten van het literatuuronderzoek en de enquête eerst kort gepresenteerd en vervolgens is aan de hand van een aantal stellingen een discussie gevoerd in kleine groepen. De bevindingen van deze groepsdiscussies zijn vervolgens in een plenaire sessie teruggekoppeld en besproken. Aangegeven werd dat de verhouding tussen nutriënten belangrijker is dan het effect van de individuele elementen op plantweerbaarheid. Overigens is bij hoofdelementen altijd sprake van verhoudingen, aangezien de concentraties onderdeel zijn van de voedingsoplossing, die een bepaalde EC-waarde heeft, waarbij verhoging of verlaging van een kation, of een anion ook altijd effect zal hebben op alle andere kat- of anionen. Geconstateerd is ook dat het kennisniveau over de effecten van nutriënten op plantweerbaarheid beperkt is en dat meer onderzoek gewenst is. Hierbij is vooral een praktische insteek gewenst. Hierbij was er veel discussie over de rol van silicium. Het effect en het werkingsmechanisme van silicium op plantweerbaarheid is niet altijd duidelijk en er is ook veel informatie in omloop die eerder gevoed wordt door 'marktpartijen' dan gebaseerd is op wetenschappelijk verantwoorde experimenten.

1 Introductie

In een gezamenlijk meerjarenproject (PPS) van Glastuinbouw Nederland, Stichting Control in Food & Flowers, Vertify en de WUR wordt onderzoek gedaan naar de effecten van nutriënten op ziekten, plaagorganismen en hun bestrijders. Daarbij richt het project zich vooral op effecten van nutriënten op de plantweerbaarheid tegen ziekten en plagen.

Een verhoogde plantweerbaarheid vormt, samen met een goede biologische bestrijding de basis van robuuste en weerbare teeltsystemen in de kas, waarbij de afhankelijkheid van gewasbeschermingsmiddelen sterk kan worden verminderd.

In dit kader is als eerste stap (Werkpakket 1) een kennisinventarisatie doorgevoerd welke drie delen omvatte:

1. Literatuurstudie naar de relatie tussen nutriënten en vatbaarheid van het gewas voor ziekten en plagen, effecten op constitutieve en geïnduceerde plantweerbaarheid en de effectiviteit op biologische bestrijding. De focus ligt hierbij op (maar is niet gelimiteerd tot) tuinbouwgewassen. Deze studie is uitgevoerd door de WUR.
2. Enquête over kennis, ervaringen en de gedachten van telers, adviseurs en bedrijven die actief zijn in de biologische gewasbescherming over dit onderwerp. Deze enquête is uitgevoerd door Vertify.
3. Kennisinteractie tussen onderzoekers, adviseurs en telers waarbij een discussie plaatsvindt over hoe de gevonden resultaten van de literatuurstudie en enquête het beste kunnen worden vertaald naar praktische toepassingen in kasteelten.

1.1 Conceptueel raamwerk

De glastuinbouw moet minder afhankelijk worden van chemische gewasbeschermingsmiddelen. Om die reden is het verhogen van de weerbaarheid tegen ziekten en plagen van gewassen door gebruik van natuurlijke processen belangrijk. Plantenvoeding is een belangrijk onderdeel van deze processen. In de literatuur is veelvuldig aangetoond dat een verlaging in het aanbod van bepaalde nutriënten (met name stikstof (N) de gevoeligheid van gewassen voor ziektes en plagen kan verlagen. Aan de andere kant zijn er aanwijzingen dat het aanbod van andere nutriënten, zoals calcium (Ca) en silicium (Si), in bepaalde gewassen juist kan bijdragen aan de plantweerbaarheid.

De uitgangspunten en het instrumentarium voor het sturen van de nutriënten bij kasteelten is gevestigde kennis, en is met name bij substraatteelten goed bestudeerd. Bij de huidige praktijk van bemesting wordt het voedingsaanbod enerzijds bepaald door de samenstelling van de voedingsoplossing (verhoudingen), en anderzijds door de EC (concentraties). De EC is voor telers een uiterst belangrijke sturingsfactor voor de teelt, waarbij, per gewas sterk verschillend, veel hogere EC's worden aangehouden dan noodzakelijk is voor de voeding. Bovendien noodzaakt de geringe buffercapaciteit van substraat tot een ruim voedingsaanbod. De huidige bemestingspraktijk kent daardoor een ruim tot zeer ruim overaanbod aan nutriënten. Weliswaar is er bij een aantal gewassen (tomaat, gerbera) al een aantal jaren sprake van gedeeltelijke vervanging van nitraat door chloride of deels sulfaat, maar dit zit nog ver af van een kritische ondergrens voor stikstof. Er is dus nog altijd sprake van een overaanbod aan stikstof en zogenaamde 'luxe consumptie' van stikstof. Dit houdt in dat er veel meer stikstof in de plant aanwezig is dan noodzakelijk voor de bouw van structurele biomassa en inhoudsstoffen.

Bij kasteelten en dan met name bij substraatteelt is het noodzakelijk een complete voedingsoplossing te doseren, en daarnaast wordt door middel van de EC-sturing gegeven om specifieke teeltkundige doelen te bereiken. Dit maakt het echter gecompliceerd en voor telers risicovol om via voeding de gewasgezondheid te beïnvloeden. Anderzijds biedt juist de beheersbaarheid van de voeding in de substraatteelt, en de jongste ontwikkelingen rond ion-specifieke sturing, unieke kansen om dit "palet" ook te benutten als bouwsteen van plant- en systeem weerbaarheid. Het ontbreekt echter nog aan veel kennis over de specifieke effecten van plantenvoeding op schimmelziekten, plaaginsecten en hun natuurlijke vijanden om dit momenteel in de praktijk toe te passen.

Deze kennisinventarisatie omvat daarom een brede verkenning van de literatuur, en van de reeds aanwezige

kennis en ervaring in de praktijk. Het is onderdeel van een groter project waarin experimenteel onderzoek wordt gedaan naar de effecten van een verlaging van bepaalde nutriënten op de plantweerbaarheid tegen ziekten, plagen en biologische bestrijding in de gewassen gerbera, paprika, komkommer en chrysant. Omdat het voor het goed kunnen vertalen van deze kennis naar een praktische toepassing in teelten bovendien van groot belang is om de achterliggende mechanismen te kennen is ook hieraan aandacht besteed.

Met deze literatuurstudie willen we de volgende vragen beantwoorden:

- a. *Wat is bekend over effecten van nutriënten op gewasgezondheidsaspecten, zowel op ziekten als plagen?*
- b. *Wat is bekend over effecten van nutriënten op de constitutieve en geïnduceerde plantweerbaarheid?*
- c. *Wat is bekend over effecten en interacties van nutriënten op biologische bestrijders?*

Voordat we de literatuur met betrekking tot deze drie vragen beschrijven, schetsen we hier eerst de onderlinge samenhang tussen de verschillende componenten die een rol spelen bij de invloed van nutriëntengift op de ontwikkeling van pathogenen, plagen en natuurlijke vijanden en de biologische bestrijding van plagen. Dit 'conceptuele raamwerk' of 'kapstok' is in Figuur 1.1 weergegeven, en we gebruiken deze vervolgens voor het structureren van de kennis die bij het raadplegen van de literatuur over dit onderwerp naar voren komt.

Het begint met de hoeveelheid, concentratie en vorm van de verschillende nutriënten die de plant uit de bodem/substraat kan opnemen. Er zijn twaalf essentiële nutriënten (zes hoofd- en zes sporenelementen) en ook zijn er nog enkele 'beneficial' elementen, zoals Silicium (Si). Daarnaast zijn er nog een aantal elementen, waarvan nog altijd niet duidelijk of ze wel of niet essentieel zijn, of die alleen bij specifieke plantengeslachten een rol spelen, zoals nikkel (Ni) en kobalt (Co). In dit literatuuronderzoek richten we ons met name op de invloed van de macro-elementen stikstof (N), fosfor (P) en kalium (K) als hoofdelementen van de basis bemesting. Daarnaast kijken we ook naar silicium een element welke de weerbaarheid van planten tegen ziektes en plagen kan beïnvloeden. Bij sommige nutriënten speelt de vorm een rol, zoals bij stikstof en silicium. Zo kan stikstof als nitraat (NO_3^-), ammonium (NH_4^+) of in organische vorm (urea, aminozuur) toegepast worden, en dit kan ook weer het effect op ziektes en plagen beïnvloeden (Bentz *et al.* 1995; 1996; Salomon *et al.* 2003; Huber and Haneklaus, 2007). Silicium komt bijvoorbeeld voor in veel verschillende vormen, zoals tetra-ethyl-ortho-silicaat, kalium-silicaat en ortho-siliciumzuur. Zowel de vorm, hoeveelheid en concentratie waarin de nutriënten kunnen worden aangeboden, als de opname van de nutriënten door de plant wordt bepaald door met de fysische, chemische en biologische eigenschappen van het wortelmilieu. Met name de pH en EC en de ion-bufferende eigenschappen van de grond/substraat bepalen mede de plantbeschikbaarheid van de nutriënten en voor stikstof spelen daarnaast de microbiële omzettingen een belangrijke rol.

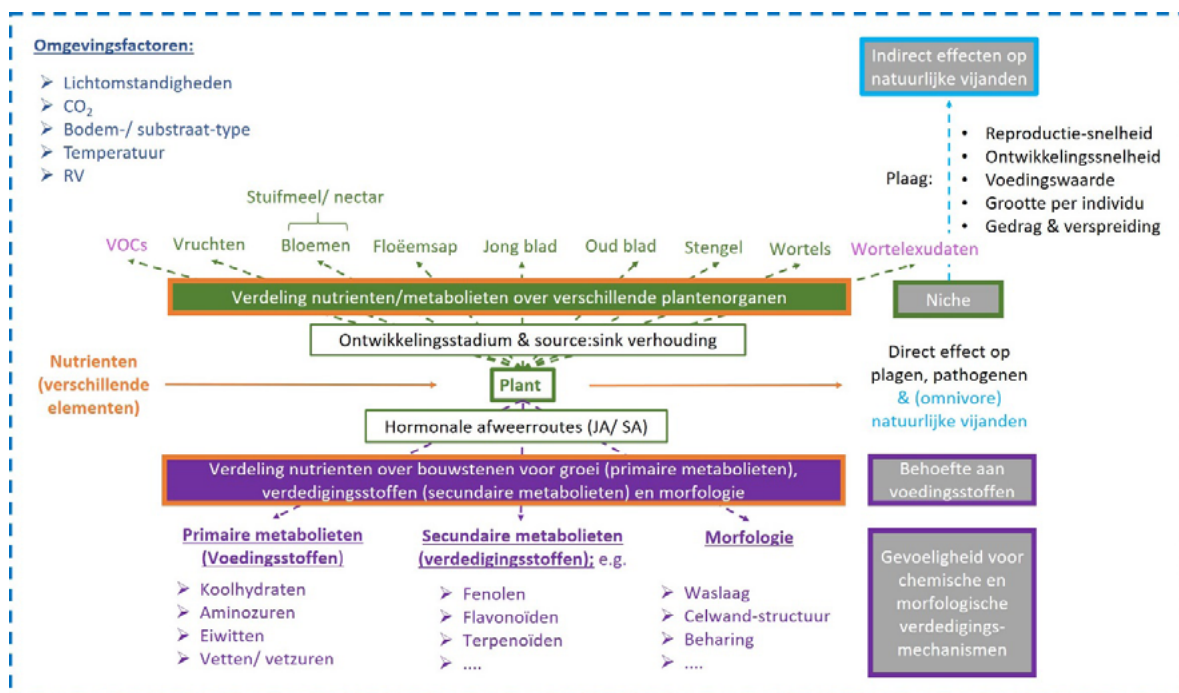
Vervolgens worden de opgenomen nutriënten door de plant omgezet in bouwstenen voor groei (primaire metabolieten zoals, onder andere aminozuren, eiwitten, en vetzuren), verdedigingsstoffen (secundaire metabolieten zoals fenolen, flavonoïden, terpenoïden, etc.) en morfologische structuren (zoals beharing, celwand-structuur en waslaag). De vorming van deze bouwstenen en structuren is het resultaat van een aantal complexe chemische en fysiologische veranderingen in de plant, waarbij enerzijds de hoeveelheid, concentratie en vorm van de nutriënten, en anderzijds het tijdstip en de manier van toediening van nutriënten, een rol spelen. De hormonale afweerroutes, met name de jasmonzuur- en salicylzuurroute, en de mate waarin deze zijn geïnduceerd, kunnen een rol spelen bij de verdeling van de nutriënten over groei- en afweerfuncties. Voedingswaarde en plantweerbaarheid worden daarmee beide beïnvloed door nutriënten-gift, en relatieve bijdrage van deze twee componenten aan de uiteindelijke ontwikkeling van ziektes en plagen is vaak niet duidelijk.

Niet alleen de ziektes en plagen zelf, maar ook hun biologische bestrijders kunnen worden beïnvloed door het nutriëntenaanbod van het gewas. Om een goed beeld te krijgen van de impact hiervan op plaagbestrijding is het van belang zowel de effecten van nutriënten op plagen die direct via de plant verlopen als de indirecte effecten van nutriënten op plagen die via een verandering in de effectiviteit in biologische bestrijding verlopen, in kaart te brengen. Effecten van nutriënten op de ontwikkelingssnelheid, de reproductie-snelheid, de grootte van plaagindividuen, de voedingswaarde van plaagindividuen en de verspreiding van plaagorganismen in het gewas kunnen allemaal effect hebben op de effectiviteit van biologische bestrijders. Veel biologische bestrijders voeden zich naast plaagorganismen ook direct met plantaardig voedsel, zoals nectar en stuifmeel, en in het geval van roofwantsen van de familie Miridae (e.g. *Macrolophys pygmaeus*) zelfs met plantensap. Hierdoor is er mogelijk ook een directe link tussen de voedingstoestand van de plant en deze biologische bestrijders.

De manier waarop de verdeling van primaire en secundaire metabolieten (de voedingsstoffen en verdedigingsstoffen) plaatsvindt over de verschillende plantorganen is van verschillende factoren afhankelijk, waaronder het ontwikkelingsstadium en de source-sink verhouding. Het effect dat deze voedingsstoffen en verdedigingsstoffen en -structuren kunnen hebben op plagen, pathogenen en (omnivoor) natuurlijke vijanden hangt af van de niche die deze organismen op de plant innemen. Zo is er een duidelijk onderscheid tussen bovengrondse en ondergrondse plantbelagers. In dit literatuuronderzoek ligt de focus op de bovengrondse pathogenen, plagen en hun natuurlijke vijanden. Andersom kan de niche die plagen in het gewas innemen ook worden beïnvloed door bemesting. Dit blijkt o.a. uit de studie van Davies *et al.* (2004) waarbij bij een hoog bemestingsniveau het grootste gedeelte van de katoenluizen zich op de jongste bladeren van chrysant bevond, terwijl bij een laag bemestingsniveau het grootste gedeelte van de katoenluizen zich juist op de volgroeide oudere bladeren bevond. Voor Californische trips had bemestingsniveau geen invloed op de niche in het chrysantengewas (Chau *et al.* 2005a).

Verder speelt de voedingswijze een elementaire rol in de concentratie en de vorm waarin plantbelagers voedingsstoffen en verdedigingsstoffen tot zich nemen. Binnen de plagen zijn er soorten die zich voeden met plantensap door plantencellen aan te prikken (e.g. trips en spint), zijn er bijtende en kauwende soorten (e.g. rupsen) die hele stukken blad wegvreten, zijn er bladmineerders die zich met het bladparenchym voeden en zijn er de floeemvoerders zich volledig hebben aangepast aan floeemsap als voedingsbron. Veel natuurlijke vijanden en sommige soorten plagen voeden zich bovendien met stuifmeel en nectar. Ook pathogenen hebben verschillende voedingswijzen, en kunnen worden onderverdeeld in necrotrofe en biotrofe soorten. Naast de verdeling van voedingsstoffen over vruchten bloemen, jong blad, oud blad stengels en wortels scheidt de plant ook voedingsstoffen uit in de omgeving. Bovengronds gebeurt dit in de vorm van geurstoffen, oftewel 'volatile organic compounds' (VOCs), en ondergronds in de vorm van wortellexudaten. Deze geurstoffen kunnen de aantrekkelijkheid van het gewas voor plagen en natuurlijke vijanden beïnvloeden. Bovendien heeft de samenstelling van de wortellexudaten een sterk effect op het microbiom rond het wortelstelsel. De effecten van nutriënten op ondergrondse ziekten, plagen en het microbiom rond de wortels vallen echter buiten de scope van dit literatuuronderzoek.

Elk gewas heeft zijn eigen specifieke chemische en fysische afweermechanismen met elk een unieke vraag voor bouwstenen en van nutriënten. Ook het effect van de plantbelager op het induceren van de hormonale afweerroutes is afhankelijk van de soort belager en gewas. Daardoor is het niet mogelijk om de invloed van bepaalde nutriënten op de plantweerbaarheid te generaliseren. Daarnaast wordt elke ziekte of plaag op een unieke manier beïnvloed door de afweermechanismen van de plant. Een laag gehalte aan voedingsstoffen in de plant kan tot een verzwakte plantenafweer leiden (Snoeijers *et al.* 2000). Zo is voor tabaksplanten aangetoond dat een beperking in stikstof aanbod verhinderde dat de plant na een aanval van plagen bepaalde afweerstoffen (i.e. trypsine remmer, nicotine) kon induceren, terwijl de inductie van vluchtige terpenen niet werd gehinderd (Lou and Baldwin, 2004). Ook Dietrich *et al.* (2004) toonden aan dat een laag stikstof aanbod de inductie van afweer enzymen verlaagde, en de werking van chemische elicitors verminderde. Andere studies toonden juist aan dat de concentraties van constitutieve afweerstoffen zoals fenolzuren en flavonoïden hoger werden wanneer het stikstof aanbod werd beperkt (Fritz *et al.* 2006; Le Bot *et al.* 2009; Larbat *et al.* 2012a,b; 2014).



Figuur 1.1 Conceptueel raamwerk: onderlinge samenhang tussen de verschillende componenten die een rol spelen bij de invloed van nutriëntengift op de ontwikkeling van pathogenen, plagen en natuurlijke vijanden en de biologische bestrijding van plagen.

1.2 Voedingsoplossingen in de teelt

Bij de huidige praktijk van bemesting wordt het voedingsaanbod door twee factoren bepaald. Enerzijds is dit de samenstelling van de voedingsoplossing, die de onderlinge verhoudingen bepalen en anderzijds door de EC, die de concentraties van de nutriënten bepaalt. De EC is voor telers een uiterst belangrijke sturingsfactor voor de teelt, waarbij veel hogere EC's worden aangehouden dan primair noodzakelijk is voor de voeding van het gewas (Sonneveld & Voogt, 2009). Dit instrument wordt vooral toegepast bij vruchtgroenten om een goede vruchtkwaliteit te realiseren. Bovendien noodzaakt de geringe buffercapaciteit van substraat tot een ruim aanbod aan voeding. Kortom, de huidige bemestingspraktijk kent daardoor een ruim tot zeer ruim overaanbod aan voeding. Sinds de toepassing van het hergebruiken van drainagewater leidt dit echter niet tot verspilling van nutriënten en belasting van het milieu. De EC is een cruciale teeltfactor is, telers zullen niet bereid zijn aan de streefwaarden hiervan concessie te doen. Er zijn echter een aantal indicaties dat het niet noodzakelijk is om de logischerwijs daaraan gekoppelde hoge concentraties aan nutriënten ook te doseren. Proeven met o.a. tomaat en roos, waarbij nitraat gedeeltelijk werd vervangen door chloride toonden aan dat bij gelijkblijvende EC nitraat fors kan worden verlaagd zonder groei- of productieverlies (Bar Yosef *et al.* 2000; Voogt & Sonneveld 2004; Voogt *et al.* 2006). Dit heeft in de praktijk navolging gekregen bij tomaat en gerbera, echter de gehanteerde nitraat concentraties zitten nog ver af van de kritische ondergrens. Ook het lopende onderzoek naar natrium (Na)-grenswaarden laat zien dat er ruimte is binnen de EC om te spelen met – in dit geval – de concentraties van de kationen (K, Ca, Mg) (Stijger, 2009). Kortom er is ruimte binnen de optimale teeltkundig noodzakelijke EC om de concentratie van individuele nutriënten te verlagen.

Een verlaging van het nutriëntenaanbod geeft mogelijk kansen om de ontwikkeling van ziekten en plagen te remmen. Een kanttekening moet hierbij worden gemaakt. Verlaging van een nutriënt kan in het geheel van een voedingsoplossing nooit zonder veranderingen van andere nutriënten. Immers een voedingsoplossing is opgebouwd uit (kunstmest-)zouten, elke van de nutriënten is daarbij kation of anion. Aanpassing naar een verlaagd nutriënt is daardoor altijd een compromis. Omdat de eis in dit kader een gelijkblijvende EC zal zijn (= totaal som aan kat- of anionen), zal een verlaging van een kation of een anion dus betekenen dat andere kationen resp. anionen moeten worden verhoogd. Omdat het basisprincipe van voedingsoplossingen gebaseerd is op het realiseren van de ideale onderlinge verhoudingen is de meest logische oplossing daarom dat verlaging van een anion of kation gecompenseerd wordt door evenredige verhoging van de overige anionen respectievelijk kationen (Steiner, 1961).

Het onderwerp: relatie 'nutriënten – gewasgezondheid' is alleen al vanuit het zicht van de nutriënten veelomvattend. Er zijn twaalf essentiële nutriënten (zes hoofd- en zes spoorelementen) en ook zijn er nog enkele 'beneficial' elementen, zoals Silicium en Nikkel, Chloride. Bij sommige nutriënten speelt de vorm een rol, zoals bij stikstof, dat als nitraat (NO_3^-), ammonium (NH_4^+) of in organische vorm (urea, aminozuur) toegepast kan worden. Niet in het minst spelen de eigenschappen van het wortelmilieu een belangrijke, zo niet overheersende, rol. Dit geldt vooral voor pH en EC en ion-bufferende eigenschappen, die de plant-beschikbaarheid mede bepalen. Daarnaast kan ook de vorm (kunstmestzout, oplossing) en de manier waarin het nutriënt wordt toegediend (druppelbevloeïing, bladbemesting) effect hebben.

1.3 Referenties

- Bar-Yosef, B., Raviv, M., Meiri, A., (2000).
Crops Response to Water and Fertilizers Recycling in Greenhouses: Pepper. Annual Report Submitted to the Chief Scientist, Ministry of Agriculture, Israel.
- Bentz, J. A., Reeves III, J., Barbosa, P., & Francis, B. (1995).
Nitrogen fertilizer effect on selection, acceptance, and suitability of *Euphorbia pulcherrima* (Euphorbiaceae) as a host plant to s (Homoptera: Aleyrodidae). *Environmental Entomology* 24, 40-45.
- Bentz, J. A., Reeves III, J., Barbosa, P., Francis, B. (1996).
The effect of nitrogen fertilizer applied to *Euphorbia pulcherrima* on the parasitization of *Bemisia argentifolii* by the parasitoid *Encarsia formosa*. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 78, 105-110.
- Chau, A., Heinz, K. M. Davies Jr, F. T. (2005).
Influences of fertilization on population abundance, distribution, and control of *Frankliniella occidentalis* on chrysanthemum. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 117, 27-39.
- Davies, F. T., He, C., Chau, A., Heinz, K. M., & Cartmill, A. D. (2004).
Fertility affects susceptibility of chrysanthemum to cotton aphids: influence on plant growth, photosynthesis, ethylene evolution, and herbivore abundance. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 129, 344-353.
- Fritz, C., N. Palacios-Rojas, R. Feil, and M. Stitt. (2006).
Regulation of secondary metabolism by the carbon-nitrogen status in tobacco: nitrate inhibits large sectors of phenylpropanoid metabolism. *Plant Journal* 46, 533-548.
- Huber, D. M., and Haneklaus, S. (2007).
Managing Nutrition to Control Plant Disease. *Landbauforsch. Völkenrode* 57, 313-322.
- Larbat, R., J. Le Bot, F. Bourgaud, C. Robin, and S. Adamowicz. (2012a).
Organ-specific responses of tomato growth and phenolic metabolism to nitrate limitation. *Plant Biology* 14, 760-769.
- Larbat, R., K. M. Olsen, R. Simestad, T. Lovdal, C. Benard, M. Verheul, F. Bourgaud, C. Robin, C. Lillo. (2012b).
Influence of repeated short-term nitrogen limitations on leaf phenolics metabolism in tomato. *Phytochemistry* 77, 119-128.
- Larbat, R., Paris, C., Le Bot, J., Adamowicz, S. (2014).
Phenolic characterization and variability in leaves, stems and roots of Micro-Tom and patio tomatoes, in response to nitrogen limitation. *Plant Science* 224, 62-73.
- Le Bot, J., Benard, C., Robin, C., Bourgaud, F. Adamowicz, S. (2009).
The 'trade-off' between synthesis of primary and secondary compounds in young tomato leaves is altered by nitrate nutrition: experimental evidence and model consistency. *Journal of Experimental Botany* 60, 4301-4314.
- Lou, Y. G., and I. T. Baldwin. (2004).
Nitrogen supply influences herbivore-induced direct and indirect defenses and transcriptional responses to *Nicotiana attenuata*. *Plant Physiology* 135, 496-506.
- Snoeijsers, S., Pérez-García, A., Joosten, M., de Wit, P. (2000).
The effect of nitrogen on disease development and gene expression in bacterial and fungal plant pathogens. *European Journal of Plant Pathology* 106, 493-506.
- Solomon, P. S., Tan, K. C., Oliver, R. P. (2003).
The nutrient supply of pathogenic fungi; a fertile field for study. *Molecular Plant Pathology* 4, 203-210.
doi:10.1046/J.1364-3703.2003.00161.X.

- Sonneveld, C., Voogt, W. (2009).
Plant Nutrition of Greenhouse Crops. Springer.
- Steiner, A.A. (1961).
A universal method for preparing nutrient solutions of a certain desired composition. *Plant Soil* 15, 134–154.
<https://doi.org/10.1007/BF01347224>
- Stijger, H. (2019).
Leren omgaan met oplopend natriumgehalte in de teelt, <https://www.glastuinbouwwaterproof.nl/>
- Voogt, W., Sonneveld, C. (2004).
Interactions between nitrate and chloride in nutrient solutions for substrate grown tomato. *Acta Horticultura* 644, 359-368.
- Voogt, W., Garcia, N., Straver, N., van den Burg, N. (2006).
Onderzoek naar de mogelijkheden om rozen te telen met een permanent dan wel tijdelijk lagere N concentratie in het wortelmilieu om de N emissie te verminderen. Wageningen UR Glastuinbouw, Rapport 4161607.

2 Literatuurstudie (WUR)

2.1 Invloed van nutriënten op ziekten

2.1.1 Overzicht van de gevonden literatuur

Uit het literatuuronderzoek naar de invloed van stikstof, fosfor, kalium en silicium op ziekten zijn naast een aantal overzichtsartikelen, 189 artikelen met primaire onderzoeksgegevens naar voren gekomen die zijn opgenomen in onze dataset (Figuur 2.1). Een derde van de artikelen ging over het effect van stikstof (35%) en een derde over het effect van Kalium (33%), terwijl 16% over het effect van fosfor en 15% het effect van silicium beschrijft. De meeste artikelen over stikstof bemesting hadden met nitraat te maken en in mindere mate met ammonium en urea. Voor stikstof is het meeste onderzoek uitgevoerd in graan, gevolgd door rijst en tomaat. Onderzoek in kas of veld is hier in evenwicht. De drie topgewassen in het onderzoek na effect van fosfor op ziekten zijn aardappel, sojaboon en komkommer met 6 artikelen elk waarvan de meerderheid over onderzoek in de kas gaan. Voor kalium is voornamelijk onderzoek gedaan na ziekten in akkerbouwgewassen terwijl tuinbouwgewassen in het onderzoek na silicium domineren, aangevoerd door tomaat en paprika.

	N	P	K	Si
# artikelen	66 NH ₄ (15) Urea (8) NO ₃ (35) Overig (8)	30	61	29
# geïnduceerde weerbaarheid	8	12	6	3
Top 3 ziekten	Fusarium (14) Botryitis (11) E. meeldauw (5)	Fytoftora (7)	E.meeldauw (4) Fytoftora (3) Anthracnose (3)	E. meeldauw (3) Anthracnose (3)
Top 3 gewassen	Graan (15) Tomaat (9) Rijst (9)	Aardappel (6) Komkommer (6) Sojaboon (6)	Sojaboon (7) Rijst (6) Graan (5)	Tomaat (5) Paprika (3) Rijst (3)
Teelt omgeving	Kas (21) Veld (22) Lab (16)	Kas (15) Veld (9) Lab (3)	Kas (17) Veld (21) Lab (4)	Kas (5) Veld (21) Lab (4)
Top 3 verdedigingsstoffen	Fenolen (7) Aminozuren (3) Suikers (3)	Fenolen (1)	Fenolen (4) Aminozuren (2)	Fenolen (3)

Figuur 2.1 Overzicht van de gevonden literatuur over de invloed van de nutriënten stikstof (N), fosfor (P), kalium (K) en silicium (Si) en gecombineerde meststoffen op ziekten.

Wat betreft de ziekten was echte meeldauw, Botrytis, Fusarium, Fytoftora en Anthracnose het meest vertegenwoordigd in de literatuur over de effecten van nutriënten, en gezamenlijk besloegen de artikelen met deze ziekten 28% van de gevonden studies. Echte meeldauw wordt bij alle bekeken nutriënten genoemd behalve bij fosfor. Dit laat zien dat het onderzoek van effecten van nutriënten op ziekten tamelijk verspreid is over verschillende pathogenen. Dit is vooral goed te zien bij de studies over effecten van fosfor. Hier zijn er in totaal 30 papers vermeld, waarvan 7 met Fytoftora te maken hebben terwijl alle andere studies elk over een ander specifiek pathogeen berichten. Er kwamen 29 artikelen met primaire onderzoeksgegevens naar voren over de effecten van nutriënten op geïnduceerde weerbaarheid. Terwijl in bijna allen artikelen informatie over de concentraties van nutriënten en of voedingsstoffen van de verschillende bemestingsbehandelingen vermeld wordt is alleen in 12% van de artikelen informatie over de concentraties van chemische verdedigingsstoffen verstrekt. Fenolen zijn hier de meest vertegenwoordigd en worden bij effecten door alle hier bekeken nutriënten genoemd.

2.1.2 Effect van stikstof (N) op ziekten

2.1.2.1 Effect op ziekteontwikkeling

Stikstof is het belangrijkste nutriënt voor plantengroei en is daarom ook uitgebreid bestudeerd in relatie tot ziekten (Huber & Watson, 1974; Datnoff *et al.* 2007; Huber & Thompson, 2007; Gupta *et al.* 2013; Thalineau *et al.* 2016). Oudere literatuur is vooral beschrijvend van aard. Echter, het effect van stikstof, zoals gerapporteerd in de gepubliceerde literatuur, is vrij inconsistent. Hierdoor kan er geen generiek model beschreven worden voor de relatie stikstof en plantenziekten gezien hier een mengeling van factoren een rol speelt.

Dit variabel effect kan worden verklaard door het feit dat stikstof invloed kan uitoefenen op zowel de plant alsook op pathogenen zelf. Zo blijkt middels genexpressie dat de schimmel *Magnaporthe oryzae* onder stikstof beperkende omstandigheden een hogere pathogeniciteit heeft (Pérez-García *et al.* 2001; Donofrio *et al.* 2006). In komkommer rapporteerden Zhou *et al.* (2017) dat nitraatbemesting tolerantie tegen de bodemschimmel Fusarium vergrootte door aanmaak van specifieke toxines (Zhou *et al.* 2017). Echter, het directe effect van stikstofvoeding en het indirecte effect op ziekteresistentie zijn niet volledig te onderscheiden. Deze directe effecten worden echter in deze literatuuroverzicht buiten beschouwing gelaten (Pike *et al.* 2019). Uit de literatuurverkenning blijkt veelal dat de relatie tussen stikstof bemesting en ziekteverloop gewas- en pathogeen specifiek is. De uitkomst van het effect van stikstof op de vatbaarheid van een gewas voor een bepaalde ziekte lijkt niet alleen te worden beïnvloed door de voedingsbehoeften van de ziekteverwekkers, maar ook door de vorm waarin stikstof wordt aangeboden. Hoewel in de meeste artikelen de N-vorm niet vermeld wordt (Huber & Thompson, 2007; Sun *et al.* 2020).

In een groot aantal artikelen wordt aangetoond dat stikstofbemesting de ontwikkeling van plantenziekten in de hand werkt, onder meer voor obligaat biotrofe pathogenen zoals valse meeldauw, echte meeldauw, grijsrot, bladroest en stengelrot (Tompkins *et al.* 1992; Bueschbell & Hoffmann, 1993; Howard *et al.* 1994; Jensen & Munk, 1997; Hoffland *et al.* 2000; Neumann *et al.* 2004; Ballini *et al.* 2013; Devadas *et al.* 2014; Huang *et al.* 2017). In meer recente literatuur staat dit fenomeen ook bekend als stikstof geïnduceerde gevoeligheid (NIS: Nitrogen-Induced Susceptibility) (Huang *et al.* 2017).

Eveneens zijn er tegenovergestelde effecten gemeld waarbij ziekten juist onderdrukt worden onder hoge stikstofgift (Brennan, 1992, 1993; Krupinsky *et al.* 2007). Dit geldt met name voor nectrofe pathogenen als *Alternaria* (Snoeijers *et al.* 2000); *Fusarium* (Yang *et al.* 2010; Hofer *et al.* 2016), *Xanthomonas* (Dordas, 2008) en *Botrytis* (Fagard *et al.* 2014). In tegenstelling vonden Hoffland *et al.* (2000) geen effect van hogere stikstofgehalten op *Fusarium oxysporum*. Wel constateerden zij dat bij een hoger stikstofgehalte de plantgevoeligheid voor de bacterie *Pseudomonas syringae* en echte meeldauw, *Oidium lycopersicum*, toenam. De auteurs concluderen dat naast de voedingsbehoeften, plant gerelateerde afweermechanismen zoals afweerstoffen de mate van gevoeligheid kunnen beïnvloeden (Hoffland *et al.* 2000).

Hoewel uit bovenstaande bevindingen het erop lijkt dat obligate pathogenen beter gedijen onder hoge stikstofgift dan necrotrofe pathogenen, blijkt in het geval van de necrotrofe schimmel *Botrytis cinerea* de gevoeligheid van gewassen afhankelijk te zijn van de pathogeniciteit van verschillende stammen (Lecompte *et al.* 2010). Eveneens is de relatie tussen stikstof en *Fusarium* onduidelijk. Enkele studies tonen aan dat stikstof verhoging de infectie remt door veranderingen in plant architectuur (Yang *et al.* 2010; Hofer *et al.* 2016) Anderen rapporteerden juist toename in ziekte incidentie (Martin, 1991; Lemmens *et al.* 2004; Muhammed *et al.* 2010) of namen helemaal geen effecten waar (Heier *et al.* 2005; Turkington *et al.* 2012; Krnjaja *et al.* 2015).

Een andere verklaring is dat de vorm van stikstof, een significante rol speelt in ziekte-gevoeligheid (Huber & Haneklaus, 2007). Solomon *et al.* (2003) stelt in het algemeen dat biotrofe schimmels gestimuleerd worden door nitraat en geremd worden door ammonium. Het tegenovergestelde zou gelden voor necrotrofe schimmels waarbij ammoniumbemesting de gevoeligheid voor ziekten als *Fytophthora* en *Fusarium* verhoogd en nitraat de gevoeligheid verlaagd (McGovern, 2015).

De interacties met overige (a)biotische factoren kunnen op zichzelf weer een tekort of overschot van een bepaald nutriënt veroorzaken. Nitraatmeststoffen stimuleren de opname van positief geladen ionen als K^+ terwijl ammonium de opname reduceert (Zhang *et al.* 2010; Marschner, 2011). Verder spelen chemisch-fysische eigenschappen, onder andere pH, in de bodem en biologische factoren zoals micro-organismen (Bhaduri *et al.* 2014; Fierer, 2017; Jeon, 2019) een belangrijke rol. Bemesting heeft bijvoorbeeld ook effect op de microbiële activiteit in de bodem/het substraat en kan daarmee indirect een secundaire cascade van effecten op plantafweer en tolerantie induceren mede doordat bodem gebonden pathogenen in staat zijn nutriënten te immobiliseren. Tot slot spelen factoren als ontwikkelingsstadium, cultivar alsook het (micro)klimaat een rol (Richard-Molard *et al.* 1999; Berry *et al.* 2010; Thalineau *et al.* 2018). De wisselwerking tussen de factoren zijn niet altijd even goed te herleiden (Fagard *et al.* 2014; Gupta *et al.* 2017).

2.1.2.2 Effect op fysische en biochemische plant afweermechanismen

Hoewel adequate stikstofgehalten nodig zijn voor afweer tegen ziekten, creëert een overmaat aan stikstof juist gunstige omstandigheden voor plantziekten. Een negatief verband tussen stikstofbemesting en fysische barrières wordt waargenomen door zwakkere celwanden en afname van lignine en cuticula, waardoor het risico op ziektebesmetting en -ontwikkeling wordt verhoogd (Daane *et al.* 1995; Keller *et al.* 2003; Talbot and Treseder, 2012; Camargo *et al.* 2014; Kumar *et al.* 2016; Zhang *et al.* 2016). Bovendien blijkt de vorm waarin stikstof toegediend wordt invloed te hebben op de fysische afweer. In tegenstelling tot meststoffen op basis van nitraat, zorgde ammonium voor een toename van de epicuticulaire waslaag van koolrabi (Blanke *et al.* 1996). Deze fysische mechanismen staan echter niet los van de biochemische toestand van de plant. Toename in ammonium verhoogd de activiteit van peroxidase iso-enzymen die betrokken zijn bij de synthese van lignine (Wang *et al.* 2010).

Het effect van stikstofbemesting op chemische afweerstoffen wordt verder verklaard door de regulatie van het primaire plant metabolisme (C/N-balans) en hun rol in de productie van afweerstoffen (Berger *et al.* 2007; Rojas *et al.* 2014). Een tekort aan stikstof remt het primaire metabolisme en daarmee ook de groei van planten waardoor overvloedige ophopingen van koolhydraten in het plantenweefsel omgezet worden in secundaire metabolieten (Samuels *et al.* 2008). Inductie van biochemische afweer gerelateerde mechanismen door stikstof worden geassocieerd met onder meer secundaire plant afweerstoffen, antimicrobiële eiwitten, aminozuren, organische zuren en hormonale afweerroutes (Sakakibara *et al.* 2006; Wang *et al.* 2019). Stikstof toevoeging kan verlaging van afweerstoffen, veroorzaken en daarmee ziektegevoeligheid sterk beïnvloeden (Khanna *et al.* 1999; Bhaskar *et al.* 2001; Keller *et al.* 2003; Leser and Treutter, 2005; Mittelstraß *et al.* 2006; de Long *et al.* 2016; Dormann, 2016). Onder hoge stikstofgift nam het totaal aan fenolische stoffen in het blad af waardoor de ziektegevoeligheid tegen schurft, *Venturia inaequalis*, bij appel in het ras Golden Delicious juist toenam. In tegenstelling werd het resistente ras Rewena, ondanks de afname in fenol concentraties, niet gevoeliger (Leser and Treutter, 2005). Uit enkele studies blijkt dat antimicrobiële eiwitten, waaronder bacterie- en schimmelwand afbrekende pathogenese-gerelateerde eiwitten, chitinasen en glucanasen, een positief verband hebben met stikstof en bijdragen aan ziekte weerbaarheid (Dietrich *et al.* 2004; Vega *et al.* 2015).

In het algemeen kan gesteld worden dat bij een toenemende stikstofgift, in de vorm van ammonium, het gehalte aminozuren toeneemt (Påhlsson, 1992; González-Hernández *et al.* 2019; Wang *et al.* 2019). Aminozuren vervullen een belangrijke rol als bouwstof voor zowel de plant als voor zijn pathogene belagers (Bolton, 2009). Echter vormen aminozuren, metabolisch gezien, belangrijke voorlopers van afweerstoffen. Met name aminozuren afkomstig van de glutamaat (Seifi *et al.* 2013) en asparagaat- route (Fagard *et al.* 2014) spelen een belangrijke rol in plant-pathogeen interacties. Nitraat daarentegen leidt tot verhoging van het gehalte aan organische zuren (Wang *et al.* 2019). In een proef met komkommer blijkt dat nitraatbemesting Fusarium kolonisatie remt door citraat in het wortellexudaat te remmen (Wang *et al.* 2016). Tevens vervullen organische zuren een belangrijke rol in plantafweer door hun functie als signaalmoleculen. Gupta *et al.* (2013) toonden aan dat nitraatbemesting, in tegenstelling tot ammonium, weerbaarheid tegen de bacterie *Pseudomonas syringae* pv. *phaseolicola* in tabaksplanten bevorderde door de aanmaak van salicylzuur en stikstofoxide (NO) te verhogen (Gupta *et al.* 2013).

Om infectie met pathogenen te voorkomen, hebben waardplanten een gecompliceerd afweersysteem ontwikkeld. Naast de altijd aanwezige constitutieve afweer kunnen planten hun verdedigingsmechanismen ook induceren. Dit wordt gereguleerd door een complex netwerk van signaaltransductieroutes (Grant *et al.* 2013). Salicylzuur (SA), jasmonzuur (JA) en ethyleen (ET) spelen een sleutelrol waarbij salicylzuur voornamelijk actief is tegen biotrofe en hemibiotrofe pathogenen (waarbij hemibiotrofe pathogenen eerst biotroof en later necrotroof zijn), terwijl jasmonzuur en ethyleen voornamelijk betrokken zijn tegen necrotrofe pathogenen en zuigende insecten (Pieterse *et al.* 2012).

2.1.3 Effect van fosfor (P) op ziekten

2.1.3.1 Effect op ziekteontwikkeling

Fosfor is een essentieel macronutriënt van de plant en is fundamenteel bij het behalen van hoge opbrengsten. Naast dat het een belangrijke nutriënt is staat het ook bekend om de invloed op verschillende ziekten (Mochko *et al.* 2019). De concentraties van fosfor in de bodemoplossing en daarmee de opneembaarheid van fosfor voor de plant is echter zeer sterk afhankelijk van een aantal fysische en chemische factoren in de bodem. Het bestuderen van effecten van fosfor op gewasgroei- en ontwikkeling en op ziekten is daarom complex, omdat interacties met de bodemomstandigheden vaak overheersen. Studies onder gecontroleerde laboratoriumomstandigheden kunnen daardoor soms moeilijk vergeleken worden met veldstudies. Omdat fosfor verschillende functies heeft bij stofwisselingsprocessen bij zowel plant als pathogeen, heeft het geen vastgesteld effect maar wel invloed op verscheidende mechanismen die bepaalde ziekten mogelijk te beïnvloeden. In de meeste gevallen blijkt het te gaan om een positief effect op de reductie van de ziekte. Daarbij moet wel rekening gehouden worden met mogelijk nadelige gevolgen op symbiose. Zo heeft de toevoeging van fosfor bij sojaplanten zowel bij de necrotrofe *Macrophomina phaseolina* (Houtskoolrot) als bij de obligaat biotrofe *Phakopsora pachyrhizi* (Aziatische sojaboonroest) een reducerende werking op de sterkte en snelheid van infectie. Het blijkt echter ook gedeeltelijk de arbusculaire mycorrhiza-schimmel *Rhizophagus intraradices* te remmen. Deze schimmel vormt een symbiose met de plant en kan zelfs de plantweerbaarheid tegen ziekten, zoals houtskoolrot, vergroten (Spagnoletti *et al.* 2018; Mochko *et al.* 2019). Daarbij vindt er ook uitwisseling van nutriënten plaats tussen de plant en deze bodemschimmel. Er moet in de praktijk daarom rekening gehouden worden met gecombineerd gebruik van fosfor en mogelijke symbionten die de plantweerbaarheid gewoonlijk stimuleren.

Veel over de exacte werkingsmechanismen van fosfor op ziekteverwekkers is nog onduidelijk, maar meer en meer onderzoek laat de positieve werking van deze nutriënt zien op de inductie van weerbaarheid tegen zowel necrotrofe als biotrofe organismen. Een van de meest gebruikte minerale vormen van fosfor die bij de beheersing van plantenziekten worden gebruikt zijn fosfieten, specifiek kaliumfosfiet. Kaliumfosfiet, aangemerkt als gewasbeschermingsmiddel, is een zout afgeleid van fosforigzuur (H_3PO_3) gecombineerd met kaliumhydroxide (KOH). Ondanks het onderdrukken van ziekten is kaliumfosfiet daarentegen niet een vervanging voor het benodigde fosfaat in de plant, zoals vaak wordt aangenomen. Vanwege de veranderde molecuulstructuur in vergelijking met fosfaat, kan fosfiet niet aan vergelijkbare biochemische reacties voldoen (Achary *et al.* 2017). Zo wordt ook door Vinas *et al.* (2020) geconcludeerd dat fosfiet niet bijdraagt aan het verbeteren van de groei en voedingsstatus van tomatenplanten. Hierdoor is het niet direct geschikt als fosfor vorm voor de plant (Vinas *et al.* 2020). In de bodem kan fosfiet (PO_3^{3-}) worden omgezet tot fosfaat (PO_4^{3-}). Dit oxidatieproces vindt plaats in bodems met voldoende microbiële activiteit (Achary *et al.* 2017). Over de mogelijke omzetting in substraatsystemen is onvoldoende bekend. Alhoewel Mofid Nakhaei *et al.* (2018) het tegendeel bewijst in komkommerplanten aangezien kaliumfosfiet de groeiparameters significant verhoogde ten opzichte van controle planten. Zo waren de lengte en diameter van de stam en wortels, het totaal aantal bladeren en zelfs chlorofyl content significant toegenomen (Mofid Nakhaei *et al.* 2018). Desalniettemin is het een erg geschikt gewasbeschermingsmiddel vanwege het sterk beschermende effect gecreëerd door het initiëren van afweermachismen in de plant. Daarbij heeft fosfiet een concentratiebepalende werking. Bij een lage concentratie wordt voornamelijk de plantweerbaarheid opgewekt en bij hoge concentraties is er een direct effect op de groei van het plantpathogeen (Smillie *et al.* 1989; Araujo *et al.* 2015). Tevens kan het ook een dubbele werking hebben op zowel plant als pathogeen zoals onderzocht op sojaboonplanten met mangaanfosfiet door (Novaes *et al.* 2019). In de volgende paragrafen worden de afweermechanismen van het veel gebruikte kaliumfosfiet verder toegelicht.

2.1.3.2 Effect van kaliumfosfiet op morfologische en chemische afweer

Een van de afweermechanismen dat wordt opgewekt door kaliumfosfiet is de verandering van de morfologische kenmerken van de plant. Dit is een belangrijke aanpak om als plant de weerbaarheid tegen pathogenen te vergroten. Door bijvoorbeeld het verdikken van de celwand hebben pathogenen minder kans om de plant te infiltreren. Feldman *et al.* (2020) heeft onderzocht welke moleculen betrokken zijn bij het induceren van de weerbaarheid in aardappelplanten middels kaliumfosfiet. Het bleek dat kaliumfosfiet bepaalde genen beïnvloedt welke betrokken waren bij reacties op stress, signalering, afweerreacties, secundair metabolisme en celwandversterking (Feldman *et al.* 2020). Bij deze celwandversterking waren eiwitten betrokken die belangrijk zijn voor celwand formatie. Verder zijn lignine en pectine belangrijke bouwstenen voor de celwand in planten. Deze zijn vaak verhoogd bij behandeling met kaliumfosfiet. Dit leidt tot een dikkere celwand. Zo ook in de aardappel en komkommer (Lobato *et al.* 2018; Ramezani *et al.* 2018; Feldman *et al.* 2020).

Geïnduceerde weerbaarheid door kaliumfosfiet wordt in planten ook vaak verkregen door stimulatie van de chemische afweer. Araujo *et al.* (2015) heeft op microscopisch en biochemisch niveau de afweermechanismen van mangoplanten tegen de verwelkingsziekte veroorzaakt door *Ceratocystis fimbriata* onderzocht. Hieruit bleek dat kaliumfosfiet de ziekteontwikkeling en inwendige necrose in de planten kon reduceren. Een antischimmel barrière wordt geïnduceerd waardoor weefselkolonisatie van de pathogeen wordt voorkomen. Bij deze barrière zijn verschillende plant afweerstoffen, zoals alkaloïden en fenolen, verhoogd aanwezig. De fenyylpropanoïde route is meest waarschijnlijk als biochemisch proces door de kaliumfosfiet geïnduceerd (Araujo *et al.* 2015). Ook in aardappelplanten blijken primaire en secundaire metabolieten een rol te spelen in geïnduceerde weerbaarheid (Feldman *et al.* 2020; Mohammadi *et al.* 2020). Het aangewakkerde primaire metabolisme speelt hierbij voornamelijk een rol bij het leveren van energie om de plant onmiddellijk te beschermen tegen pathogenen (Feldman *et al.* 2020). Applicatie van kaliumfosfiet bij aardappelen geïnfecteerd met de hemibiotrofe *Phytophthora infestans* resulteerde in vermindering van de ziekteontwikkeling (Feldman *et al.* 2020; Mohammadi *et al.* 2020). Daarbij bleken de concentraties van het aminozuur proline, fenolen, flavonoïden en anthocyanen significant hoger te zijn in planten behandeld met kaliumfosfiet. Na infectie met de pathogeen bleken deze metabolieten nog meer te zijn toegenomen. Kaliumfosfiet kan dus zelfs tijdens een infectie de weerbaarheid een extra boost geven (Mohammadi *et al.* 2020).

2.1.3.3 Effect van kaliumfosfiet op de inductie van hormonale signaalroutes

Kaliumfosfiet leidt tot de inductie van hormonale signaalroutes die de weerbaarheid van de plant vergroten. Machinandiarena *et al.* (2012) heeft bij dezelfde *Phytophthora infestans* aardappelziekte het mechanisme onderzocht in relatie met de hormonale signaalroutes. Er werd daarbij verondersteld dat kaliumfosfiet in het eerste stadium voornamelijk zorgt voor een versterkte celwand. Daarnaast resulteerde kaliumfosfiet in de expressie van genen die betrokken zijn bij de stimulatie van bepaalde hormonen. Deze hormonen zetten een afweerreactie in gang om de infectie te bestrijden. Uit het onderzoek van Machinandiarena *et al.* (2012) is duidelijk geworden dat de salicylzuurroute betrokken is bij kaliumfosfiet geïnoculeerde planten. Het hormoon salicylzuur dat daarbij voornamelijk wordt geproduceerd kan de plant weerbaarder maken (Machinandiarena *et al.* 2012). Een soortgelijke vorm van kaliumfosfiet, dikaliumwaterstoffosfaat of dikaliumzout van fosforzuur, blijkt ook een goede inductor voor systemische weerbaarheid. Uit het werkingsmechanisme blijkt dat weerbaarheid verworven wordt doordat er necrotische cellen ontstaan na applicatie van dikaliumwaterstoffosfaat, wat in het vervolg tot activatie van systemische weerbaarheid kan leiden. Dit uit zich ook vervolgens in vrije salicylzuur hormonen die verschillende verdedigingssignaleringscascades kunnen aanzetten (Orober *et al.* 2002). Zo kunnen bijvoorbeeld genen voor chitinase aangezet worden voor de productie van chitinase enzymen, welke de chitine in de celwand van schimmels afbreken en zo infecties verminderen (Mofid Nakhaei *et al.* 2018).

2.1.4 Effect van kalium (K) op ziekten

2.1.4.1 Effect op ziekteontwikkeling

Het positief geladen kalium ion speelt vanwege de lading en bewegelijkheid bij veel biochemische en fysiologische functies een sturende rol (Gupta *et al.* 2013). Kalium heeft onder andere invloed op het reguleren van de vochtuithouding, fotosynthese, productie en transport van koolhydraten en indirect, via het effect op de turgor. De symptomen van kaliumgebrek zijn daarom vaak duidelijk af te leiden uit zijn functies. Kaliumgebrekkige planten hebben vaak dunnere en zwakkere celwanden maar ook blijven de cellen door remming in strekkingsgroei klein waardoor het bladgroei onregelmatig is en direct invalspoorten gecreëerd kunnen worden voor ziekten. Over het algemeen kan uit de literatuurverkenning gesteld worden dat verhoging van kalium veelal de ziektegevoeligheid tegen biotrofe- en necrotrofe pathogenen verlaagd (Walters and Bingham, 2007). Uit een literatuurstudie uit de jaren 90 (Perrenoud, 1990) blijkt dat kaliumverhoging een gunstig effect heeft op de bestrijding van plantenziekten tegen ziekteverwekkende schimmels alsook bacteriën hoewel er ook tegenstrijdige studies zijn: met name virale infecties lijken in veel gevallen juist toe te nemen bij verhoogde kaliumbemesting (Prabhu *et al.* 2007; Amtmann *et al.* 2008; Wang *et al.* 2013). Het positieve effect van kaliumbemesting in het onderdrukken van ziekten is het duidelijkst in studies waarbij de vergelijking wordt getrokken met zeer lage kaliumwaarden in het substraat (Bhuiyan *et al.* 2007; Walters and Bingham, 2007). Het blijkt dat bij gebalanceerde, optimale voedingswaarden planten het meest weerbaar zijn tegen ziekten. Het optimaliseren van de kaliumbenutting is gewas specifiek. Bij toename van de kaliumgift voorbij het optimum van de maximale opbrengstpotentie verwacht men geen verdere verhoging van weerbaarheid (Huber *et al.* 2012). Tot slot blijkt dat ook bladbemesting tot de mogelijkheden behoort om ziekten te weren. Bladbespuitingen met kaliumchloride onderdrukt echte meeldauw en bladvlekkenziekte doordat de kieming van de schimmelsporen wordt geremd als gevolg van een osmotisch effect (Kettlewell *et al.* 2000; Mann *et al.* 2004; Masood and Bano, 2016; Meena *et al.* 2016). Enkele studies menen echter dat de ziekte onderdrukkende effecten van kaliumtoediening is te wijten aan chloor en niet aan dat van kalium (Kettlewell *et al.* 2000; Prabhu *et al.* 2007; Amtmann *et al.* 2008; Sweeney *et al.* 2008).

2.1.4.2 Effect op morfologische en chemische plantafweer

Door aanwezigheid van het positief geladen kalium ion in het celvocht kan de wateropname (osmose) gereguleerd worden. De opname van het water zorgt dat cellen voldoende onder spanning staan waardoor de algehele stevigheid van de cel toeneemt (turgorspanning). Ook speelt kalium een belangrijke rol bij het sluiten en openen van de huidmondjes. Deze morfologische barrière vormt een eerste verdedigingslinie waardoor de invalspoorten tegen veel door de lucht verspreide pathogenen gelimiteerd worden (Huber and Watson, 1970; Wang *et al.* 2013; Gupta *et al.* 2017).

Kalium vervult verschillende functies in de stofwisseling van de plant en er zijn tal van enzymen die door het ion worden geactiveerd. Voldoende kalium reguleert de synthese van eiwitten, suikers, cellulose en vitaminen terwijl een tekort aan kalium de C/N stofwisseling verstoort met als gevolg ophoping van stikstofverbindingen en oplosbare koolhydraten (Hu *et al.* 2018). Adequate kaliumhoeveelheden verhogen fenol-concentraties die een kritische rol spelen in plantafweer (Prasad *et al.* 2010). Oudere literatuur laat veelal zien dat bij lage kaliumgehaltes de afbraak van fenolen versterkt wordt. In een tweetal veldproeven met soja bleek dat kaliumbemesting de infectie van wortels door sojacyste aaltjes sterk onderdrukt. Middels potexperimenten in de kas werd aangetoond dat wortellexudaten meer fenolen zoals kaneelzuur, ferulinezuur en salicylzuur produceerden bij een verhoogde kalium concentratie (Gao *et al.* 2018). De verhoogde gevoeligheid van kaliumgebrekkige planten hangt nauw samen met de metabole functies van kalium met name doordat de aanmaak van macromoleculen als eiwitten, zetmeel en cellulose afnemen. Omdat toediening van kalium de balans tussen koolstof en stikstof in de plant beïnvloedt kan dit tot een ophoping van laagmoleculair organische stoffen zoals oplosbare suikers, organische zuren en aminozuren leiden welke als voedingsbron voor pathogenen dienen. Kalium gedepriveerde planten hebben een lager gehalte aan glycerolipiden. Dit vermindert de stabiliteit van de cellulaire membranen en verstoort het cel evenwicht waardoor de kans op infectie wordt vergroot (Raffaele *et al.* 2009; Zhang *et al.* 2021). Het blijkt lastig een algemene causale relatie vast te stellen gezien de ziektegevoeligheid en het metabole profiel van kaliumgebrekkige planten variabel is (Amtmann *et al.* 2008). Tot slot wordt de opname van andere nutriënten aanzienlijk beïnvloed door kalium, wat de relatie tussen bemesting en ziekten ingewikkelder maakt. Zo leidt een overmaat aan kalium ionen bijvoorbeeld tot kalium antagonisme: door luxe-consumptie in kalium wordt de opname van andere positief geladen ionen als calcium, magnesium, en ammonium bemoeilijkt (Gupta *et al.* 2017; Tränkner *et al.* 2018).

2.1.4.3 Effect op de inductie van hormonale signaalroutes

In een aardbei studie blijkt juist dat bemesting met een overmaat aan kalium de ziektegevoeligheid voor vruchtrot door *Colletotrichum gloeosporioides* vergroot (Nam *et al.* 2006). Onder zeer lage kaliumgehalten in de plant worden afweermoleculen zoals reactieve zuurstofhoudende zuurstofdeeltjes (ROS: Reactive Oxygen Species) en plantafweermoleculen, zoals auxine, jasmonzuur en ethyleen, geïnduceerd met als gevolg dat de plant een hogere stress tolerantie niveau behaalt (Ashley *et al.* 2006; Amtmann *et al.* 2008; Troufflard *et al.* 2010). Een mogelijke strategie zou zijn om vroeg in de teelt voldoende met kalium te bemesten en dit af te bouwen aan het einde van de teelt om zo het afweersysteem te induceren (Shabala and Pottosin, 2014) of het primaire metabolisme te her-programmeren (Troufflard *et al.* 2010). Ook is bekend dat kaliumgebrek in het wortelmilieu de aanmaak van ethyleen en waterstofperoxide (H_2O_2) stimuleert (Shin and Schachtman, 2004). Overmatige H_2O_2 accumulatie leidt tot elektrolyt lekkage en induceert celdood van plantmateriaal (Demidchik *et al.* 2014). Kaliumdeficiëntie versterkt dit effect tijdens plant pathogene infecties (Zhang *et al.* 2019, 2020). De fytohormonen ethyleen en jasmonzuur schakelen de afweer tegen necrotrofen aan. Vanwege de antagonistische werking van jasmonzuur op salicylzuur zou het theoretisch gezien de planten juist aantrekkelijker kunnen maken voor biotrofen die normaliter geweerd worden door het salicylzuur verdedigingssysteem. Echter, een studie van Davis *et al.* (2018) toonde in gerst aan dat kalium toevoeging een tegengestelde werking had tegen een tweetal schimmel pathogenen. Hieruit bleek dat er in kaliumgebrekkige planten minder bladinfectie optrad door biotrofe echte meeldauw, *Blumeria graminis*, maar juist meer karakteristieke symptomen door de necrotrofe *Rhynchosporium commune*. De auteurs veronderstellen dat er mogelijk nog andere mechanismen zijn zoals een effect van calcium dat een rol speelt in de stevigheid van cellen (Davis *et al.* 2018).

2.1.5 Effect van silicium (Si) op ziekten

2.1.5.1 Chemische eigenschappen silicium

De chemische eigenschappen van het element silicium zijn in veel opzichten verschillend van de andere voedingselementen. Omdat dit belangrijk is voor het interpreteren van de literatuurgegevens, maar ook consequenties heeft voor eventuele toepassing is een bespreking belangrijk en wordt er een paragraaf aan geweid. De silicium chemie is tamelijk uitgebreid. In het Periodiek Systeem staat silicium naast koolstof en lijkt de chemie hier enigszins op. De overeenkomstige verbindingen vertonen echter grote verschillen in eigenschappen. De meest stabiele verbinding is siliciumdioxide SiO_2 (kwarts) genoemd. Zand bestaat voor een groot gedeelte uit het nauwelijks verweerbare kwarts en silicaten, zoals kaliveldspaat (KAlSi_3O_8), die door verwerking omgezet worden in het oplosbare ortho-kiezelzuur (H_4SiO_4) (Lindsay, 1979). Kleigronden (en löss en zavelgronden) bevatten veel kleimineralen als illiet, vermiculiet en montmorilloniet. Deze verweren gemakkelijker en leveren Si aan de bodemoplossing. De concentratie van Si in de bodem wordt dus bepaald door de verwerkingssnelheid van de daar in aanwezige mineralen. In water opgelost is silicium vrijwel uitsluitend als kiezelzuur of een afgeleide verbinding aanwezig. Het gedrag van kiezelzuur is complex en sterk afhankelijk van de pH. Het is een uiterst zwak zuur en wordt daarom ook wel geschreven als $\text{Si}(\text{OH})_4$. Kiezelzuurmoleculen binden zich gemakkelijk aan elkaar, waarbij ketens gevormd worden. Deze verbindingen slaan gemakkelijk neer, afhankelijk van de kiezelzuurconcentratie, de pH, de EC en de aanwezigheid van calcium of magnesium ionen (Iler, 1979). Dit neergeslagen of uitgevlokte silicium wordt ook wel 'amorf silica' genoemd. Het bezit geen kristalstructuur of vaststaande molecuulformule. Amorf silica kan voorgesteld worden door de formule $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$. Bij pH-waarden rond 5 à 6 is de maximale oplosbaarheid van kiezelzuur ca 2 mmol/l. Bij extreem hoge pH-waarden neemt de oplosbaarheid sterk toe, maar dan als silicaat ionen zoals SiO_3^{2-} of HSiO_3^- (Iler, 1976). Bij pH-waarden die voor de groei van planten optimaal zijn, tussen 5 en 6, is praktisch alle kiezelzuur in de vorm van het ongeïoniseerde $\text{Si}(\text{OH})_4$ aanwezig. Planten nemen silicium dan ook alleen als monomere kiezelzuur op (Barber & Shone, 1965; Epstein, 1994). De opname is passief en ook het transport in de plant verloopt passief via de xyleemvaten naar de transpirerende plantendelen (Jones & Handreck, 1967). Omdat alleen kiezelzuur voor gewassen een effectieve bron is, moet deze vorm gedoseerd worden (Voogt & Sonneveld, 2001). Dit heeft echter de nodige logistieke en doseer-technische consequenties, welke uitvoerig in Voogt (2002) worden beschreven.

2.1.5.2 Effect op ziekteontwikkeling

Effecten van silicium hebben met name betrekking op mechanische effecten, zoals de plantencelstructuur en silicium deposities tussen cellagen en dragen zo direct bij aan de bescherming tegen pathogene ziekten. Siliciumafzettingen maken de celwanden harder waardoor de mechanische barrière slechter te doordringen is voor pathogenen (Fauteux *et al.* 2005; Sun *et al.* 2010). Tevens blijkt dat op de plek van schimmelaantasting vaak extra silicium wordt afgezet. Deze accumulatie rondom de infectiehaard wordt verklaard doordat gepolymeriseerd silicium een sterke affiniteit vertoont voor organische componenten die betrokken zijn bij de synthese van lignine. Middels cross-verbinding met hemicellulose in de celwanden zorgt silicium ervoor dat de mechanische eigenschappen verbeteren alsook het herstellende vermogen (He *et al.* 2015; Guerriero *et al.* 2016). Silicium draagt niet alleen bij aan de hardheid van cellen en versterking van de plant maar heeft ook een essentiële rol in de elasticiteit. Zo vormt het een interactie met celwand bouwstenen als pectine en polyfenolen waardoor de elasticiteit tijdens de groei doet toenemen (Wang *et al.* 2017). Naast het effect op doordringbaarheid van de celwand zorgt silicium er ook voor dat plantencellen minder gevoelig zijn voor enzymatisch afbraak door invasie van de pathogeen (Inanaga *et al.* 1995; Fauteux *et al.* 2005; Datnoff *et al.* 2007; Van Bockhaven *et al.* 2013).

Veel gegevens over de werking van silicium zijn afkomstig uit studies uitgevoerd in monocotyle gewassen als rijst (Ma & Yamaji, 2006, 2008) waarbij een fysische barrière als oorzaak voor geïnduceerde weerbaarheid wordt benoemd. Gewassen verschillen sterk in de mate waarin ze silicium kunnen ophopen in het plantenweefsel en veel monocotyle gewassen accumuleren silicium (Wang et al. 2017). Fawe et al. (2001) concluderen dat de verhoogde weerstand bij veel silicium bemeste monocotylen meestal via microscopisch onderzoek wordt onderzocht terwijl bij dicotylen gebruik wordt gemaakt van biochemisch onderzoek (Fawe et al. 1998). Toenemend siliciumgehalte in rijst leidde tot hogere concentraties in het blad en was sterk gecorreleerd aan een hogere weerbaarheid tegen ziekten (Hayasaka et al. 2008). De onderzoekers lieten zien dat het aantal succesvolle infectie plekken door de rijstschimmel *Pyricularia oryzae* sterk was afgenomen. Gesuggereerd werd dat silicium ofwel volledige infectie voorkomt of deze vertraagd. Naast versterking van celwanden, stimuleert silicium afweerreacties tegen meeldauw in gerst, tarwe, maar ook in dicotylen als komkommer en roos door aanmaak van structurele papillen: de afzetting van celwandaanhechtingen (Samuels et al. 1994; Bélanger et al. 2003; Zeyen et al. 2011; Shetty et al. 2012). Positieve effecten van silicium op meeldauwaantasting worden ook gemeld voor aardbei (Kanto et al. 2006) en courgette (Menzies et al. 1992). Gezien de veelheid aan gewassen en ziekten waarbij silicium tot een verhoogde weerbaarheid leidt, lijkt het werkingsmechanisme nauwelijks pathogeen gebonden te zijn. Ook blijkt dat bij bladbemesting met silicium de weerbaarheid tegen echte meeldauw naast een fysieke barrière ook door osmotische effecten verhoogd wordt, terwijl substraat toediening juist systemische afweer induceert (Liang et al. 2005). Tot slot lijkt het afhankelijk van het ontwikkelingsstadium van de bladeren te zijn. Ishiguro (2001) toonde aan dat silicium met name in volwassen bladeren wordt afgezet terwijl de rijstschimmel *Magnaporthe grisea* juist meer op jong blad voorkomt. Naast deze fysische barrière verklaart de auteur dat er mogelijk ook andere werkingsmechanismen zijn van silicium.

2.1.5.3 Effect op morfologische en chemische plantafweer

Een tweede afweermechanisme waarbij silicium een meer actieve rol speelt in plant-pathogeen interacties komt met name naar voren uit onderzoek bij komkommer. Hierbij fungeert silicium als signaalmolecuul om de afweer te induceren. De biochemische weerbaarheid wordt veelal geassocieerd met verhoogde activiteit van afweer gerelateerde enzymen zoals polyfenoloxidase (PPO), glucanase, peroxidase en fenylalanine ammonia lyase (PAL), maar ook met de inductie van antimicrobiële plantafweerstoffen zoals fenolen en flavonoïden (Fauteux et al. 2005; Datnoff et al. 2007; Van Bockhaven et al. 2013; Wang et al. 2017). Het enzym PAL is centraal betrokken bij de synthese van secundaire metabolieten. Het is een voorloper van lignine en flavonoïden die veelal positief correleren met weerbaarheid tegen plantenziekten (Hao et al. 2011). Flavonoïden en andere fenolverbinding, worden ook geïnduceerd door silicium en verhogen daardoor de weerbaarheid van rozenplanten tegen meeldauw, *Podosphaera pannosa* (Shetty et al. 2012). Verder bleek silicium PPO te induceren die de synthese van lignine en het antibacteriële vermogen van rijstplanten verhoogd tegen bacterievuur (Song et al. 2016). Bij een tal van gewassen blijkt dus dat silicium pathogene infecties onderdrukt door de activiteit van afweer gerelateerde enzymen te verhogen die op zichzelf vervolgens weer de synthese en accumulatie van secundaire metabolieten (fytoalexines, fenolen, flavonoïden) en pathogenese gerelateerde (PR) -eiwitten stimuleren na infectie met een ziekte verwekker (Cherif et al. 1994; Fawe et al. 1998; Rodrigues et al. 2004; Rémus-Borel et al. 2005; Rahman et al. 2015).

In een onderzoek in tomaat werd geconstateerd dat siliciumbemesting de aantasting door bruinrot (*Ralstonia solanacearum*) sterk reduceerde. Echter werd dit niet in elke cultivar waargenomen (Dannon & Wydra, 2004). Silicium bemeste tomaten geïnoculeerd met *R. solanacearum* reageerden met een verhoogde aanmaak van fenolische verbindingen alsook door modificaties in de pectine-polysacharide structuur van de celwand (Diogo & Wydra, 2007).

2.1.5.4 Effect op de inductie van hormonale signaalroutes

Er zijn steeds meer aanwijzingen dat silicium de stress reacties van planten reguleert middels modulatie van de hormoon homeostase en de daarbij behorende onderliggende signaalroutes (Zhang *et al.* 2004; Fauteux *et al.* 2005; Brunings *et al.* 2009; Ghareeb *et al.* 2011; Reynolds *et al.* 2016). Silicium bemeste planten accumuleren fytohormonen als reactie op pathogeen infectie. In silicium behandelde zandraket (*Arabidopsis thaliana*) werd aangetoond dat meeldauw infectie de synthese van SA, JA alsook ET in het blad stimuleerde en daarmee de weerbaarheid verhoogde tegen meeldauw, *Erysiphe cichoracearum*, (Fauteux *et al.* 2005). Vergelijkbare resultaten werden waargenomen in tomaat geïnfecteerd met *Ralstonia solanacearum* waarbij bemesting met silicium de activering van de JA- en ET-signaleringsroutes activeerde (Zhang *et al.* 2004; Ghareeb *et al.* 2011). Hoewel silicium in de verdediging van *Arabidopsis* tegen echte meeldauw de expressie van SA-gerelateerde afweer genen verhoogd bleek dat weerbare fenotypes een minder sterke SA-reactie vertonden vergeleken met vatbare (Vivancos *et al.* 2015). Tot slot blijkt dat silicium veel transcriptionele veranderingen in de plant als gevolg van pathogeen infectie kan verzwakken (Fauteux *et al.* 2005). Zo blijkt dat bij tarwe geïnfecteerd met de meeldauw schimmel *Blumeria graminis* f. sp. tritici de expressie van bijna 900 genen wijzigt in controle planten, terwijl bij silicium bemesting de ziekteverwekker de expressie van slechts enkele genen verandert (Chain *et al.* 2009). Vergelijkbare conclusies werden getrokken in rijst (Brunings *et al.* 2009).

2.1.6 Referenties

- Achary, V. M. M., Ram, B., Manna, M., Datta, D., Bhatt, A., Reddy, M. K., *et al.* (2017). Phosphite: a novel P fertilizer for weed management and pathogen control. *Plant Biotechnol. J.* 15, 1493–1508. doi:10.1111/PBI.12803.
- Amtmann, A., Troufflard, S., Armengaud, P. (2008). The effect of potassium nutrition on pest and disease resistance in plants. *Physiol. Plant.* 133, 682–691. doi:10.1111/J.1399-3054.2008.01075.X.
- Araujo, L., Silva Bispo, W. M., Rios, V. S., Fernandes, S. A., Rodrigues, F. A. (2015). Induction of the phenylpropanoid pathway by acibenzolar-S-methyl and potassium phosphite increases mango resistance to *Ceratocystis fimbriata* infection. *Plant Dis.* 99, 447–459. doi:10.1094/PDIS-08-14-0788-RE.
- Ashley, M. K., Grant, M., Grabov, A. (2006). Plant responses to potassium deficiencies: a role for potassium transport proteins. *J. Exp. Bot.* 57, 425–436. doi:10.1093/JXB/ERJ034.
- Ballini, E., Nguyen, T. T. T., Morel, J. B. (2013). Diversity and genetics of Nitrogen-Induced Susceptibility to the blast fungus in rice and wheat. *Rice* 6, 1–13. doi:10.1186/1939-8433-6-32.
- Barber, D.A., Shone, M.G.T. (1965). The absorption of silica from aqueous solutions by plants. *J. Exp. Bot.*, 17, 569–578.
- Bélanger, R. R., Benhamou, N., Menzies, J. G. (2003). Cytological Evidence of an Active Role of Silicon in Wheat Resistance to Powdery Mildew (*Blumeria graminis* f. sp. tritici). *Phytopathology* 93, 402–412. doi:10.1094/PHYTO.2003.93.4.402.
- Berger, S., Sinha, A. K., Roitsch, T. (2007). Plant physiology meets phytopathology: plant primary metabolism and plant–pathogen interactions. *J. Exp. Bot.* 58, 4019–4026. doi:10.1093/JXB/ERM298.
- Berry, P. M., Kindred, D. R., Olesen, J. E., Jorgensen, L. N., Paveley, N. D. (2010). Quantifying the effect of interactions between disease control, nitrogen supply and land use change on the greenhouse gas emissions associated with wheat production. *Plant Pathol.* 59, 753–763. doi:10.1111/J.1365-3059.2010.02276.X.
- Bhaduri, D., Rakshit, R., Chakraborty, K. (2014). Primary and Secondary Nutrients-a Boon to Defense System against Plant Diseases. *Int. J. Bio-resource Stress Manag.* 5, 466. doi:10.5958/0976-4038.2014.00597.1.
- Bhaskar, C. V., Rao, G., Reddy, K. (2001). Effect of nitrogen and potassium nutrition on sheath rot incidence and phenol content in rice (*Oryza sativa* L.). *Indian J. Plant Physiol.* 6, 254–257.

- Bhuiyan, S. A., Boyd, M. C., Dougall, A. J., Martin, C., Hearnden, M. (2007). Effects of foliar application of potassium nitrate on suppression of *Alternaria* leaf blight of cotton (*Gossypium hirsutum*) in northern Australia. *Australas. Plant Pathol.* 36, 462–465. doi:10.1071/AP07051.
- Blanke, M. M., Bacher, W., Pring, R. J., Baker, E. A. (1996). Ammonium Nutrition Enhances Chlorophyll and Glauconsness in Kohlrabi. *Ann. Bot.* 78, 599–604. doi:10.1006/ANBO.1996.0166.
- Bolton, M. D. (2009). Primary Metabolism and Plant Defense—Fuel for the Fire. *Mol. Plant-Microbe Interact.* 22, 487–497. doi:10.1094/MPMI-22-5-0487.
- Brennan, R. F. (1992). Effect of superphosphate and nitrogen on yield and take-all of wheat. *Fertil. Res.* 31, 43–49. doi:10.1007/BF01064226.
- Brennan, R. F. (1993). Effect of ammonium chloride, ammonium sulphate, and sodium nitrate on take-all and grain yield of wheat grown on soils in South-western Australia. *J. Plant Nutr.* 16, 349–358. doi:10.1080/01904169309364536.
- Brunings, A. M., Datnoff, L. E., Ma, J. F., Mitani, N., Nagamura, Y., Rathinasabapathi, B., et al. (2009). Differential gene expression of rice in response to silicon and rice blast fungus *Magnaporthe oryzae*. *Ann. Appl. Biol.* 155, 161–170. doi:10.1111/J.1744-7348.2009.00347.X.
- Bueschbell, T., Hoffmann, G. M. (1993). The effects of different nitrogen regimes on the epidemiological development of pathogens on winter wheat and their control. *Zeitschrift fuer Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz* 99, 381–403.
- Camargo, E. L. O., Nascimento, L. C., Soler, M., Salazar, M. M., Lepikson-Neto, J., Marques, W. L., et al. (2014). Contrasting nitrogen fertilization treatments impact xylem gene expression and secondary cell wall lignification in Eucalyptus. *BMC Plant Biol.* 14, 1–17. doi:10.1186/S12870-014-0256-9.
- Chain, F., Côté-Beaulieu, C., Belzile, F., Menzies, J. G., Bélanger, R. R. (2009). A Comprehensive Transcriptomic Analysis of the Effect of Silicon on Wheat Plants Under Control and Pathogen Stress Conditions. *Mol. Plant-Microbe Interact.* 22, 1323–1330. doi:10.1094/MPMI-22-11-1323.
- Chen, Y., Liu, M., Wang, L., Lin, W., Fan, X., Cai, K. (2015). Proteomic characterization of silicon-mediated resistance against *Ralstonia solanacearum* in tomato. *Plant Soil* 387, 425–440. doi:10.1007/S11104-014-2293-4/TABLES/2.
- Cherif, M., Asselin, A., Belanger, R. R. (1994). Defense responses induced by soluble silicon in cucumber roots infected by *Pythium* spp. *Phytopathology* 84, 236–242. doi:10.1094/PHYTO-84-236.
- Daane, K. M., Johnson, R. S., Michailides, T. J., Crisosto, C. H., Dlott, J. W., Ramirez, H. T., et al. (1995). Excess nitrogen raises nectarine susceptibility to disease and insects. *Calif. Agric.* 49, 13–18. doi:10.3733/CA.V049N04P13.
- Dannon, E. A., Wydra, K. (2004). Interaction between silicon amendment, bacterial wilt development and phenotype of *Ralstonia solanacearum* in tomato genotypes. *Physiol. Mol. Plant Pathol.* 64, 233–243. doi:10.1016/J.PMPP.2004.09.006.
- Datnoff, L. E., Elmer, W. H., and Huber, D. M. (2007). Nitrogen and plant disease. *Miner. Nutr. plant Dis.*, 31–44.
- Davis, J.L, Armengaud, P., Larson, T.R., Graham, I.A., White, P.J. , Newton, A.C., and Amtmann, A. (2018). Contrasting nutrient-disease relationships: potassium gradients in barley leaves have opposite effects on two fungal pathogens with different sensitivities to jasmonic acid. *Plant, Cell & Environ.* 41,2357-2372.
- de Long, J. R., Sundqvist, M. K., Gundale, M. J., Giesler, R., and Wardle, D. A. (2016). Effects of elevation and nitrogen and phosphorus fertilization on plant defence compounds in subarctic tundra heath vegetation. *Funct. Ecol.* 30, 314–325. doi:10.1111/1365-2435.12493.
- Demidchik, V., Straltsova, D., Medvedev, S. S., Pozhvanov, G. A., Sokolik, A., and Yurin, V. (2014). Stress-induced electrolyte leakage: the role of K⁺-permeable channels and involvement in programmed cell death and metabolic adjustment. *J. Exp. Bot.* 65, 1259–1270. doi:10.1093/JXB/ERU004.
- Devadas, R., Simpfendorfer, S., Backhouse, D., and Lamb, D. W. (2014). Effect of stripe rust on the yield response of wheat to nitrogen. *Crop J.* 2, 201–206. doi:10.1016/J.CJ.2014.05.002.

- Dietrich, R., Ploß, K., and Heil, M. (2004). Constitutive and induced resistance to pathogens in *Arabidopsis thaliana* depends on nitrogen supply. *Plant. Cell Environ.* 27, 896–906. doi:10.1111/J.1365-3040.2004.01195.X.
- Diogo, R. V. C., Wydra, K. (2007). Silicon-induced basal resistance in tomato against *Ralstonia solanacearum* is related to modification of pectic cell wall polysaccharide structure. *Physiol. Mol. Plant Pathol.* 70, 120–129. doi:10.1016/J.PMPP.2007.07.008.
- Donofrio, N. M., Oh, Y., Lundy, R., Pan, H., Brown, D. E., Jeong, J. S., et al. (2006). Global gene expression during nitrogen starvation in the rice blast fungus, *Magnaporthe grisea*. *Fungal Genet. Biol.* 43, 605–617. doi:10.1016/J.FGB.2006.03.005.
- Dordas, C. (2008). Role of nutrients in controlling plant diseases in sustainable agriculture. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 28, 33–46. doi:10.1051/AGRO:2007051.
- Dormann, C. F. (2016). Consequences of manipulations in carbon and nitrogen supply for concentration of anti-herbivore defence compounds in *Salix polaris*. *Écoscience* 10, 312–318. doi:10.1080/11956860.2003.11682779.
- Epstein E., 1994. The anomaly of silicon in plant biology. *Proc. Nat. Acad. Sci.* 91, 11–17.
- Fagard, M., Launay, A., Clément, G., Courtial, J., Dellagi, A., Farjad, M., et al. (2014). Nitrogen metabolism meets phytopathology. *J. Exp. Bot.* 65, 5643–5656. doi:10.1093/JXB/ERU323.
- Fauteux, F., Rémus-Borel, W., Menzies, J. G., and Bélanger, R. R. (2005). Silicon and plant disease resistance against pathogenic fungi. *FEMS Microbiol. Lett.* 249, 1–6. doi:10.1016/J.FEMSLE.2005.06.034.
- Fawe, A., Abou-Zaid, M., Menzies, J. G., and Bélanger, R. R. (1998). Silicon-Mediated Accumulation of Flavonoid Phytoalexins in Cucumber. *Biochem. Cell Biol.* 88, 396–401. doi:10.1094/PHYTO.1998.88.5.396.
- Fawe, A., Menzies, J.G., Cherif, M., Bèlanger, R.R. (2001). Silicon and plant disease resistance in dicotyledons. In: Datnoff L.E., Snyder, G.H., Korndorfer, G.H. (eds.) *Silicon in agriculture. Studies in Plant Science*, 8. Elsevier, Amsterdam, pp. 159–169.
- Feldman, M. L., Guzzo, M. C., Machinandiarena, M. F., Rey-Burusco, M. F., Beligni, M. V., Di Rienzo, J., et al. (2020). New insights into the molecular basis of induced resistance triggered by potassium phosphite in potato. *Physiol. Mol. Plant Pathol.* 109, 101452. doi:10.1016/J.PMPP.2019.101452.
- Fierer, N. (2017). Embracing the unknown: disentangling the complexities of the soil microbiome. *Nat. Rev. Microbiol.* 2017 1510 15, 579–590. doi:10.1038/nrmicro.2017.87.
- Gao, X., Zhang, S., Zhao, X., and Wu, Q. (2018). Potassium-induced plant resistance against soybean cyst nematode via root exudation of phenolic acids and plant pathogen-related genes. *PLoS One* 13, e0200903. doi:10.1371/JOURNAL.PONE.0200903.
- Ghareeb, H., Bozsó, Z., Ott, P. G., Repenning, C., Stahl, F., and Wydra, K. (2011). Transcriptome of silicon-induced resistance against *Ralstonia solanacearum* in the silicon non-accumulator tomato implicates priming effect. *Physiol. Mol. Plant Pathol.* 75, 83–89. doi:10.1016/J.PMPP.2010.11.004.
- González-Hernández, A. I., Fernández-Crespo, E., Scalschi, L., Hajirezaei, M. R., von Wirén, N., García-Agustín, P., et al. (2019). Ammonium mediated changes in carbon and nitrogen metabolisms induce resistance against *Pseudomonas syringae* in tomato plants. *J. Plant Physiol.* 239, 28–37. doi:10.1016/J.JPLPH.2019.05.009.
- Grant, M. R., Kazan, K., and Manners, J. M. (2013). Exploiting pathogens' tricks of the trade for engineering of plant disease resistance: challenges and opportunities. *Microb. Biotechnol.* 6, 212–222. doi:10.1111/1751-7915.12017.
- Guerriero, G., Hausman, J. F., and Legay, S. (2016). Silicon and the plant extracellular matrix. *Front. Plant Sci.* 7, 463. doi:10.3389/FPLS.2016.00463/BIBTEX.
- Gupta, K. J., Brotman, Y., Segu, S., Zeier, T., Zeier, J., Persijn, S. T., et al. (2013). The form of nitrogen nutrition affects resistance against *Pseudomonas syringae* pv. phaseolicola in tobacco. *J. Exp. Bot.* 64, 553–568. doi:10.1093/jxb/ers348.
- Gupta, N., Debnath, S., Sharma, S., Sharma, P., Purohit, J., Gupta, N., et al. (2017). Role of Nutrients in Controlling the Plant Diseases in Sustainable Agriculture. *Agric. Important Microbes Sustain. Agric.* 2, 217–262. doi:10.1007/978-981-10-5343-6_8.

- Hao, Z., Wang, L., He, Y., Liang, J., Tao, R. (2011).
Expression of defense genes and activities of antioxidant enzymes in rice resistance to rice stripe virus and small brown planthopper. *Plant Physiol. Biochem.* 49, 744–751. doi:10.1016/J.PLAPHY.2011.01.014.
- Hayasaka, T., Fujii, H., Ishiguro, K. (2008).
The Role of Silicon in Preventing Appressorial Penetration by the Rice Blast Fungus. *Phytopathology* 98, 1038–1044. doi:10.1094/PHYTO-98-9-1038.
- He, C., Ma, J., Wang, L. (2015).
A hemicellulose-bound form of silicon with potential to improve the mechanical properties and regeneration of the cell wall of rice. *New Phytol.* 206, 1051–1062. doi:10.1111/NPH.13282.
- Heier, T., Jain, S. K., Kogel, K. H., Pons-Kühnemann, J. (2005).
Influence of N-fertilization and Fungicide Strategies on Fusarium Head Blight Severity and Mycotoxin Content in Winter Wheat. *J. Phytopathol.* 153, 551–557. doi:10.1111/J.1439-0434.2005.01021.X.
- Hofer, K., Barmeier, G., Schmidhalter, U., Habler, K., Rychlik, M., Hückelhoven, R., et al. (2016).
Effect of nitrogen fertilization on Fusarium head blight in spring barley. *Crop Prot.* 88, 18–27. doi:10.1016/J.CROPRO.2016.05.007.
- Hoffland, E., Jeger, M. J., van Beusichem, M. L. (2000).
Effect of nitrogen supply rate on disease resistance in tomato depends on the pathogen. *Plant Soil* 2000 2181 218, 239–247. doi:10.1023/A:1014960507981.
- Howard, D. D., Chambers, A. Y., Logan, J. (1994).
Nitrogen and Fungicide Effects on Yield Components and Disease Severity in Wheat. *J. Prod. Agric.* 7, 448–454. doi:10.2134/JPA1994.0448.
- Hu, W., Loka, D. A., Fitzsimons, T. R., Zhou, Z., Oosterhuis, D. M. (2018).
Potassium deficiency limits reproductive success by altering carbohydrate and protein balances in cotton (*Gossypium hirsutum* L.). *Environ. Exp. Bot.* 145, 87–94. doi:10.1016/J.ENVEXPBOT.2017.10.024.
- Huang, H., Nguyen Thi Thu, T., He, X., Gravot, A., Bernillon, S., Ballini, E., et al. (2017).
Increase of fungal pathogenicity and role of plant glutamine in nitrogen-induced susceptibility (NIS) to rice blast. *Front. Plant Sci.* 8, 265. doi:10.3389/FPLS.2017.00265.
- Huber, D. M., Haneklaus, S. (2007).
Managing Nutrition to Control Plant Disease. *Landbauforsch. Völkenrode* 57, 313–322.
- Huber, D. M., Thompson, I. A. (2007).
“Nitrogen and plant disease,” in *Mineral nutrition and plant disease*. (St Paul: American Phytopathological Society (APS Press)), 31–44.
- Huber, D. M., Watson, R. D. (1970).
Effect of Organic Amendment on Soil-Borne Plant Pathogens. *Phytopathology* 60, 26. doi:10.1094/PHYTO-60-22.
- Huber, D., Römheld, V., Weinmann, M. (2012).
“Relationship between Nutrition, Plant Diseases and Pests,” in *Marschner’s Mineral Nutrition of Higher Plants* (Academic Press), 283–298. doi:10.1016/B978-0-12-384905-2.00010-8.
- Iler, R.K. (1979).
The chemistry of silica. Wiley Interscience, New York.
- Inanaga, S., Okasaka, A., Tanaka, S. (1995).
Does silicon exist in association with organic compounds in rice plant? *Soil Sci. Plant Nutr.* 41, 111–117. doi:10.1080/00380768.1995.10419564.
- Ishiguro, K. (2001).
“Review of research in Japan on the roles of silicon in conferring resistance against rice blast,” in *Studies in Plant Science* (Elsevier), 277–291. doi:10.1016/S0928-3420(01)80021-5.
- Jensen, B., Munk, L. (1997).
Nitrogen-induced changes in colony density and spore production of *Erysiphe graminis* f.sp. *hordei* on seedlings of six spring barley cultivars. *Plant Pathol.* 46, 191–202. doi:10.1046/J.1365-3059.1997.D01-224.X.
- Jeon, J. (2019).
Phytobiome as a Potential Factor in Nitrogen-Induced Susceptibility to the Rice Blast Disease. *Res. Plant Dis.* 25, 103–107. doi:10.5423/RPD.2019.25.3.103.
- Jones, L.H.P., Handreck, K.A. (1967).
Silica in soils, plants and animals. *Adv. Agron.* 19, 107–149.

- Kanto, T., Miyoshi, A., Ogawa, T., Maekawa, K., Aino, M. (2006).
Suppressive effect of liquid potassium silicate on powdery mildew of strawberry in soil. *J. Gen. Plant Pathol.* 72, 137–142. doi:10.1007/S10327-005-0270-8.
- Keller, M., Rogiers, S. Y., Schultz, H. R. (2003).
Nitrogen and ultraviolet radiation modify grapevines' susceptibility to powdery mildew. *Vitis* 42, 87–94.
- Kettlewell, P. S., Cook, J. W., Parry, D. W. (2000).
Evidence for an Osmotic Mechanism in the Control of Powdery Mildew Disease of Wheat by Foliar-applied Potassium Chloride. *Eur. J. Plant Pathol.* 2000 1063 106, 297–300. doi:10.1023/A:1008761202455.
- Khanna, A. Q., Borowicz, V. A., Jones, M. A. (1999).
Effects of Nitrogen Fertilizer and Defoliation on Growth, Foliar Nitrogen, and Foliar Coumestrol Concentrations of Soybean. *Trans. Illinois State Acad. Sci.* 92, 167–179.
- Kim, S. G., Kim, K. W., Park, E. W., Choi, D. (2007).
Silicon-Induced Cell Wall Fortification of Rice Leaves: A Possible Cellular Mechanism of Enhanced Host Resistance to Blast. *Phytopathology* 92, 1095–1103. doi:10.1094/PHYTO.2002.92.10.1095.
- Krnjaja, V., Mandić, V., Lević, J., Stanković, S., Petrović, T., Vasić, T., et al. (2015).
Influence of N-fertilization on Fusarium head blight and mycotoxin levels in winter wheat. *Crop Prot.* 67, 251–256. doi:10.1016/J.CROPRO.2014.11.001.
- Krupinsky, J. M., Halvorson, A. D., Tanaka, D. L., Merrill, S. D. (2007).
Nitrogen and tillage effects on wheat leaf spot diseases in the northern Great Plains. *Agron. J.* 99, 562–569. doi:10.2134/AGRONJ2006.0263.
- Kumar, A., Yogendra, K. N., Karre, S., Kushalappa, A. C., Dion, Y., Choo, T. M. (2016).
WAX INDUCER1 (HvWIN1) transcription factor regulates free fatty acid biosynthetic genes to reinforce cuticle to resist Fusarium head blight in barley spikelets. *J. Exp. Bot.* 67, 4127–4139. doi:10.1093/JXB/ERW187.
- Lecompte, F., Abro, M. A., Nicot, P. C. (2010).
Contrasted responses of Botrytis cinerea isolates developing on tomato plants grown under different nitrogen nutrition regimes. *Plant Pathol.* 59, 891–899. doi:10.1111/J.1365-3059.2010.02320.X.
- Lemmens, M., Haim, K., Lew, H., Ruckenbauer, P. (2004).
The Effect of Nitrogen Fertilization on Fusarium Head Blight Development and Deoxynivalenol Contamination in Wheat. *J. Phytopathol.* 152, 1–8. doi:10.1046/J.1439-0434.2003.00791.X.
- Leser, C., Treutter, D. (2005).
Effects of nitrogen supply on growth, contents of phenolic compounds and pathogen (scab) resistance of apple trees. *Physiol. Plant.* 123, 49–56. doi:10.1111/J.1399-3054.2004.00427.X.
- Liang, Y. C., Sun, W. C., Si, J., Römheld, V. (2005).
Effects of foliar- and root-applied silicon on the enhancement of induced resistance to powdery mildew in Cucumis sativus. *Plant Pathol.* 54, 678–685. doi:10.1111/J.1365-3059.2005.01246.X.
- Lindsay, W.L. (1979).
Chemical equilibria in soils. John Wiley & Sons, New York.
- Lobato, M. C., Daleo, G. R., Andreu, A. B., Olivieri, F. P. (2018).
Cell Wall Reinforcement in the Potato Tuber Periderm After Crop Treatment with Potassium Phosphite. *Potato Res.* 61, 19–29. doi:10.1007/S11540-017-9349-9.
- Ma, J.F., Yamaji, N. (2006).
Silicon uptake and accumulation in higher plants. *Trends Plant Sci.* 11:392-397.
- Ma, J.F., Yamaji, N. (2008).
Functions and transport of silicic acid in plants. *Cel Mol Life Sci.* 65,3049-3057.
- Machinandiarena, M. F., Lobato, M. C., Feldman, M. L., Daleo, G. R., Andreu, A. B. (2012).
Potassium phosphite primes defense responses in potato against Phytophthora infestans. *J. Plant Physiol.* 169, 1417–1424. doi:10.1016/J.JPLPH.2012.05.005.
- Mann, R. L., Kettlewell, P. S., Jenkinson, P. (2004).
Effect of foliar-applied potassium chloride on septoria leaf blotch of winter wheat. *Plant Pathol.* 53, 653–659. doi:10.1111/J.1365-3059.2004.01063.X.
- Marschner, P. (2011).
Marschner's mineral nutrition of higher plants. 3rd ed. Academic Press doi:10.1093/JXB/ERQ281).
- Martin, R. A. (1991).
Influences of Production Inputs on Incidence of Infection by Fusarium Species on Cereal Seed . *Plant Dis.* 75, 788. doi:10.1094/PD-75-0784.

- Masood, S., Bano, A. (2016). Mechanism of Potassium Solubilization in the Agricultural Soils by the Help of Soil Microorganisms. *Potassium Solubilizing Microorg. Sustain. Agric.*, 137–147. doi:10.1007/978-81-322-2776-2_10.
- McGovern, R. J. (2015). Management of tomato diseases caused by *Fusarium oxysporum*. *Crop Prot.* 73, 78–92. doi:10.1016/J.CROPRO.2015.02.021.
- Meena, V. S., Meena, S. K., Bisht, J. K., Pattanayak, A. (2016). Conservation agricultural practices in sustainable food production. *J. Clean. Prod.*, 690–691. doi:10.1016/J.JCLEPRO.2016.07.134.
- Menzies, J., Bowen, P., Ehret, D., Glass, A. D. M. (1992). Foliar Applications of Potassium Silicate Reduce Severity of Powdery Mildew on Cucumber, Muskmelon, and Zucchini Squash. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 117, 902–905. doi:10.21273/JASHS.117.6.902.
- Mittelstraß, K., Treutter, D., Pleßl, M., Heller, W., Elstner, E. F., Heiser, I. (2006). Modification of primary and secondary metabolism of potato plants by nitrogen application differentially affects resistance to *Phytophthora infestans* and *Alternaria solani*. *Plant Biol.* 8, 653–661. doi:10.1055/S-2006-924085/ID/45.
- Mochko, A. C., Zambolim, L., Parreira, D. F. (2019). Phosphate Fertilization Reduces the Severity of Asian Soybean Rust Under High Disease Pressure. *J. Agric. Sci.* 11, 261. doi:10.5539/JAS.V11N1P261.
- Mofid Nakhaei, M., Abdossi, V., Dehestani, A., Pirdashti, H., Babaeizad, V. (2018). Enhanced defense responses in *Pythium ultimum*-challenged cucumber plants induced by potassium phosphite. *J. Plant Mol. Breed.* 6, 24–33. doi:10.22058/JPMB.2018.74694.1147.
- Mohammadi, M. A., Han, X., Zhang, Z., Xi, Y., Boorboori, M., Wang-Pruski, G. (2020). Phosphite Application Alleviates *Pythophthora infestans* by Modulation of Photosynthetic and Physio-Biochemical Metabolites in Potato Leaves. *Pathogens* 9, 170. doi:10.3390/PATHOGENS9030170.
- Muhammed, A. A., Thomas, K., Ridout, C., Andrews, M. (2010). Effect of nitrogen on mildew and *Fusarium* infection in barley. *Asp. Appl. Biol.*, 261–266.
- Nam, M. H., Jeong, S. K., Lee, Y. S., Choi, J. M., Kim, H. G. (2006). Effects of nitrogen, phosphorus, potassium and calcium nutrition on strawberry anthracnose. *Plant Pathol.* 55, 246–249. doi:10.1111/J.1365-3059.2006.01322.X.
- Neumann, S., Paveley, N. D., Beed, F. D., Sylvester-Bradley, R. (2004). Nitrogen per unit leaf area affects the upper asymptote of *Puccinia striiformis* f.sp. *tritici* epidemics in winter wheat. *Plant Pathol.* 53, 725–732. doi:10.1111/J.1365-3059.2004.01107.X.
- Novaes, M. I. C., Debona, D., Fagundes-Nacarath, I. R. F., Brás, V. V., Rodrigues, F. A. (2019). Physiological and biochemical responses of soybean to white mold affected by manganese phosphite and fluazinam. *Acta Physiol. Plant.* 41, 1–16. doi:10.1007/S11738-019-2976-9.
- Orober, M., Siegrist, J., Buchenauer, H. (2002). Mechanisms of Phosphate-induced Disease Resistance in Cucumber. *Eur. J. Plant Pathol.* 108, 345–353. doi:10.1023/A:1015696408402.
- Påhlsson, A. M. B. (1992). Influence of nitrogen fertilization on minerals, carbohydrates, amino acids and phenolic compounds in beech (*Fagus sylvatica* L.) leaves. *Tree Physiol.* 10, 93–100. doi:10.1093/TREEPHYS/10.1.93.
- Pérez-García, A., Snoeijers, S. S., Joosten, M. H. A. J., Goosen, T., de Wit, P. J. G. M. (2001). Expression of the Avirulence Gene *Avr9* of the Fungal Tomato Pathogen *Cladosporium fulvum* Is Regulated by the Global Nitrogen Response Factor *NRF1*. *Mol. Plant-Microbe Interact.* 14, 316–325. doi:10.1094/MPMI.2001.14.3.316.
- Perrenoud, S. (1990). *Potassium and Plant Health*. 2nd ed. Bern, Switzerland: International Potash Institute.
- Pieterse, C. M. J., Van Der Does, D., Zamioudis, C., Leon-Reyes, A., Van Wees, S. C. M., Ni, C. M. J. P., et al. (2012). Hormonal Modulation of Plant Immunity. *Cell Dev. Biol.* 28, 489–521. doi:10.1146/ANNUREV-CELLBIO-092910-154055.
- Pike, V. L., Lythgoe, K. A., King, K. C. (2019). On the diverse and opposing effects of nutrition on pathogen virulence. *Proc. R. Soc. B* 286. doi:10.1098/RSPB.2019.1220.

- Prabhu, A. S., Fageria, N. K., Berni, R. F., Rodrigues, F. A. (2007). Phosphorus and plant disease. *Miner. Nutr. plant Dis.*, 45–55.
- Prasad, D., Singh, R., Singh, A. (2010). Management of sheath blight of rice with integrated nutrients. *Indian Phytopath.* 63, 11–15.
- Raffaele, S., Leger, A., Roby, D. (2009). Very long chain fatty acid and lipid signaling in the response of plants to pathogens. *Plant Signal. Behav.* 4, 94–99. doi:10.4161/PSB.4.2.7580.
- Rahman, A., Wallis, C. M., Uddin, W. (2015). Silicon-induced systemic defense responses in perennial ryegrass against infection by *Magnaporthe oryzae*. *Phytopathology* 105, 748–757. doi:10.1094/PHYTO-12-14-0378-R.
- Ramezani, M., Ramezani, F., Rahmani, F., Dehestani, A. (2018). Exogenous potassium phosphite application improved PR-protein expression and associated physio-biochemical events in cucumber challenged by *Pseudoperonospora cubensis*. *Sci. Hortic. (Amsterdam)*. 234, 335–343. doi:10.1016/J.SCIENTA.2018.02.042.
- Rémus-Borel, W., Menzies, J. G., Bélanger, R. R. (2005). Silicon induces antifungal compounds in powdery mildew-infected wheat. *Physiol. Mol. Plant Pathol.* 66, 108–115. doi:10.1016/J.PMPP.2005.05.006.
- Reynolds, O. L., Padula, M. P., Zeng, R., Gurr, G. M. (2016). Silicon: Potential to promote direct and indirect effects on plant defense against arthropod pests in agriculture. *Front. Plant Sci.* 7, 744. doi:10.3389/FPLS.2016.00744/BIBTEX.
- Richard-Molard, C., Wuillème, S., Scheel, C., Gresshoff, P. M., Morot-Gaudry, J. F., Limami, A. M. (1999). Nitrogen-induced changes in morphological development and bacterial susceptibility of Belgian endive (*Cichorium intybus* L.) are genotype-dependent. *Planta* 209, 389–398. doi:10.1007/S004250050741.
- Rodrigues, F. Á., McNally, D. J., Datnoff, L. E., Jones, J. B., Labbé, C., Benhamou, N., et al. (2004). Silicon Enhances the Accumulation of Diterpenoid Phytoalexins in Rice: A Potential Mechanism for Blast Resistance. *Phytopathology* 94, 177–183. doi:10.1094/PHYTO.2004.94.2.177.
- Rodrigues, F. A., Resende, R. S., Dallagnol, L. J., Datnoff, L. E., Rodrigues, F. A., Resende, R. S., et al. (2015). Silicon Potentiates Host Defense Mechanisms Against Infection by Plant Pathogens. *Silicon Plant Dis.*, 109–138. doi:10.1007/978-3-319-22930-0_5.
- Rojas, C. M., Senthil-Kumar, M., Tzin, V., Mysore, K. S. (2014). Regulation of primary plant metabolism during plant-pathogen interactions and its contribution to plant defense. *Front. Plant Sci.* 5, 17. doi:10.3389/FPLS.2014.00017/BIBTEX.
- Sakakibara, H., Takei, K., Hirose, N. (2006). Interactions between nitrogen and cytokinin in the regulation of metabolism and development. *Trends Plant Sci.* 11, 440–448. doi:10.1016/J.TPLANTS.2006.07.004.
- Samuels, A. L., Glass, A. D. M., Menzies, J. G., Ehret, D. L. (1994). Silicon in cell walls and papillae of *Cucumis sativus* during infection by *Sphaerotheca fuliginea*. *Physiol. Mol. Plant Pathol.* 44, 237–242. doi:10.1016/S0885-5765(05)80027-X.
- Samuels, L., Kunst, L., Jetter, R. (2008). Sealing Plant Surfaces: Cuticular Wax Formation by Epidermal Cells. *Annu. Rev. Plant Biol.* 59, 683–707. doi:10.1146/ANNUREV.ARPLANT.59.103006.093219.
- Seifi, H. S., Van Bockhaven, J., Angenon, G., Höfte, M. (2013). Glutamate Metabolism in Plant Disease and Defense: Friend or Foe? *Mol. Plant-Microbe Interact.* 26, 475–485. doi:10.1094/MPMI-07-12-0176-CR.
- Shabala, S., Pottosin, I. (2014). Regulation of potassium transport in plants under hostile conditions: implications for abiotic and biotic stress tolerance. *Physiol. Plant.* 151, 257–279. doi:10.1111/PPL.12165.
- Shetty, R., Jensen, B., Shetty, N. P., Hansen, M., Hansen, C. W., Starkey, K. R., et al. (2012). Silicon induced resistance against powdery mildew of roses caused by *Podosphaera pannosa*. *Plant Pathol.* 61, 120–131. doi:10.1111/J.1365-3059.2011.02493.X.
- Shin, R., Schachtman, D. P. (2004). Hydrogen peroxide mediates plant root cell response to nutrient deprivation. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 101, 8827–8832. doi:10.1073/PNAS.0401707101.
- Silva, W. L., Cruz, M. F. A., Fortunato, A. A., Rodrigues, F. Á. (2015). Histochemical aspects of wheat resistance to leaf blast mediated by silicon. *Sci. Agric.* 72, 322–327. doi:10.1590/0103-9016-2014-0221.

- Smillie, R., Grant, B. R., Guest, D. (1989).
The Mode of Action of Phosphite: Evidence for Both Direct and Indirect Modes of Action on Three *Phytophthora* spp. in Plants. *Phytopathology* 79, 921–926.
- Snoeiijers, S. S., Pérez-García, A., Joosten, M. H. A. J., de Wit, P. J. G. M. (2000).
The Effect of Nitrogen on Disease Development and Gene Expression in Bacterial and Fungal Plant Pathogens. *Eur. J. Plant Pathol.* 2000 1066 106, 493–506. doi:10.1023/A:1008720704105.
- Solomon, P. S., Tan, K. C., Oliver, R. P. (2003).
The nutrient supply of pathogenic fungi; a fertile field for study. *Mol. Plant Pathol.* 4, 203–210. doi:10.1046/J.1364-3703.2003.00161.X.
- Song, A., Xue, G., Cui, P., Fan, F., Liu, H., Yin, C., *et al.* (2016).
The role of silicon in enhancing resistance to bacterial blight of hydroponic- and soil-cultured rice. *Sci. Rep.* 6, 1–13. doi:10.1038/srep24640.
- Spagnoletti, F. N., Leiva, M., Chiocchio, V., Lavado, R. S. (2018).
Phosphorus fertilization reduces the severity of charcoal rot (*Macrophomina phaseolina*) and the arbuscular mycorrhizal protection in soybean. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 181, 855–860. doi:10.1002/JPLN.201700569.
- Sun, W., Zhang, J., Fan, Q., Xue, G., Li, Z., Liang, Y. (2010).
Silicon-enhanced resistance to rice blast is attributed to silicon-mediated defence resistance and its role as physical barrier. *Eur. J. Plant Pathol.* 128, 39–49. doi:10.1007/S10658-010-9625-X.
- Sun, Y., Wang, M., Mur, L. A. J., Shen, Q., Guo, S. (2020).
Unravelling the Roles of Nitrogen Nutrition in Plant Disease Defences. *Int. J. Mol. Sci.* 2020, Vol. 21, Page 572 21, 572. doi:10.3390/IJMS21020572.
- Sweeney, D. W., Granade, G. V., Eversmeyer, M. G., Whitney, D. A. (2008).
Phosphorus, potassium, chloride, and fungicide effects on wheat yield and leaf rust severity. *J. Plant Nutr.* 23, 1267–1281. doi:10.1080/01904160009382099.
- Talbot, J. M., Treseder, K. K. (2012).
Interactions among lignin, cellulose, and nitrogen drive litter chemistry–decay relationships. *Ecology* 93, 345–354. doi:10.1890/11-0843.1.
- Thalineau, E., Fournier, C., Gravot, A., Wendehenne, D., Jeandroz, S., Truong, H. N. (2018).
Nitrogen modulation of *Medicago truncatula* resistance to *Aphanomyces euteiches* depends on plant genotype. *Mol. Plant Pathol.* 19, 664–676. doi:10.1111/MPP.12550.
- Thalineau, E., Truong, H. N., Berger, A., Fournier, C., Boscari, A., Wendehenne, D., *et al.* (2016).
Cross-regulation between N metabolism and Nitric Oxide (NO) signaling during plant immunity. *Front. Plant Sci.* 7, 472. doi:10.3389/FPLS.2016.00472/BIBTEX.
- Tompkins, D. K., Fowler, D. B., Wright, A. T. (1992).
Foliar disease development in no-till winter wheat: Influence of agronomic practices on powdery mildew development. *Can. J. Plant Sci.* 72, 965–972. doi:10.4141/CJPS92-121.
- Tränkner, M., Tavakol, E., Jáklí, B. (2018).
Functioning of potassium and magnesium in photosynthesis, photosynthate translocation and photoprotection. *Physiol. Plant.* 163, 414–431. doi:10.1111/PPL.12747.
- Troufflard, S., Mullen, W., Larson, T. R., Graham, I. A., Crozier, A., Amtmann, A., *et al.* (2010).
Potassium deficiency induces the biosynthesis of oxylipins and glucosinolates in *Arabidopsis thaliana*. *BMC Plant Biol.* 10, 1–13. doi:10.1186/1471-2229-10-172.
- Turkington, T. K., Edney, M. J., Juskiw, P. E., McKenzie, R. H., Harker, K. N., Clayton, G. W., *et al.* (2012).
Effect of crop residue, nitrogen rate and fungicide application on malting barley productivity, quality, and foliar disease severity. *Can. J. Plant Sci.* 92, 577–588. doi:10.4141/CJPS2011-216.
- Van Bockhaven, J., De Vleeschauwer, D., Höfte, M. (2013).
Towards establishing broad-spectrum disease resistance in plants: silicon leads the way. *J. Exp. Bot.* 64, 1281–1293. doi:10.1093/JXB/ERS329.
- Vega, A., Canessa, P., Hoppe, G., Retamal, I., Moyano, T. C., Canales, J., *et al.* (2015).
Transcriptome analysis reveals regulatory networks underlying differential susceptibility to *Botrytis cinerea* in response to nitrogen availability in *Solanum lycopersicum*. *Front. Plant Sci.* 6, 911. doi:10.3389/FPLS.2015.00911/BIBTEX.
- Vinas, M., Mendez, J. C., Jiménez, V. M. (2020).
Effect of foliar applications of phosphites on growth, nutritional status and defense responses in tomato plants. *Sci. Hortic. (Amsterdam)*. 265, 109200. doi:10.1016/J.SCIENTA.2020.109200.

- Vivancos, J., Labbé, C., Menzies, J. G., Bélanger, R. R. (2015). Silicon-mediated resistance of Arabidopsis against powdery mildew involves mechanisms other than the salicylic acid (SA)-dependent defence pathway. *Mol. Plant Pathol.* 16, 572–582. doi:10.1111/MPP.12213/SUPPINFO.
- Voogt, W., Sonneveld, C. (2001). Silicon in the nutrient solution for horticultural crops. In: Datnoff *et al.* Silicon in Agriculture, Studies in Plant Science 8. Elsevier Science, Amsterdam, pp 115-129.
- Voogt, W., 2002. Silicon application in nutrient solutions for horticultural crops. Proc. 2nd conference on silicon in agriculture, Tsuruoka, Yamagata, Japan, 181-190.
- Walters, D. R., Bingham, I. J. (2007). Influence of nutrition on disease development caused by fungal pathogens: implications for plant disease control. *Ann. Appl. Biol.* 151, 307–324. doi:10.1111/J.1744-7348.2007.00176.X.
- Wang, C., Zhang, S. H., Wang, P. F., Li, W., Lu, J. (2010). Effects of ammonium on the antioxidative response in *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle plants. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 73, 189–195. doi:10.1016/J.ECOENV.2009.08.012.
- Wang, M., Gao, L., Dong, S., Sun, Y., Shen, Q., Guo, S. (2017). Role of silicon on plant–pathogen interactions. *Front. Plant Sci.* 8, 701. doi:10.3389/FPLS.2017.00701/BIBTEX.
- Wang, M., Gu, Z., Wang, R., Guo, J., Ling, N., Firbank, L. G., *et al.* (2019). Plant Primary Metabolism Regulated by Nitrogen Contributes to Plant-Pathogen Interactions. *Plant Cell Physiol.* 60, 329–342. doi:10.1093/PCP/PCY211.
- Wang, M., Sun, Y., Gu, Z., Wang, R., Sun, G., Zhu, C., *et al.* (2016). Nitrate Protects Cucumber Plants Against *Fusarium oxysporum* by Regulating Citrate Exudation. *Plant Cell Physiol.* 57, 2001–2012. doi:10.1093/PCP/PCW124.
- Wang, M., Zheng, Q., Shen, Q., Guo, S. (2013). The Critical Role of Potassium in Plant Stress Response. *Int. J. Mol. Sci.* 14, 7370–7390. doi:10.3390/IJMS14047370.
- Yang, F., Jensen, J. D., Spliid, N. H., Svensson, B., Jacobsen, S., Jørgensen, L. N., *et al.* (2010). Investigation of the effect of nitrogen on severity of *Fusarium* Head Blight in barley. *J. Proteomics* 73, 743–752. doi:10.1016/J.JPROT.2009.10.010.
- Zeyen, R. J., Ahlstrand, G. G., Carver, T. L. W. (2011). X-ray microanalysis of frozen-hydrated, freeze-dried, and critical point dried leaf specimens: determination of soluble and insoluble chemical elements at *Erysiphe graminis* epidermal cell papilla sites in barley isolines containing *MI-o* and *ml-o* alleles. *Can. J. Bot.* 71, 284–296. doi:10.1139/B93-029.
- Zhang, F., Niu, J., Zhang, W., Chen, X., Li, C., Yuan, L., *et al.* (2010). Potassium nutrition of crops under varied regimes of nitrogen supply. *Plant Soil* 335, 21–34. doi:10.1007/S11104-010-0323-4/TABLES/4.
- Zhang, H., Zhang, D., Chen, J., Yang, Y., Huang, Z., Huang, D., *et al.* (2004). Tomato stress-responsive factor TSRF1 interacts with ethylene responsive element GCC box and regulates pathogen resistance to *Ralstonia solanacearum*. *Plant Mol. Biol.* 55, 825–834.
- Zhang, J., Li, J., Geng, G., Hu, W., Ren, T., Cong, R., *et al.* (2020). Combined application of nitrogen and potassium reduces seed yield loss of oilseed rape caused by *Sclerotinia* stem rot disease. *Agron. J.* 112, 5143–5157. doi:10.1002/AGJ2.20410.
- Zhang, J., Lu, Z., Pan, Y., Ren, T., Cong, R., Lu, J., *et al.* (2019). Potassium deficiency aggravates yield loss in rice by restricting the translocation of non-structural carbohydrates under *Sarocladium oryzae* infection condition. *Physiol. Plant.* 167, 352–364. doi:10.1111/PPL.12896.
- Zhang, J., Lu, Z., Ren, T., Cong, R., Lu, J., Li, X. (2021). Metabolomic and Transcriptomic Changes Induced by Potassium Deficiency During *Sarocladium oryzae* Infection Reveal Insights into Rice Sheath Rot Disease Resistance. *Rice* 14, 1–14. doi:10.1186/S12284-021-00524-6.
- Zhang, W., Wu, L., Wu, X., Ding, Y., Li, G., Li, J., *et al.* (2016). Lodging Resistance of Japonica Rice (*Oryza Sativa* L.): Morphological and Anatomical Traits due to top-Dressing Nitrogen Application Rates. *Rice* 9, 1–11. doi:10.1186/S12284-016-0103-8.

Zhou, J., Wang, M., Sun, Y., Gu, Z., Wang, R., Saydin, A., *et al.* (2017). Nitrate Increased Cucumber Tolerance to Fusarium Wilt by Regulating Fungal Toxin Production and Distribution. *Toxins* 2017, Vol. 9, Page 100 9, 100. doi:10.3390/TOXINS9030100.

2.2 Invloed van nutriënten op plagen en hun natuurlijke vijanden

2.2.1 Overzicht van de gevonden literatuur

Uit het literatuuronderzoek naar de invloed van stikstof, fosfor, kalium en silicium op plagen en hun natuurlijke vijanden zijn naast een aantal overzichtsartikelen, bijna 100 artikelen met primaire onderzoeksgegevens naar voren gekomen die zijn opgenomen in onze dataset (Figuur 2.2). Zoals verwacht ging het merendeel (ca. 60%) over het effect van stikstof, en ging ongeveer 16% over de effecten van silicium en nogmaals 15% over verschillende bemestingsniveaus van gecombineerde meststoffen. Voor de effecten van fosfor en kalium op plagen waren er minder papers beschikbaar. Voor het effect van stikstof op plagen waren er relatief veel papers die over tomaat gingen, en ook voor de effecten van gecombineerde meststoffen waren de tuinbouwgewassen, met onder andere meerdere studies over chrysant, tomaat en roos, goed vertegenwoordigd. Dit was niet/minder het geval voor de effecten van fosfor, kalium en silicium. Voor het element silicium was het meeste onderzoek gedaan met tarwe en grassen – plantensoorten waarvan bekend is dat ze silicium kunnen opslaan - en waren er ook enkele studies met kruisbloemigen. Het onderzoek naar het effect van fosfor op plagen richtte zich met name op verschillende veldgewassen en wilde planten, en in het onderzoek van kalium op plagen waren de meeste studies met soja of kruisbloemigen uitgevoerd.

Wat betreft de plagen waren bladluis, rupsen en wittevlieg het best vertegenwoordigd in de literatuur over de effecten van nutriënten, en gezamenlijk besloegen de artikelen met deze plagen ca. 75% van de gevonden studies. Er kwamen 25 artikelen met primaire onderzoeksgegevens naar voren over de effecten van nutriënten op natuurlijke vijanden. Hiervan richtte verreweg het grootste gedeelte van de artikelen zich op de effecten op sluipwespen, gevolgd door slechts enkele studies over de effecten op roofwantsen en roofmijten.

	alle nutriënten	N	P	K	gecombineerde meststof	multifactorieel	Si
totaal # artikelen	99	59	8	9	15	15	16
per gewas							
top 3	tomaat (19); kruisbloemigen (8); katoen (8)	tomaat(16); kruisbloemigen (7); katoen (6)	verschillende veldgewassen/ wilde planten	soja (3); kruisbloemigen (3)	chrysant (4); tomaat (2); roos (2)	kruisbloemigen (4); tomaat (2); chrysant (1)	tarwe (3); gras (3); katoen (2)
overig glastuinbouw gewassen	chrysant (6); komkommer (6); paprika (3); aardbei (3); roos (2); Poinsettia (2); Gerbera (1)	chrysant (3); komkommer (4); paprika (3); aardbei (3); Prinsettia 2; Gerbera (1)	chrysant (1) Impatiens walleirana (1)	tomaat (1); chrysant (1); petunia (1)			komkommer (2); tomaat (1)
per plaagsoort							
top 3	bladluis (32); rupsen (23); wittevlieg (20)	bladluis (21); rupsen (11); wittevlieg (11)	bladluis (2); rupsen (2); trips (2)	bladluis (5); rupsen (2); spintmijt(1)	trips (5); wittevlieg (3); bladluis (2)	bladluis (6); trips (3); spintmijt (3)	bladluis (7); rupsen (6); wittevlieg (3)
overige relevante plagen	trips (12); spintmijt (10); wolluis (1)	trips (6); spintmijt (6)	spintmijt (2); wittevlieg (1)	x	spintmijt (2)	rupsen (2)	trips (1); spintmijt (1)
per natuurlijke vijand							
# artikelen	25	15	0	0	6	0	3
top 3	sluipwespen (12); Mrlrde roofwantsen (4); roofmijten (3)	sluipwespen (6); Mrlrde roofwantsen (4); Orius roofwantsen (2)	x	x	sluipwespen (3); roofmijten (3)	x	sluipwespen (2); roofmijten (1)
overige relevante NV's	Orius roofwantsen (2); roofkevers (2); Aphidoletes (1); gaasvliegen (1)	roofkevers (2)	x	x	x	x	x

Figuur 2.2 Overzicht van de gevonden literatuur over de invloed van de nutriënten N, P, K, Si en gecombineerde meststoffen op plagen en natuurlijke vijanden.

Van de in totaal 99 onderzoeks-artikelen over de effecten van nutriënten op plagen en natuurlijke vijanden, zijn in 68 artikelen resultaten vermeld over bepalingen aan macro- en/of micronutriënten in het plantenweefsel (Figuur 2.3). Minder dan een kwart van de artikelen geeft daarnaast ook informatie over de concentraties van voedingsstoffen (eiwitten; aminozuren; suikers) of chemische verdedigingsstoffen (zoals fenolen) in plantmateriaal van de verschillende bemestingsbehandelingen, en in minder dan 10% van de artikelen zijn bepalingen gedaan aan de concentraties van componenten die bijdragen aan fysieke verdedigingsstructuren van de plant (zoals lignine, (hemi)cellulose) of directe bepalingen aan de stevigheid van de bladeren.

Bepalingen inhoudsstoffen plantmateriaal	totaal # artikelen	Bepaling nutriënten	Bepaling voedingsstoffen	Bepaling chemische verdedigingsstoffen	Bepaling fysieke verdedigingsstructuren
totaal # artikelen	99	68	22	24	7
soort inhoudsstoffen		C; N; P; K; micronutriënten	eiwitten & aminozuren (18); suikers (9)	fenolen (8); JA/SA (3); geurstoffen (6); overige verdedigingsstoffen (11)	lignine, hemicellulose, cellulose; stevigheid bladeren

Figuur 2.3 Overzicht van het aantal onderzoeks-artikelen dat bepalingen aan het plantmateriaal heeft uitgevoerd op concentraties aan a) nutriënten, b) voedingsstoffen, c) chemische verdedigingsstoffen en d) fysieke verdedigingsstructuren, binnen de gevonden literatuur over de invloed van de nutriënten stikstof (N), fosfor (P), kalium (K), silicium (Si) en gecombineerde meststoffen op plagen en natuurlijke vijanden.

In ongeveer een derde van de in totaal 99 onderzoeks-artikelen over de effecten van nutriënten op plagen en natuurlijke vijanden zijn bepalingen gedaan aan gewasgroei parameters (Figuur 2.4). In het merendeel van deze artikelen was er een effect van bemesting op de gewasgroei. Tegelijkertijd lieten enkele artikelen zien dat het mogelijk is om met een aangepaste bemestingsstrategie een plaagonderdrukking te realiseren zonder negatief effect op de plantengroei.

	alle nutriënten	N	P	K	gecombineerde meststof	multifactorieel	Si
totaal # artikelen	99	59	8	9	15	15	16
Bepaling gewasgroei	34	20	4	2	10	.	3
Effect nutriënten op plantengroei	28	17	3	2	8	.	1
Plaagonderdrukking zonder negatief effect op plantengroei	6	3	1	0	2	.	2

Figuur 2.4 Overzicht van het aantal onderzoeks-artikelen dat bepalingen aan de effecten van de bemestingsbehandelingen op de gewasgroei heeft gedaan, binnen de gevonden literatuur over de invloed van nutriënten stikstof (N), fosfor (P), kalium (K), silicium (Si) en gecombineerde meststoffen op plagen en natuurlijke vijanden. Hierbij is aangegeven in hoeveel onderzoeks-artikelen een effect van de bemestingsbehandelingen op de plantengroei is gevonden, en in hoeveel onderzoeks-artikelen een specifieke bemestingsbehandeling heeft geleid tot plaagonderdrukking zonder negatief effect op de plantengroei.

2.2.2 Effecten van gecombineerde nutriënten op plaagorganismen

Uit het literatuuronderzoek zijn 15 studies naar voren gekomen waarbij het effect van verschillende bemestingstrappen van commerciële samengestelde meststoffen zijn getoetst. Hoewel deze studies geen inzicht geven in de bijdrage van de afzonderlijke nutriënten, zijn ze wel interessant omdat het merendeel met glastuinbouwgewassen is uitgevoerd (4 studies met chrysant, 2 met roos en 2 met tomaat).

Van de studies met chrysant gingen er 3 gerelateerde studies over de effecten van bemesting op Californische trips (*Frankliniella occidentalis*) (Chau *et al.* 2005a; Davies *et al.* 2005; Chau & Heinz 2006) en 2 gerelateerde studies over de effecten van bemesting op katoenluis (*Aphis gossypii*) (Chau *et al.* 2005b; Davies *et al.* 2004). Uit de studie van Chau & Heinz (2006) bleek een verlaging van het bemestingsniveau met dezelfde NPK-meststof tot 50% van de aanbevolen hoeveelheid stikstof te leiden tot 40% reductie in de populatiegroei van trips, zonder negatieve effecten op de gewasgroei. Een nog verdere verlaging in bemestingsniveau tot 20% van de aanbevolen hoeveelheid leidde niet tot een verdere reductie in de populatiegroei van trips, maar wel tot een reductie in de gewasgroei en -productiviteit van chrysant (Chau *et al.* 2005a; Davies *et al.* 2005). Hoewel een verhoging in het bemestingsniveau van de NPK-meststof (150% of 200% van de aanbevolen hoeveelheid stikstof) ook leidde tot een reductie in de populatiegroei van trips, ging dit tevens gepaard met een reductie in de gewasproductiviteit.

In de studies van Chau *et al.* (2005b) en Davies *et al.* (2004) met katoenluis zijn er ook meerdere bemestingstrappen getoetst van dezelfde NPK-meststof met als hoogste bemestingstrap de aanbevolen hoeveelheid van 375 ppm stikstof. Hier leidde een verlaging in het bemestingsniveau tot 20% van de aanbevolen hoeveelheid N niet tot een verandering in de populatiegroei van katoenluis. Alleen met een verdere reductie in de hoeveelheid NPK-meststof kon de populatiegroei van katoenluis worden geremd. In deze studie bleek het derhalve niet mogelijk om met een reductie in de NPK-gift de populatiegroei van katoenluis te remmen zonder negatieve gevolgen voor de gewasgroei van chrysant.

Van de 2 studies met roos was er één studie gericht op de effecten van het bemestingsniveau op spintmijt (Chow *et al.* 2009) en één studie op de effecten van bemestingsniveau op Californische trips (Chow *et al.* 2012). In de studie met spintmijt leidde een verlaging van het bemestingsniveau met een commerciële vloeibare NPK-meststof tot 50% van de aanbevolen hoeveelheid stikstof (van 150 ppm stikstof) tot een halvering in de spintmijt aantallen. In de studie met Californische trips was echter een verlaging van het bemestingsniveau van de vloeibare NPK-meststof tot 33% van de aanbevolen hoeveelheid stikstof nodig om een 30% reductie van de trips dichtheid te realiseren. Een verlaging van het bemestingsniveau tot 33% van de aanbevolen hoeveelheid stikstof had geen negatieve consequenties voor de bloemproductie van roos. Een negatief effect op de bloemproductie werd pas waargenomen bij een reductie van het bemestingsniveau tot 10% van de aanbevolen hoeveelheid stikstof.

Van de twee studies met tomaat was één studie gericht op de effecten van het bemestingsniveau op tabakswittevlieg (*Bemisia argentifolii*) en mineervliegen (*Liriomyza trifolii*) (Inbar *et al.* 2001), één studie gericht op hoe de effecten van bemestingsniveau doorwerken op zowel tabakswittevlieg (*Bemisia tabaci*) en de sluipwesp van tabakswittevlieg (*Eretmocerus mundus*) (Pekas & Wäckers 2020). De studie van Inbar *et al.* (2001), waar alleen de extremen van wel/geen bemesting zijn getoetst, liet zien dat op tomatenplanten zonder bemesting (met een lagere voedingswaarde, sterk gereduceerde groei en hogere concentraties aan chemische verdedigingsstoffen) minder eitjes werden afgezet door *Bemisia argentifolii* wittevliesen en *Liriomyza trifolii* mineervliegen. De studie van Pekas & Wäckers (2020) liet zien dat het gewicht van de nimfen van tabakswittevlieg hoger was op tomatenplanten die bemest waren met een hoeveelheid NPK-meststof gelijk aan 200 ppm stikstof dan op tomatenplanten die niet waren bemest. Het gewicht van de nimfen van tabakswittevlieg op planten die waren bemest met een hoeveelheid NPK-meststof gelijk aan 100 ppm stikstof of 50 ppm stikstof lag hier tussenin en verschilde niet significant van de eerstgenoemde hoge en lage bemestingsniveaus. Het bemestingseffect werkte ook door op het aantal eicellen van de sluipwesp *Eretmocerus mundus*, die significant hoger was op de tomatenplanten van de hoogste bemestingstrap gelijk aan 200 ppm stikstof dan op alle andere bemestingstrappen.

2.2.3 Effecten van stikstof (N) op plaagorganismen

Stikstof wordt beschouwd als het meest beperkende macronutriënt voor herbivore insecten (Matson, 1980; White). Een hoge stikstofbemesting is in verband gebracht met een hogere aantallen plaaginsecten en een hogere populatiegroeisnelheid. Er zijn echter ook aanwijzingen dat een te hoog aanbod aan stikstof kan leiden tot een verminderde groei en reproductie (Simpson *et al.* 2004; Raubenheimer *et al.* 2005; Zehnder & Hunter, 2009), vermoedelijk omdat het energetisch kostbaar is voor insecten om de overtollige stikstof uit te scheiden (Boersma & Elser, 2006). Uit het literatuuronderzoek zijn 59 studies naar voren gekomen waarbij het effect van verschillende N-bemestingstrappen zijn getoetst op plagen en natuurlijke vijanden. Hiervan zijn er 32 studies uitgevoerd met één of meerdere glastuinbouw gewassen. Tomaat was hiervan het best vertegenwoordigd (16 studies), gevolgd door komkommer (4 studies), chrysant, aardbei en peper (elk 3 studies). Verder is er ook onderzoek gedaan naar de invloed van stikstof bemesting op plagen in Poinsettia (2 studies), Gerbera (1 proefschrift), *Impatiens walleriana* (1 studie) en Petunia (1 studie).

Voor het gewas tomaat zijn de meeste studies naar het effect van stikstof (N) bemesting gedaan met wittevlies (6 studies) en *Tuta absoluta* (6 studies). Daarnaast is er voor tomaat nog een studie gedaan met Californische trips en spintmijt en twee studies zonder plagen maar met de natuurlijke vijand *Macrolophus pygmaeus*. Van de 6 studies met wittevlies op tomatenplanten zijn er 4 uitgevoerd met kaswittevlies (*Trialeurodes vaporariorum*) (Hosseini *et al.* 2015; Jauset *et al.* 1998; 2000; Park *et al.* 2009) en 2 studies met tabakswittevlies (*Bemisia tabaci*) (Han *et al.* 2016; Islam *et al.* 2017). Uit alle studies in tomaat waar het effect van verschillende stikstof concentraties op populatiegroei parameters van wittevlies is getoetst kwam naar voren dat de populatiegroeisnelheid toeneemt met hogere stikstofgiften (Park *et al.* 2009; Jauset *et al.* 2000; Hosseini *et al.* 2015; Han *et al.* 2016). Tevens bleek uit de studie van Jauset *et al.* (2000) dat de volwassen kaswittevliegen significant groter waren wanneer ze waren ontwikkeld op planten met de hoogste stikstof concentratie. Uit de studie van Park *et al.* (2009) kwam naar voren dat de uitscheiding van honingdauw significant hoger was voor wittevlies nimfen die zich ontwikkelden op tomatenplanten met een relatief lage stikstof input. De auteurs suggereren dat dit kan worden verklaard doordat de wittevlies nimfen op tomatenplanten met een lagere stikstof input (en een lagere concentratie aan aminozuren en eiwitten) meer floëmsap moeten opzuigen om voldoende essentiële voedingsstoffen binnen te krijgen, waardoor er ook meer overtollige suikers worden afgescheiden. In geen van deze studies is het effect van de verschillende stikstof concentraties op de gewasgroei en -productiviteit van tomaat bepaald. Ook bleek uit alle studies waar de eilegvoorkoor van kaswittevlies is getoetst tussen tomatenplanten met verschillende stikstof input niveaus, dat de wittevlies vrouwtjes een sterke voorkeur hebben om eitjes te leggen op planten die onder een hoge stikstof input zijn geteeld (Park *et al.* 2009, Jauset *et al.* 1998). Islam *et al.* (2017) lieten zien dat tabakswittevlies sterker werd aangetrokken tot de geurstoffen die werden uitgescheiden door tomatenplanten die onder hogere stikstof input waren geteeld dan tot de geurstoffen van tomatenplanten die onder lage stikstof input waren geteeld. Interessant genoeg bleken tomatenplanten geteeld onder hoge stikstof input juist lagere concentraties van een aantal belangrijke geurcomponenten uit te scheiden.

De studies met *Tuta absoluta* bladmineerders lieten zien dat de *T. absoluta* larven die op tomatenplanten met weinig stikstof bemesting ontwikkelden, een lagere overleving en een langere ontwikkelingstijd hadden (Han *et al.* 2014; 2016; Larbat *et al.* 2016, Coqueret *et al.* 2017; Dong *et al.* 2018; Blazhevski *et al.* 2018). Dit is kon enerzijds worden toegeschreven aan een verminderde voedingswaarde (i.e. een laag eiwitgehalte), en anderzijds aan een verhoogd gehalte aan chemische verdedigingsstoffen in de bladeren (i.e. fenolen en glycoalkaloïden) (Han *et al.* 2016; Larbat *et al.* 2016).

In een veldstudie van Brodbeck *et al.* (2001) is onderzocht wat het effect is van de stikstof concentratie in tomatenbloemen op de dichtheden van Californische trips. Trips aantallen in de tomatenbloemen gedurende periodes van hoge populatiedichtheden van trips in het veld bleken positief gecorreleerd te zijn met stikstof concentraties in de bloemen, en meer specifiek met de concentraties van het aminozuur fenylalanine.

In het gewas komkommer zijn er twee studies uitgevoerd naar de effecten van stikstof bemesting op katoenluis (*Aphis gossypii*) (Petitt *et al.* 1994; Hosseini *et al.* 2010a). Nogmaals twee studies hebben zich gericht op hoe de effecten van stikstof bemesting van komkommerplanten doorwerken op de natuurlijke vijanden van katoenluis (Hosseini *et al.* 2010b; 2018).

De studie van Petitt *et al.* (1994) liet zien dat de populatiegroeisnelheid van katoenluis significant lager was op komkommerplanten die onder een verlaagde stikstof input waren geteeld in vergelijking met komkommerplanten die onder middelhoge of hoge stikstof input waren geteeld. In deze studie waren de effecten op gewasgroei en/of -productiviteit niet bepaald. In de studie van Hosseini *et al.* (2010a) had een lagere input zowel een lagere populatiegroeisnelheid van katoenluis als een lagere komkommer-oogst als gevolg.

Van de drie studies in chrysant heeft één studie zich gericht op katoenluis (*Aphis gossypii*) (Rostami *et al.* 2012), één studie op Californische trips (*Frankliniella occidentalis*) (Messelink *et al.* 2005) en één studie op kaswittevlies (*Trialeurodes vaporariorum*) (Bentz *et al.* 1992). In al deze studies nam de populatiegroei snelheid van de plagen toe bij hogere stikstof giften. In geen van deze studies waren de effecten van de verschillende stikstof giften op de gewasgroei en/of -productiviteit van chrysant bepaald.

Alle drie de studies naar de effecten van stikstof bemesting in aardbei hebben zich gericht op spintmijten (*Tetranychus urticae*) (Rodriguez *et al.* 1970; Alizade *et al.* 2016; Garcia *et al.* 2017). Alizade *et al.* (2016) vonden een significant – maar relatief klein – positief effect van stikstof gift op de populatiegroei van spintmijt, en vonden dat aardbeiplanten bij lagere stikstof input een lager eiwitgehalte hadden en een hogere concentratie fenolen. Garcia *et al.* (2017) vonden ook hogere aantallen spintmijten op aardbeiplanten met hogere stikstof concentraties in het blad, en Rodriguez *et al.* (1970) vonden hogere spintmijt schade op bladeren met hoge stikstof concentraties. In geen van deze artikelen was het effect van N-gift op de gewasgroei bepaald.

Van de drie studies die naar de effecten van stikstof bemesting op *Capsicum annuum* (paprika/ peper) zijn gedaan heeft één veldstudie zich gericht op Californische trips (Baez *et al.* 2011), één studie op perzikluis (*Myzus persicae*) (Petitt *et al.* 1994) en één studie op rupsen (*Helicoverpa armigera*) (Estiarte *et al.* 1994). De populatiegroeisnelheid van *Myzus persicae* nam toe met hogere stikstof giften (Petitt *et al.* 1994) en er werden hogere aantallen Californische tripsen gevonden op planten die meer stikstof bemesting ontvingen (Baez *et al.* 2011). In de studie van Estiarte *et al.* (1994) resulteerde een lage stikstof input in planten met een hogere C:N ratio en een hogere concentratie van fenolen. De omzetting van het bladmateriaal in biomassa van de rupsen verliep minder efficiënt wanneer planten waren geteeld onder lage stikstof input, en dit resulteerde in een lagere ontwikkelingssnelheid van de rupsen. De rupsen compenseerden echter niet door meer te vreten van de planten die waren geteeld onder lage stikstof input.

Voor de overige studies naar de effecten van stikstof bemesting op glastuinbouwgewassen zijn er twee studies met Poinsettia uitgevoerd met tabakswittevlies (*Bemisia tabaci*) (Bentz *et al.* 1995) en de sluipwesp *Encarsia formosa* (Bentz *et al.* 1996). Dit zijn ook de enige twee studies naar de effecten van stikstof bemesting op plagen en natuurlijke vijanden waar een vergelijking is gemaakt tussen de vorm waarin stikstof is toegediend (namelijk als ammonium of nitraat). Bentz *et al.* (1995) vonden dat tabakswittevlies de meeste eitjes legde Poinsettia planten die stikstof bemesting hadden ontvangen in de vorm van ammoniumnitraat.

2.2.4 Effecten van fosfor (P) op plaagorganismen

In het algemeen wordt aangenomen dat fosfor een minder beperkende factor is voor plaagontwikkeling en -reproductie dan stikstof (Huberty & Denno, 2006). Fosfor is nodig voor de synthese van RNA en DNA. Op basis hiervan wordt verwacht dat fosfor sneller limiterend is voor snel ontwikkelende plaagsoorten zoals bladluis, dan voor langzamer ontwikkelende plaagsoorten. Er is echter relatief weinig onderzoek gedaan naar de effecten van fosfor op de ontwikkeling van plagen, waardoor er weinig gegevens zijn om bovenstaande aannames te bevestigen. In de literatuur over zoetwater-organismen, zoals *Daphnia* sp., zijn er veel meer studies naar de effecten van fosfor, en wordt over het algemeen gevonden dat de populatiegroeisnelheid afneemt bij lagere fosfor concentraties in het voedsel (zie verwijzingen in Huberty & Denno, 2006).

Uit het literatuuronderzoek zijn 8 studies naar voren gekomen waarbij het effect van verschillende fosfor concentraties zijn getoetst op plagen. Hiervan is er slechts 1 studie uitgevoerd met een gewas dat onder glas wordt geteeld, namelijk met *Impatiens walleriana* (Chen *et al.* 2004). Het algemene beeld is dat bij een laag fosfor gehalte in de planten de populatiegroei van plagen afneemt. In de studie van Chen *et al.* 2004) In was er een trend voor lagere populatiegroei van Californische trips op *Impatiens walleriana* planten geteeld met een laag fosfor gehalte in de voeding. Bij een laag P gehalte in de bladeren van appelbomen was de vruchtbaarheid van spintmijten significant lager (Wermelinger *et al.* 1991). *Manduca sexta* rupsen ontwikkelden zich sneller op bladeren van *Datura wrightii* (Solanaceae) met een hoger fosfor gehalte (Perkins, 2004). In een studie van Huberty en Denno (2006) naar het effect van stikstof en fosfor op cicaden, leidde een tekort aan fosfor tot een afname in de populatiegroei van cicaden. Dit reducerende effect van een tekort aan fosfor op de populatiegroei van cicaden was echter minder sterk dan het reducerende effect van een tekort aan stikstof. Zehnder & Hunter (2009) vonden geen direct effect van fosfor concentratie op de populatiegroei van bladluizen op zijdeplant (*Asclepias syriaca*), maar wel een indirect effect. Bij excessief hoge concentraties van fosfor werden ook de stikstof concentraties in het blad hoger, wat resulteerde in een tragere populatiegroei van de bladluizen. Naast effecten op de populatiegroei kan het fosfor gehalte van planten ook een effect hebben op de voorkeur voor eileg. Op jonge katoenplanten werden minder eitjes door tabakswittevlieg gelegd op bladeren van planten met een laag fosfor gehalte in de voeding dan op bladeren van planten met een hoog fosfor gehalte in de voeding (Skinner & Cohen, 1994).

2.2.5 Effecten van kalium (K) op plaagorganismen

Voor kalium lijkt de relatie tussen concentratie van het nutriënt en de gevoeligheid van planten voor plagen omgekeerd te zijn in vergelijking met stikstof. Hoewel er veel minder onderzoek is gedaan naar de invloed van kalium bemesting op de ontwikkeling van plagen in vergelijking met de invloed van stikstof bemesting, is het algemene beeld dat uit de literatuur naar voren komt dat een tekort aan kalium de ontwikkeling van plagen kan stimuleren (waar een verlaging van stikstof juist de ontwikkeling van plagen kan remmen) (Perrenoud, 1990; Amtmann *et al.* 2008;). Net als voor stikstof zijn er hier ook uitzonderingen, en in de publicatie van het 'International Potash Institute' (Perrenoud, 1990), waar in een meta-analyse 2000 studies zijn onderzocht op de effecten van kalium op ziektes en plagen, waren er ook gevallen waar er geen effecten of tegenovergestelde effecten zijn waargenomen. Voor plagen bleek in 63% van de onderzochte studies dat een tekort aan kalium de plaagontwikkeling bevorderde, terwijl dit voor schimmel- en bacterieziekten respectievelijk 70% en 69% van de studies betrof. Voor plantenvirussen lag dit anders. Hier leidde een tekort aan kalium slechts in 41% van de gevallen tot meer problemen met plantenvirussen, en waren de problemen met plantenvirussen het merendeel van de studies (52%) juist groter bij een hogere concentratie kalium in het plantenweefsel (Perrenoud, 1990, samengevat in Amtmann *et al.* 2008).

In de review van Amtmann *et al.* (2008) is ook de toenmalige kennis over de onderliggende mechanismen van kalium bemesting op de ontwikkeling van ziektes en plagen samengevat. Ze schrijven dat kalium bemesting een sterk effect heeft op de samenstelling en distributie van primaire metabolieten in plantenweefsel, zowel de aantrekkelijkheid als de geschiktheid als voedselbron voor plagen kan beïnvloeden. Dit komt doordat metabolische enzymen, fotosynthese en langeafstand transport van primaire metabolieten allemaal afhankelijk zijn van kalium. Doordat kalium bemesting ook de concentraties van aminozuren in het floëmsap kan beïnvloeden, kan kalium bemesting ook effect hebben op de ontwikkeling van floëemzuigende insecten. Het algemene beeld is dat een tekort aan kalium de vorming van grotere moleculen zoals eiwitten, zetmeel en cellulose verhindert, waardoor simpele organische moleculen zoals suikers, aminozuren en nitraat zich ophopen. Er zijn echter ook studies die een ander beeld laten zien, en hoe planten reageren op een tekort aan kalium en hoe dit precies doorwerkt op plagen is nog lang niet geheel duidelijk. Terwijl een ophoping van suikers en aminozuren in het plantenweefsel gunstig kan uitpakken voor de aantrekkelijkheid en geschiktheid als voedselbron voor insecten, zijn er tegelijkertijd aanwijzingen dat een tekort aan kalium kan leiden tot een verhoging van de concentratie aan verdedigingsstoffen. In de modelplant *Arabidopsis thaliana* leidde een tekort aan kalium tot een ophoping van chemische verdedigingsstoffen die typerend zijn voor kruisbloemigen (i.e. glucosinolaten), en een verhoogde afweer tegen blad vretende insecten door interferentie van de jasmonzuur afweerroute (Amtmann, 2008).

Uit het literatuuronderzoek zijn 9 studies naar voren gekomen waarbij het effect van verschillende kalium concentraties in plantenvoeding zijn getoetst op plagen. Hiervan waren er 5 studies uitgevoerd met bladluis (Rahier, 1978; Jansson & Ekblom *et al.* 2002; Myers *et al.* 2005; Walter & Difonzo, 2007; Ai *et al.* 2011;), 2 studies met rupsen (Blazhevski *et al.* 2018; Chen *et al.* 2018), 1 studie met spintmijt (Wermelinger *et al.* 1991) en in 1 studie is er gekeken naar de effecten van kalium bemesting in combinatie met gesimuleerde plaagschade op de plantweerbaarheid (Almuziny *et al.* 2017). Zowel Walter & Difonzo (2007) als Myers *et al.* (2005) hebben de effecten van kalium bemesting op de bladluisontwikkeling in sojaboon onderzocht. In beide studies werd een snellere populatiegroei van bladluis waargenomen op sojaboon met een tekort aan kalium. Uit de studie van Walter & Difonzo (2007) bleek dat een tekort aan kalium tot verhoogde concentraties van asparagine in het floëmsap leidde, wat waarschijnlijk de oorzaak was van de snellere bladluis ontwikkeling. Ook uit de studie van Rahier (1978) bleek dat perzikluis werd aangetrokken tot *Brassica rapa* planten met een tekort aan kalium, en zich op deze planten ook sneller ontwikkelden dan op planten die geen kalium te kort hadden. Uit de studie van Ai *et al.* (2010) bleek dat een hoge kalium bemesting in katoen leidde tot een verlaging in de populatiegroei van katoenluis wanneer er geen stikstof bemesting werd toegediend. De studie van Jansson & Ekblom (2002) liet zien dat hoge ratio's van N:K in petunia niet per definitie leidden tot een snellere populatiegroei van de aardappeltopluis. Zowel fosfor als kalium hadden in deze studie een positief effect op de ontwikkelingssnelheid van bladluis, maar omdat in de bemesting fosfor en kalium concentraties aan elkaar waren gekoppeld, kon niet worden uitgewezen aan welk nutriënt dit effect toe te wijzen was.

De studie van Chen *et al.* (2018) liet voor de rupsen van *Chrysodeixis includens* op sojaboon echter zien dat – hoewel de mortaliteit en de vruchtbaarheid niet werden beïnvloed door kalium bemesting – de rupsen zich sneller ontwikkelden en meer blad vraten op planten met de meeste kalium bemesting. Andersom dus dan het algemene beeld. Blazhevski *et al.* (2018) vonden vrijwel geen effecten van een verlaging van de concentratie K in tomatenbladeren op de levenscyclus parameters van *T. absoluta*. Wermelinger *et al.* (1991) vonden slechts zwakke effecten van kalium bemesting op de biologie van spintmijten.

2.2.6 Effecten van Silicium (Si) op plaagorganismen

Silicium kan de plantweerbaarheid tegen plaaginsecten op twee verschillende manieren verhogen. Er zijn hierover verschillende review artikelen geschreven (Reynolds *et al.* 2009; Hall *et al.* 2019; Islam *et al.* 2020; Singh *et al.* 2020; Acevedo *et al.* 2021). Ten eerste kan de toediening van silicium de fysische plantweerbaarheid verbeteren door een ophoping van silicium in het plantenweefsel. Dit bemoeilijkt de penetratie en de vertering van het plantenweefsel door plaaginsecten (Islam *et al.* 2020). Gewassen verschillen echter sterk in de mate waarin ze silicium kunnen ophopen in het plantenweefsel. Derhalve zal dit effect ook niet in alle gewassen een rol spelen. Veel monocotyle gewassen accumuleren silicium, en van de glastuinbouwgewassen is komkommer een voorbeeld van een gewas dat Si accumuleert. Ten tweede kan silicium de hormonale afweer van planten induceren, waardoor de plant in chemische verdedigingsstoffen en fysische afweer gaat investeren. Ook kan silicium de productie van geurstoffen (VOC's) van planten veranderen, wat soms kan leiden tot een sterkere aantrekking van natuurlijke vijanden.

Uit het literatuuronderzoek zijn 16 studies naar voren gekomen over de invloed van silicium op plagen en/of natuurlijke vijanden. De meerderheid van deze studies ging over de effecten van silicium op plagen in monocotyle gewassen (Gomes *et al.* 2005; Massey *et al.* 2006; Kvedaras *et al.* 2007; Liu *et al.* 2017; Yang *et al.* 2018; Frew *et al.* 2019; de Oliveira *et al.* 2020; Johnson *et al.* 2020; Rowe *et al.* 2020). Met betrekking tot de dicotyle gewassen waren er twee studies met katoen (Abassi *et al.* 2020a; Abassi *et al.* 2020b), twee studies met komkommer (Callis-Duehl *et al.* 2017; Frew *et al.* 2019), één studie in tomaat (Almeida *et al.* 2009), één studie in boon (Islam *et al.* 2021), en twee studies in kruisbloemigen (Teixeira *et al.* 2017; Frew *et al.* 2019).

In Abassi *et al.* (2020a) is voor het gewas katoen het effect van bladbemesting en bodembemesting met silicium getoetst op de populatie-ontwikkeling en eileg-preferentie van tabakswittevlieg. Hierbij zijn er twee verschillende silicium vormen toegediend (i.e. silica (SiO_2) en kalium silicaat (K_2SiO_3)). In het algemeen leidde de toediening van hogere concentraties aan silicium tot een lagere eileg en een tragere ontwikkeling van tabakswittevlieg. Dit effect was het sterkst wanneer silicium werd toegepast als bladbemesting en in de vorm van silica. Frew *et al.* (2019) heeft het effect van de toediening van silicium (in de vorm van natrium silicaat (NaSiO_3)) op de ontwikkeling van rupsen (*Helicoverpa punctigera*) in drie verschillende gewassen onderzocht, namelijk komkommer, sorghum en een kruisbloemige (*Brassica napus*). Komkommer en sorghum zijn allebei gewassen die silicium kunnen accumuleren in het plantenweefsel, maar gewassen binnen de familie van de kruisbloemigen kunnen dit niet. De toediening van silicium kon de ontwikkeling van de rupsen in alle drie de gewassen remmen. In komkommer en sorghum was er een directe negatieve relatie tussen de concentraties van silicium in het plantenweefsel en de populatie-ontwikkeling van *H. punctigera*. In *Brassica napus* was deze relatie indirect door een negatief effect van silicium op de voedingswaarde van het gewas. Callis-Duehl *et al.* (2017) hebben de voorkeur van tabakswittevlieg en een kever (*Diabrotica balteata*) voor komkommerplanten met/ zonder silicium bemesting onderzocht, en vonden een duidelijke voorkeur van beide plaagsoorten voor planten die zonder silicium bemesting waren geteeld. Van de verschillende plantparameters die zijn bepaald, namelijk de concentratie aan lignine, elementaire nutriënten, water, dichtheid van de bladbehang, de hoeveelheid koolstof en stikstof en de geurstoffen (VOC's) die door de planten werden uitgescheiden, is er alleen een toename in de geurstof indole, een toename in de concentratie aan fosfor en een afname in de concentratie van cellulose waargenomen in komkommerplanten die waren behandeld met silicium. In de studie van Almeida *et al.* (2009) is het effect van silicium (in de vorm van calcium silicaat (CaO_4Si_2)) alleen of in combinatie met een organische meststof op de weerbaarheid van tomatenplanten tegen de trips soort *Frankliniella schultzei* getoetst. De toediening van silicium leidde tot minder plaagindividuen en minder zilverschade. Dit zou het gevolg moeten zijn van een inductie van afweer, omdat tomaat geen silicium accumuleert in het plantenweefsel. In de studie van Islam *et al.* (2021) in het gewas boon is aangetoond dat de toediening van silicium (in de vorm van kalium silicaat (K_2SiO_3)) de eileg, populatiegroei en vraatschade van spintmijt (*Tetranychus urticae*) kon onderdrukken. Roofmijten (*Phytoseiulus persimilis*) werden juist aangetrokken door de geurstoffen van planten die silicium bemesting hadden ontvangen. Tenslotte werd in de studie van Teixeira *et al.* (2017) het effect van silicium (in de vorm van silica) op de ontwikkeling van bladluis (*Brevicoryne brassicae*) en rupsen (*Plutella xylostella*) op spruitkool (*Brassica oleracea*) bepaald. De populatie-ontwikkeling van de bladluis *B. brassicae* werd niet beïnvloed door silicium bemesting, en de populatie-ontwikkeling van de rupsen van *P. xylostella* verliep langzamer in planten die waren geteeld onder toevoeging van silicium. Hierbij moet worden opgemerkt dat de toediening van silicium de belangrijkste verdedigingsstoffen in het gewas (namelijk glucosinolaten) deden toenemen, maar dat de plaagsoorten die in deze studie zijn getoetst hiervoor weinig gevoelig zijn omdat ze zijn gespecialiseerd op gewassen die glucosinolaten produceren. Het negatieve effect van silicium op de rupsen was derhalve waarschijnlijk toe te schrijven aan de 20% verhoging van de silicium concentratie in de bladeren. De motten van *P. xylostella* legden echter wel meer eitjes op de *B. oleracea* planten die waren bemest met silicium, waarschijnlijk doordat ze werden aangetrokken door de hogere glucosinolaat gehalten.

2.2.7 Effecten van nutriënten op natuurlijke vijanden

Er zijn verschillende manieren waarop nutriënten niet alleen een effect kan hebben op plaagorganismen, maar ook op hun natuurlijke vijanden. Wanneer aanpassingen in nutriënten leiden tot een lagere voedingswaarde en/of een verhoogde weerbaarheid van het gewas voor plaagorganismen, kan dit ook doorwerken op natuurlijke vijanden. Afhankelijk van de categorie van natuurlijke vijanden kunnen deze effecten anders uitpakken. Uit het literatuuronderzoek zijn 25 artikelen gevonden over het effect van nutriënten op natuurlijke vijanden. Hiervan ging bijna de helft van de studies over de effecten van bemesting op sluipwespen (Bentz *et al.* 1996; Krauss *et al.* 2007; Sarfraz *et al.* 2009; Staley *et al.* 2011; Pope *et al.* 2012; Aqueel *et al.* 2015; Chesnais *et al.* 2016; Mace *et al.* 2016; Dong *et al.* 2018; Pekas *et al.* 2020; Liu *et al.* 2017; de Oliveira *et al.* 2020), waren er 4 studies over de effecten van bemesting op miride roofwantsen (Han *et al.* 2015a; Han *et al.* 2015b.; Liman *et al.* 2017; Zhu *et al.* 2020), 2 studies over de effecten van bemesting op Orius roofwantsen (Hosseini *et al.* 2010; Groenteman *et al.* 2016;), twee studies over de effecten van bemesting op lieveheersbeestjes (Couture *et al.* 2010; Hosseini *et al.* 2018), en 3 studies over de effecten van bemesting op het gedrag van en/of de plaagbestrijding door roofmijten (Chow *et al.* 2009; Chow *et al.* 2012; Islam *et al.* 2021). Verreweg de meeste studies die hebben gekeken naar natuurlijke vijanden gingen over de effecten van stikstof bemesting (15 studies). Zes studies gingen over de effecten van gecombineerde meststoffen op natuurlijke vijanden, en 3 studies hebben de effecten van silicium op natuurlijke vijanden onderzocht.

Voor sluipwespen, wiens larven voor hun ontwikkeling afhankelijk zijn van één enkel plaagindividu, leidt een lagere voedingswaarde en/of een kleiner formaat van een plaagorganisme in veel gevallen ook tot kleinere sluipwespen (Sarfraz *et al.* 2009; Aqueel *et al.* 2015; Chesnais *et al.* 2016; Pekas *et al.* 2020). Kleinere sluipwesp-individen leven over het algemeen korter, kunnen zich relatief minder goed kunnen verspreiden, en/of hebben een lagere vruchtbaarheid. Ook lieten enkele studies zien dat bij lagere N-bemesting de parasiteringsgraad van plaaginsecten door sluipwespen ook lager lag (Aqueel *et al.* 2015; Chesnais *et al.* 2016). De studie van Pekas *et al.* (2020) liet zien dat de vruchtbaarheid van sluipwespen van wittevlieg lager was bij lagere N bemesting. De studie van Dong *et al.* (2018) liet geen effecten zien van N bemesting op de sluipwesp *Necremnus tuta* van *Tuta absoluta*.

In een enkel geval werd ook een effect van bemesting op de aantrekkelijkheid van het gewas voor sluipwespen gevonden. Uit de studie van Bentz *et al.* (1996) bleek dat *Encarsia formosa* sluipwespen een voorkeur hadden om wittevlieg te parasiteren op planten die waren bemest met calciumnitraat in vergelijking met planten die waren bemest met ammoniumnitraat. Liu *et al.* (2017) lieten zien dat *Microplitis mediator* sluipwespen sterker werden aangetrokken door rijstplanten die met Si waren geteeld. De aantrekkelijkheid van tarweplanten voor sluipwespen van bladluis bleek alleen voor intacte tarweplanten (zonder bladluis) positief te worden beïnvloed door Si, maar dit effect verdween in de aanwezigheid van bladluis. Uit de studie van Pope *et al.* (2012) bleek de soort bemesting (organisch of conventioneel) echter geen effect te hebben op de aantrekkelijkheid van kruisbloemige gewassen op de sluipwesp *Diaeretiella rapae*. Silicium kon ook de aantrekkelijkheid van boon voor de roofmijt *Phytoseiulus persimilis* verhogen (Islam *et al.* 2021).

Voor predatoren, zoals lieveheersbeestjes, welke meerdere plaagindividen moeten verorberen om zich te ontwikkelen tot adult, is waargenomen dat de prooiconsumptie toeneemt wanneer de voedingswaarde en/of grootte van de plaagindividen afneemt als gevolg van een suboptimale plantenvoeding (Couture *et al.* 2010; Hosseini *et al.* 2018). In de studies van Chow *et al.* (2009; 2012) bleken lagere giften van samengestelde NPK-meststoffen in combinatie met het uitzetten van roofmijten tot de beste plaagbestrijding van spintmijt en Californische trips te leiden. In deze studies is niet specifiek naar het effect van bemesting op het gedrag of de populatie-ontwikkeling van de roofmijten gekeken.

Voor omnivore roofwantsen, die zich mede op basis van plantenvoedsel kunnen ontwikkelen, kunnen veranderingen in de plantkwaliteit als gevolg van bemesting net als voor plagen ook een direct effect hebben op de populatie-ontwikkeling (Liman *et al.* 2017; Zhu *et al.* 2020). Dezelfde twee studies lieten zien dat miride roofwantsen op wilgen of rijstplanten net als de lieveheersbeestjes bij hogere N concentraties in het plantmateriaal minder prooien per individu consumeerden (Liman *et al.* 2017; Zhu *et al.* 2020). Dit effect werd echter niet gezien voor *Macrolophus pygmaeus* op tomaat. Hier vraten de *M. pygmaeus* roofwantsen op tomatenplanten met suboptimale N-voeding juist minder additioneel voedsel (gesteriliseerde motteneitjes).

In deze studie was er geen effect van N-bemesting op de levensduur van *M. pygmaeus*. De studie van Groenteman *et al.* (2006) liet zien dat verschillen in N-concentraties tussen katoenbladeren een significante invloed hadden op de eileg-preferentie en de ontwikkeling en overleving van de nimfen van de roofwants *Orius albidipennis*. Verschillen in N-bemesting tussen planten bleken echter geen effect te hebben op *Orius albidipennis*.

Al met al is de kennis over de invloed van bemesting op natuurlijke vijanden, en met name op de predatoren en omnivore roofwantsen en roofmijten nog erg beperkt. Zo is nog niet onderzocht in hoeverre verschillen in stuifmeelkwaliteit die kunnen ontstaan door verschillende bemestings-strategieën kunnen doorwerken op de populatie-ontwikkeling van stuifmeel-etende natuurlijke vijanden, zoals bijvoorbeeld *Orius* roofwantsen.

2.2.8 Referenties

- Abbasi, A., Sufyan, M., Arif, M. J., Sahi, S. T. (2020).
Effect of silicon on oviposition preference and biology of *Bemisia tabaci* (Gennadius)(Homoptera: Aleyrodidae) feeding on *Gossypium hirsutum* (Linnaeus). *International Journal of Pest Management*, 1-11.
- Abbasi, A., Sufyan, M., Arif, M. J., Sahi, S. T. (2020).
Effect of silicon on tritrophic interaction of cotton, *Gossypium hirsutum* (Linnaeus), *Bemisia tabaci* (Gennadius)(Homoptera: Aleyrodidae) and the predator, *Chrysoperla carnea* (Stephens)(Neuroptera: Chrysopidae). *Arthropod-Plant Interactions*, 14, 717-725.
- Acevedo, F. E., Peiffer, M., Ray, S., Tan, C. W., Felton, G. W. (2021).
Silicon-mediated enhancement of herbivore resistance in agricultural crops. *Frontiers in Plant Science*, 12, 116.
- Ai, T. C., Liu, Z. Y., Li, C. R., Luo, P., Zhu, J. Q., Jin, W. B., Cai, Q. N. (2011).
Impact of fertilization on cotton aphid population in Bt-cotton production system. *Ecological Complexity*, 8, 9-14.
- Alizade, M., Hosseini, M., Awal, M. M., Goldani, M., & Hosseini, A. (2016).
Effects of nitrogen fertilization on population growth of two-spotted spider mite. *Systematic and Applied Acarology*, 21, 947-956.
- Almeida, G. D., Pratisoli, D., Zanuncio, J. C., Vicentini, V. B., Holtz, A. M., Serrão, J. E. (2009).
Calcium silicate and organic mineral fertilizer increase the resistance of tomato plants to *Frankliniella schultzei*. *Phytoparasitica*, 37, 225-230.
- Almuziny, M., Decker, C., Wang, D., Gerard, P. Tharayil, N. (2017).
Nutrient supply and simulated herbivory differentially alter the metabolite pools and the efficacy of the glucosinolate-based defense system in Brassica Species. *Journal of Chemical Ecology*, 43, 129-142.
- Amtmann, A., Troufflard, S., Armengaud, P. (2008).
The effect of potassium nutrition on pest and disease resistance in plants. *Physiologia Plantarum*, 133, 682-691.
- Aqueel, M. A., Raza, A. B. M., Balal, R. M., Shahid, M. A., Mustafa, I., Javaid, M. M., Leather, S. R. (2015).
Tritrophic interactions between parasitoids and cereal aphids are mediated by nitrogen fertilizer. *Insect Science*, 22, 813-820.
- Baez, I., Reitz, S. R., Funderburk, J. E., Olson, S. M. (2011).
Variation within and between *Frankliniella* thrips species in host plant utilization. *Journal of Insect Science*, 11(1).
- Bentz, J. A., Larew, H. G. (1992).
Ovipositional preference and nymphal performance of *Trialeurodes vaporariorum* (Homoptera: Aleyrodidae) on *Dendranthema grandiflora* under different fertilizer regimes. *Journal of Economic Entomology*, 85, 514-517.
- Bentz, J. A., Reeves III, J., Barbosa, P., Francis, B. (1995).
Nitrogen fertilizer effect on selection, acceptance, and suitability of *Euphorbia pulcherrima* (Euphorbiaceae) as a host plant to *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae). *Environmental Entomology*, 24, 40-45.
- Bentz, J. A., Reeves III, J., Barbosa, P., Francis, B. (1996).
The effect of nitrogen fertilizer applied to *Euphorbia pulcherrima* on the parasitization of *Bemisia argentifolii* by the parasitoid *Encarsia formosa*. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 78, 105-110.

- Blazhevski, S., Kalaitzaki, A. P., Tsagkarakis, A. E. (2018). Impact of nitrogen and potassium fertilization regimes on the biology of the tomato leaf miner *Tuta absoluta*. *Entomologia Generalis*, 37(2), 157-174.
- Callis-Duehl, K. L., McAuslane, H. J., Duehl, A. J., Levey, D. J. (2017). The effects of silica fertilizer as an anti-herbivore defense in cucumber. *Journal of Horticultural Research* 25, 89-98.
- Chau, A., Heinz, K. M., & Davies Jr, F. T. (2005a). Influences of fertilization on population abundance, distribution, and control of *Frankliniella occidentalis* on chrysanthemum. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 117, 27-39.
- Chau, A., Heinz, K. M., & Davies Jr, F. T. (2005b). Influences of fertilization on *Aphis gossypii* and insecticide usage. *Journal of Applied Entomology*, 129, 176-184.
- Chau, A., & Heinz, K. M. (2006). Manipulating fertilization: a management tactic against *Frankliniella occidentalis* on potted chrysanthemum. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 120(3), 201-209.
- Chen, Y., Williams, K. A., Harbaugh, B. K., Bell, M. L. (2004). Effects of tissue phosphorus and nitrogen in *Impatiens walleriana* on western flower thrips (*Frankliniella occidentalis*) population levels and plant damage. *HortScience*, 39, 545-550.
- Chen, X., Harrell, D., Cox, A., & Davis, J. A. (2018). Effects of potassium fertilizer rates on soybean looper (Lepidoptera: Noctuidae) development. *Journal of Economic Entomology*, 111, 1745-1750.
- Chesnais, Q., Couty, A., Catterou, M., Ameline, A. (2016). Cascading effects of N input on tritrophic (plant-aphid-parasitoid) interactions. *Ecology and Evolution*, 6, 7882-7891.
- Chow, A., Chau, A., Heinz, K. M. (2009). Reducing fertilization for cut roses: effect on crop productivity and twospotted spider mite abundance, distribution, and management. *Journal of economic entomology*, 102(5), 1896-1907.
- Chow, A., Chau, A., Heinz, K. M. (2012). Reducing fertilization: a management tactic against western flower thrips on roses. *Journal of Applied Entomology*, 136, 520-529.
- Coqueret, V., Le Bot, J., Larbat, R., Desneux, N., Robin, C., Adamowicz, S. (2017). Nitrogen nutrition of tomato plant alters leafminer dietary intake dynamics. *Journal of Insect Physiology*, 99, 130-138.
- Couture, J. J., Servi, J. S., Lindroth, R. L. (2010). Increased nitrogen availability influences predator-prey interactions by altering host-plant quality. *Chemoecology*, 20, 277-284.
- Davies, F. T., He, C., Chau, A., Heinz, K. M., Cartmill, A. D. (2004). Fertility affects susceptibility of chrysanthemum to cotton aphids: influence on plant growth, photosynthesis, ethylene evolution, and herbivore abundance. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 129, 344-353.
- de Oliveira, R. S., Peñaflor, M. F. G., Gonçalves, F. G., Sampaio, M. V., Korndörfer, A. P., Silva, W. D., Bento, J. M. S. (2020). Silicon-induced changes in plant volatiles reduce attractiveness of wheat to the bird cherry-oat aphid *Rhopalosiphum padi* and attract the parasitoid *Lysiphlebus testaceipes*. *Plos One*, 15, e0231005.
- Dong, Y. C., Han, P., Niu, C. Y., Zappalà, L., Amiens-Desneux, E., Bearez, P., Desneux, N. (2018). Nitrogen and water inputs to tomato plant do not trigger bottom-up effects on a leafminer parasitoid through host and non-host exposures. *Pest Management Science*, 74, 516-522.
- Douglas, A. E. (2003). The nutritional physiology of aphids. *Advances in Insect Physiology*, 31, 73-140.
- Estiarte, M., Filella, I., Serra, J. Penuelas, J. (1994). Effects of nutrient and water stress on leaf phenolic content of peppers and susceptibility to generalist herbivore *Helicoverpa armigera* (Hubner). *Oecologia*, 99, 387-391.
- Frew, A., Weston, L., A., Gurr, G. M. (2019). Silicon reduces herbivore performance via different mechanisms, depending on host-plant species. *Australian Ecology*, 44, 1092-1097.

- Garcia, E. (2017).
Effects of nitrogen fertilizer on *Tetranychus urticae* populations in strawberry (Doctoral dissertation, California State Polytechnic University, Pomona).
- Groenteman, R., Guershon, M., Coll, M. (2006).
Effects of leaf nitrogen content on oviposition site selection, offspring performance, and intraspecific interactions in an omnivorous bug. *Ecological Entomology*, 31, 155-161.
- Hall, C. R., Waterman, J. M., Vandegeer, R. K., Hartley, S. E., Johnson, S. N. (2019).
The role of silicon in antiherbivore phytohormonal signaling. *Frontiers in Plant Science*, 10, 1132.
- Han, P., Lavoie, A. V., Le Bot, J., Amiens-Desneux, E., Desneux, N. (2014).
Nitrogen and water availability to tomato plants triggers bottom-up effects on the leafminer *Tuta absoluta*. *Scientific Reports*, 4, 1-8.
- Han, P., Bearez, P., Adamowicz, S., Lavoie, A. V., Amiens-Desneux, E., Desneux, N. (2015).
Nitrogen and water limitations in tomato plants trigger negative bottom-up effects on the omnivorous predator *Macrolophus pygmaeus*. *Journal of Pest Science*, 88, 685-691.
- Han, P., Dong, Y., Lavoie, A. V., Adamowicz, S., Bearez, P., Wajnberg, E., Desneux, N. (2015).
Effect of plant nitrogen and water status on the foraging behavior and fitness of an omnivorous arthropod. *Ecology and evolution*, 5, 5468-5477.
- Han, P., Desneux, N., Michel, T., Le Bot, J., Seassau, A., Wajnberg, E., Lavoie, A. V. (2016).
Does plant cultivar difference modify the bottom-up effects of resource limitation on plant-insect herbivore interactions? *Journal of Chemical Ecology*, 42, 1293-1303.
- Han, P., Desneux, N., Becker, C., Larbat, R., Le Bot, J., Adamowicz, S., Lavoie, A. V. (2019).
Bottom-up effects of irrigation, fertilization and plant resistance on *Tuta absoluta*: implications for Integrated Pest Management. *Journal of Pest Science*, 92, 1359-1370.
- Hosseini, M., Ashouri, A., Enkegaard, A., Goldansaz, S. H., Nassiri Mahalati, M., Hosseini-naveh, V. (2010a).
Performance and population growth rate of the cotton aphid, and associated yield losses in cucumber, under different nitrogen fertilization regimes. *Journal of Pest Management*, 56, 127-135.
- Hosseini, M., Ashouri, A., Enkegaard, A., Weisser, W. W., Goldansaz, S. H., Mahalati, M. N., Sarraf Moayeri, H. R. (2010b).
Plant quality effects on intraguild predation between *Orius laevigatus* and *Aphidoletes aphidimyza*. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 135, 208-216.
- Hosseini, R. S., Madadi, H., Hosseini, M., Delshad, M., Dashti, F. (2015).
Nitrogen in hydroponic growing medium of tomato affects the demographic parameters of *Trialeurodes vaporariorum* (Westwood) (Hemiptera: Aleyrodidae). *Neotropical Entomology*, 44, 643-650.
- Hosseini, A., Hosseini, M., Michaud, J. P., Modarres Awal, M., Ghadamyari, M. (2018).
Nitrogen fertilization increases the nutritional quality of *Aphis gossypii* (Hemiptera: Aphididae) as prey for *Hippodamia variegata* (Coleoptera: Coccinellidae) and alters predator foraging behavior. *Journal of Economic Entomology*, 111, 2059-2068.
- Huberty, A. F., Denno, R. F. (2006).
Consequences of nitrogen and phosphorus limitation for the performance of two planthoppers with divergent life-history strategies. *Oecologia*, 149, 444-455.
- Inbar, M., Doostdar, H., Mayer, R. T. (2001).
Suitability of stressed and vigorous plants to various insect herbivores. *Oikos*, 94, 228-235.
- Islam, M., Hasanuzzaman, A. T. M., Zhang, Z. F., Zhang, Y., Liu, T. X. (2017).
High level of nitrogen makes tomato plants releasing less volatiles and attracting more *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae). *Frontiers in Plant Science*, 8, 466.
- Islam, W., Tayyab, M., Khalil, F., Hua, Z., Huang, Z., Chen, H. Y. (2020).
Silicon-mediated plant defense against pathogens and insect pests. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 168, 104641.
- Islam, T., Moore, B. D., Johnson, S. N. (2022).
Silicon suppresses a ubiquitous mite herbivore and promotes natural enemy attraction by altering plant volatile blends. *Journal of Pest Science*, 95, 423-434.
- Jansson, J., Ekbom, B. (2002).
The effect of different plant nutrient regimes on the aphid *Macrosiphum euphorbiae* growing on petunia. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 104, 109-116.

- Jauset, A. M., Sarasua, M. J., Avilla, J., Albajes, R. (1998).
The impact of nitrogen fertilization of tomato on feeding site selection and oviposition by *Trialeurodes vaporariorum*. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 86, 175-182.
- Jauset, A. M., Sarasua, M. J., Avilla, J., Albajes, R. (2000).
Effect of nitrogen fertilization level applied to tomato on the greenhouse whitefly. *Crop Protection*, 19, 255-261.
- Krauss, J., Härri, S. A., Bush, L., Husi, R., Bigler, L., Power, S. A., Müller, C. B. (2007).
Effects of fertilizer, fungal endophytes and plant cultivar on the performance of insect herbivores and their natural enemies. *Functional Ecology*, 21, 107-116.
- Larbat, R., Adamowicz, S., Robin, C., Han, P., Desneux, N., Le Bot, J. (2016).
Interrelated responses of tomato plants and the leaf miner *Tuta absoluta* to nitrogen supply. *Plant Biology*, 18, 495-504.
- Leite, G. L. D., Picanço, M., Jham, G. N., Marquini, F. (2004).
Intensidade de ataque de *Tuta absoluta* (Meyrick, 1917)(Lepidoptera: Gelechiidae) e de *Liriomyza* spp. (Diptera: Agromyzidae) em folhas de *Lycopersicum esculentum* Mill. *Ciência e Agrotecnologia*, 28, 42-48.
- Leroy, N., de Tombeur, F., Walgraffe, Y., Cornélis, J. T., Verheggen, F. J. (2019).
Silicon and plant natural defenses against insect pests: Impact on plant volatile organic compounds and cascade effects on multitrophic interactions. *Plants*, 8, 444.
- Liman, A. S., Dalin, P., Björkman, C. (2017).
Enhanced leaf nitrogen status stabilizes omnivore population density. *Oecologia*, 183(1), 57-65.
- Liu, J., Zhu, J., Zhang, P., Han, L., Reynolds, O. L., Zeng, R., Gurr, G. M. (2017).
Silicon supplementation alters the composition of herbivore induced plant volatiles and enhances attraction of parasitoids to infested rice plants. *Frontiers in Plant Science*, 8, 1265.
- Mace, K. C., Mills, N. J. (2016).
Nitrogen-mediated interaction: a walnut-aphid-parasitoid system. *Environmental Entomology*, 44, 891-896.
- Messelink, G. J., De Kogel, W. J. (2005).
Impact of chrysanthemum cultivar, fertilization and soil-dwelling predatory mites on *Frankliniella occidentalis*. In *Proceedings of the Netherlands Entomological Society Meeting*, 16, 101-107.
- Myers, S. W., Gratton, C., Wolkowski, R. P., Hogg, D. B., Wedberg, J. L. (2005).
Effect of soil potassium availability on soybean aphid (Hemiptera: Aphididae) population dynamics and soybean yield. *Journal of Economic Entomology*, 98, 113-120.
- Park, M. K., Kim, J. G., Song, Y. H., Lee, J. H., Shin, K. I., Cho, K. (2009).
Effect of nitrogen levels of two cherry tomato cultivars on development, preference and honeydew production of *Trialeurodes vaporariorum* (Hemiptera: Aleyrodidae). *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 12, 227-232.
- Pekas, A., Wäckers, F. L. (2020).
Bottom-up effects on tri-trophic interactions: Plant fertilization enhances the fitness of a primary parasitoid mediated by its herbivore host. *Journal of Economic Entomology*, 113, 2619-2626.
- Perkins, M. C., Woods, H. A., Harrison, J. F., Elser, J. J. (2004).
Dietary phosphorus affects the growth of larval *Manduca sexta*. *Archives of Insect Biochemistry and Physiology*, 55, 153-168.
- Petitt, F. L., Loader, C. A., Schon, M. K. (1994).
Reduction of nitrogen concentration in the hydroponic solution on population growth rate of the aphids (Homoptera: Aphididae) *Aphis gossypii* on cucumber and *Myzus persicae* on pepper. *Environmental Entomology*, 23, 930-936.
- Pope, T. W., Girling, R. D., Staley, J. T., Trigodet, B., Wright, D. J., Leather, S. R., Poppy, G. M. (2012).
Effects of organic and conventional fertilizer treatments on host selection by the aphid parasitoid *Diaeretiella rapae*. *Journal of Applied Entomology*, 136, 445-455.
- Rahier, M. (1978).
Performance of *Myzus persicae* and production of its host plant, *Brassica rapa*, related to plant mineral nutrition. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 24, 621-624.
- Reynolds, O. L., Keeping, M. G., Meyer, J. H. (2009).
Silicon-augmented resistance of plants to herbivorous insects: a review. *Annals of Applied Biology*, 155, 171-186.

- Rodriguez, J. G., Chaplin, C. E., Stoltz, L. P., Lasheen, A. M. (1970).
Studies on resistance of strawberries to mites. I. Effects of plant nitrogen. *Journal of Economic Entomology*, 63, 1855-1858.
- Rostami, M., Zamani, A. A., Goldasteh, S., Shoushtari, R. V., Kheradmand, K. (2012).
Influence of nitrogen fertilization on biology of *Aphis gossypii* (Hemiptera: Aphididae) reared on *Chrysanthemum indicum* (Asteraceae). *Journal of Plant Protection Research* 52, 118-121.
- Sarfraz, M., Dosdall, L. M., Keddie, B. A. (2009).
Host plant nutritional quality affects the performance of the parasitoid *Diadegma insulare*. *Biological Control*, 51, 34-41.
- Singh, A., Kumar, A., Hartley, S., Singh, I. K. (2020).
Silicon: its ameliorative effect on plant defense against herbivory. *Journal of Experimental Botany*, 71, 6730-6743.
- Skinner, R. H., Cohen, A. C. (1994).
Phosphorus nutrition and leaf age effects on sweetpotato whitefly (Homoptera: Aleyrodidae) host selection. *Environmental Entomology*, 23, 693-698.
- Staley, J. T., Girling, R. D., Stewart-Jones, A., Poppy, G. M., Leather, S. R., Wright, D. J. (2011).
Organic and conventional fertilizer effects on a tritrophic interaction: parasitism, performance and preference of *Cotesia vestalis*. *Journal of Applied Entomology*, 135, 658-665.
- Sung, J., Lee, S., Lee, Y., Ha, S., Song, B., Kim, T., Krishnan, H. B. (2015).
Metabolomic profiling from leaves and roots of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) plants grown under nitrogen, phosphorus or potassium-deficient condition. *Plant Science*, 241, 55-64.
- Teixeira, N. C., Valim, J. O. S., Campos, W. G. (2017).
Silico-mediated resistance against specialist insects in sap-sucking and leaf-chewing guilds in the Si non-accumulator collard. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 165, 94-108.
- Walter, A. J., Difonzo, C. D. (2014).
Soil potassium deficiency affects soybean phloem nitrogen and soybean aphid populations. *Environmental Entomology*, 36, 26-33.
- Wermelinger, B., Oertli, J. J., Baumgärtner, J. (1991).
Environmental factors affecting the life-tables of *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) III. Host-plant nutrition. *Experimental & Applied Acarology*, 12, 259-274.
- Zehnder, C. B., Hunter, M. D. (2009).
More is not necessarily better: the impact of limiting and excessive nutrients on herbivore population growth rates. *Ecological Entomology*, 34, 535-543.
- Zhu, P., Zheng, X., Xu, H., Johnson, A. C., Heong, K. L., Gurr, G. M., Lu, Z. (2020).
Nitrogen fertilization of rice plants improves ecological fitness of an entomophagous predator but dampens its impact on prey, the rice brown planthopper, *Nilaparvata lugens*. *Journal of Pest Science*, 93, 747-755.

2.3 Discussie en conclusies

Uit het literatuuronderzoek komt naar voren dat er potentie is om door middel van een aantal nutriënten plantweerbaarheid tegen ziekten en plagen te bevorderen. De focus blijkt in de gevonden literatuur maar beperkt gericht te zijn op tuinbouwgewassen en binnen deze groep meer op de vruchtgroenten dan op de siergewassen. Stikstof en silicium blijken de meeste potentie te hebben om de plantweerbaarheid te verhogen. Een verlaging van stikstof lijkt in een aantal gevallen de aantasting door biotrofe schimmels (die levend plantmateriaal nodig hebben) te verminderen. Stikstof is echter wel het meest bepalende element voor plantengroei. Hier is dus verder onderzoek nodig om per gewas te bepalen wat de kritische ondergrens aan stikstofgift is die een acceptabele plantenkwaliteit en opbrengst levert en tegelijk biotrofe pathogenen, zoals echte meeldauw, - een van de meest genoemde ziekten in deze studie-, te verminderen. Helaas neemt bij verlaging van de stikstofgift de aantasting van necrotrofe pathogenen, (die op verzwakte of dode planten groeien), zoals botrytis toe. Hier moet per gewas bepaald worden wat de ziekte is met het hoogste risico en vervolgens kan dan een strategie met meer of minder stikstof ontwikkeld worden. Helaas blijkt een verhoogde stikstof gift, positief te werken op plagen.

In tegenstelling tot stikstof werkt het effect van silicium op plantweerbaarheid maar één richting op. Als er een effect gerapporteerd wordt, is dit onafhankelijk van het soort pathogeen. Soms is het ook effectief tegen plagen. Het heeft vooral een fysisch effect door de vorming van mechanische barrières in het blad, aanmaak van plantafweerstoffen en afbraakenzymen als ook activatie van de salicylzuur plantafweerroute. Daarmee lijkt silicium het meest belovend om plantweerbaarheid door middel van nutriënten te verhogen. Gewassen verschillen sterk in de opname en accumulatie van silicium waarbij vooral monocotyle planten silicium kunnen ophopen. Binnen de groep van dicotylen is het aantal gewassen dat silicium opneemt beperkt. De chemie van silicium is tamelijk complex en lang niet alle vormen zijn geschikt voor toepassing in de bemesting. Daarentegen spelen er, in tegenstelling tot de macro-elementen geen interacties met andere voedingselementen, zodat silicium dosering wat dat betreft geen belemmeringen geeft.

Fosfor kan de ziektegevoeligheid van planten verlagen. Er is echter weinig bekend over het effect van fosfor op plagen. De beschikbaarheid van fosfor voor de plant is echter sterk afhankelijk van de binding in de bodem wat de interpretatie van de literatuurgegevens lastig maakt. Ook is daarmee een eventuele sturing voor verhoging van weerbaarheid in de praktijk complex. Verhoging van kalium vermindert infectie met biotrofe als ook necrotrofe pathogenen en kan ook de ontwikkeling van plagen remmen. Ook is de sturing van kalium voor verhoging van weerbaarheid complex omdat het als kation de opname van de andere kationen (calcium, magnesium) sterk kan beïnvloeden.

Er zijn nog relatief weinig studies gedaan aan de effecten van nutriënten op natuurlijke vijanden. De meeste studies die gedaan zijn gingen over de effect op sluipwespen, en studies naar andere soorten natuurlijke vijanden zijn zeer beperkt. Hier ligt dus een kennis leemte. Ook over het effect van nutriënten op geïnduceerde weerbaarheid is weinig bekend. De bestaande literatuur laat de potentie zien om met nutriënten de jasmonzuur of de salicylzuur plantafweerroutes te activeren maar er is meer onderzoek en kennis nodig. Hoewel de literatuur laat zien dat vooral stikstof en silicium de meeste potentie hebben om plantweerbaarheid te verhogen zijn deze resultaten vaak afkomstig uit meer fundamenteel onderzoek van niet-tuinbouwgewassen. Het is dus noodzakelijk deze resultaten met verder gericht onderzoek te toetsen met tuinbouwgewassen om dit ook voor toepassing in de praktijk te kunnen vertalen. Deze studie is bewust afgebakend op de hoofdelementen N,P, K en silicium. Het is denkbaar dat ook andere hoofd -en sporenelement effecten op plantweerbaarheid kunnen hebben. Een vlugge screening van de literatuur leert dat dit klopt maar het materiaal is zeer beperkt.

3 Enquête (Verify)

3.1 Introductie

Naast de literatuurstudie is een enquête uitgevoerd waarbij inzichtelijk wordt gemaakt hoe de praktijk, bestaande uit telers en specialisten, omgaat met het onderwerp bemesting in relatie met plantweerbaarheid. De studie is uitgevoerd door interviews en enquêtes te houden met verschillende vertegenwoordigers uit de praktijk, waarbij zowel telers als specialisten uit verschillende expertisegebieden, kennisrichtingen en teelten zijn bevraagd.

3.2 Specialisten

3.2.1 Introductie

In de maanden juni en juli 2021 zijn totaal 9 bemestingsspecialisten door Verify geïnterviewd; allen werkzaam binnen de nationale en internationale glastuinbouwsector. Aan hen is gevraagd wat hun ervaringen en meningen zijn over het onderwerp bemesting in relatie tot plantweerbaarheid in verschillende teeltsituaties. De vragenlijst is van tevoren opgesteld in samenspraak met de onderzoekers van Verify en de WUR.

De geïnterviewde zijn gespecialiseerd in de volgende werkgebieden:

- Potplantenteelt (groen en bloeiend): 3 adviseurs.
- Snijbloementeleit (gerbera, chrysant, roos en orchidee): 3 adviseurs.
- Algemene bemestingsspecialist (laboratorium, zelfstandig adviseur en meststoffen leverancier): 3 adviseurs.
- Adviseur substraten (potgrond): 1 adviseur.

Om voldoende gerichte informatie te genereren is besloten om de specialisten individueel mondeling te ondervragen.

In de onderstaande hoofdstukken worden de belangrijkste en meest essentiële informatie verkregen uit de interviews besproken. De gehele enquête inclusief de antwoorden wordt beschreven in bijlage 1.

3.2.2 Resultaten

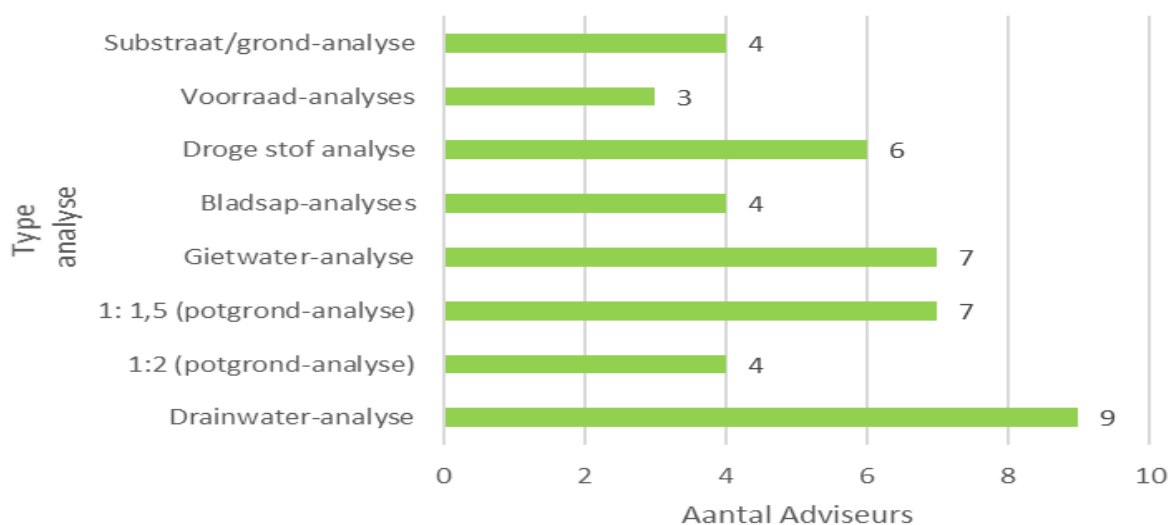
De meeste specialisten hebben een lichte voorkeur om te werken met enkelvoudige vloeibare meststoffen. Een belangrijk voordeel van dit type meststof is dat er gericht kan worden gestuurd per individueel nutriënt. Echter de wens van de telers is hierin altijd bepalend.

Voor de specialisten die zich niet hebben gespecialiseerd in één specifieke gewasgroep hebben in hun advieswerk te maken met een grote verscheidenheid aan verschillende substraten; waaronder steenwol, perliet, mengsels van veen en kokos, bark en vollegrond. Voor ieder substraattype worden er verschillende bemestingsschema berekend en geadviseerd.

Opvallend is dat de basis van een groot aantal van de huidige voedingsschema's gebaseerd zijn op de schema's die jaren geleden zijn opgesteld door Proefstation in Naaldwijk. Deze schema's werden tot ca 2004 op basis van veranderende kennis en ervaring aangepast. Zo zijn enkele van de op dit moment gehanteerde voedingsschema's in de teelten tomaat en paprika al 20 jaar oud. Echter in relatief nieuwe kasteelten zoals aardbei en blauwe bes zijn de aangehouden schema's een stuk recenter. Door de belangstelling voor de weerbaarheid van planten zien de specialisten de laatste jaren wel dat de voedingsschema's relatief sneller worden aangepast dan in het verleden.

In veel gewassen worden tijdens de teeltperiode voedingsschema's aangepast op basis van de gewasontwikkeling; vegetatief en generatieve fasen. Een andere belangrijke factor die door de specialisten wordt aangegeven waarom er aanpassingen worden gemaakt zijn de effecten van de verschillende seizoenen op het klimaat waardoor er bijvoorbeeld in het voorjaar meer stikstof wordt geadviseerd dan in het najaar.

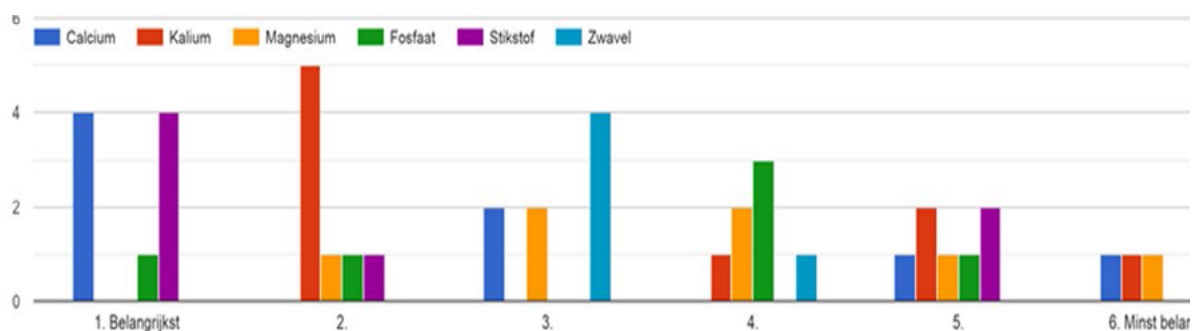
Om de juiste voedingsschema's te kunnen berekenen werken de meeste specialisten met analyse cijfers verkregen uit een grote verscheidenheid aan verschillende soorten monstertypen en analysetechnieken. In de onderstaande Figuur 3.1 worden deze benoemd. Opvallend is dat alle specialisten primair werken met de nutriëntenconcentraties in het drainwater. Door vooral snel op de analyseresultaten in het drainwater te reageren voorkom je op een 'preventieve' manier dat er gebrek symptomen optreden. Andere veel gebruikte analyses zijn de analyses op de nutriënten concentratie in het gietwater en in een organisch substraattype via de 1:1,5-analyse.



Figuur 3.1 Verschillende door specialisten gebruikte analysemethodieken.

Tijdens de teelt worden er door de specialisten regelmatig aanpassingen gemaakt in de EC-waarde van het gietwater. Bij jaarrond teelten zoals gerbera en tomaat is voor specialisten het moment van het jaar de belangrijkste rede om de EC aan te passen. Daarnaast zijn het klimaat en de instralingssommen, EC-waarden in het drainwater en het gewasstadium belangrijke graadmeters om aanpassingen in de EC te maken. Opvallend is dat met de pH weinig wordt gevarieerd in het voedingsschema van het gietwater. Het is volgens hen de adviseurs wel belangrijk dat de pH tussen bepaalde waarde blijft anders kan bij minder groei de pH te veel wegzakken.

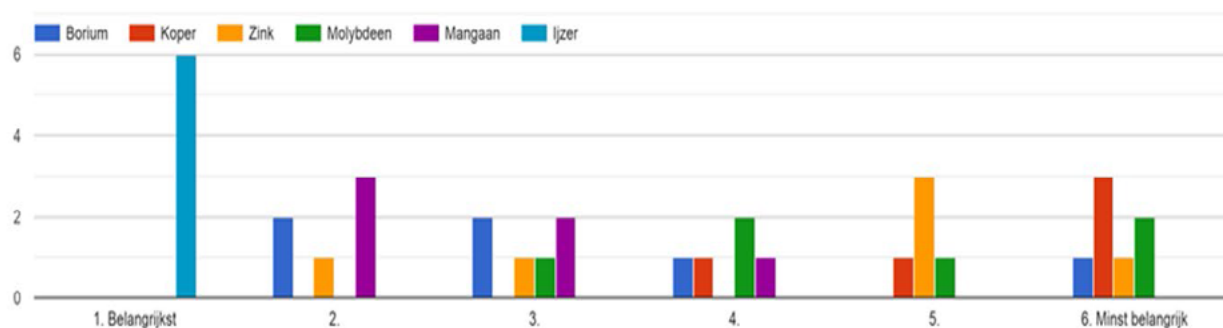
Calcium (Ca) en stikstof zijn volgens de meeste specialisten de belangrijkste hoofdelementen in de glastuinbouw (Figuur 3.2). Andere hoofdelementen zoals Kalium (K) en Fosfaat (P) worden ook als zeer essentieel ervaren voornamelijk in relatie tot een sterke gewasontwikkeling. Zwavel (S) wordt door hen als minst belangrijk nutriënt gezien.



Schaal 1 t/m 6 – belangrijkst t/m minst

Figuur 3.2 Hoofdelementen in mate van belangrijkheid.

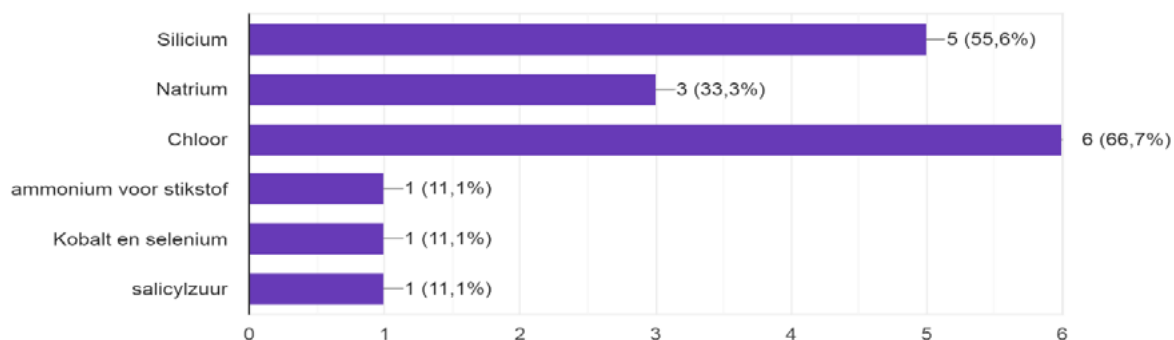
Als belangrijkste spoorelement wordt ijzer (Fe) genoemd. De elementen zink, molybdeen, borium en koper zijn het minste belangrijk waarbij koper het vaakst wordt genoemd. Dit is ook terug te vinden in Figuur 3.3.



Schaal 1 t/m 6 – belangrijkst t/m minst

Figuur 3.3 Spoorelementen in mate van belangrijkheid.

Op de vraag welke andere nutriënten ook nog belangrijk zijn voor een sterk en weerbaar gewas werd door relatief veel specialisten chloor (Cl) en het element silicium (Si) genoemd (Figuur 3.4). Andere elementen en stoffen zoals ammonium, kobalt en selenium en salicylzuur kunnen ook als belangrijk worden beschouwd.



Aantal keer gekozen (meerdere antwoorden mogelijk)

Figuur 3.4 Overige elementen en stoffen die belangrijk zijn m.b.t. plantweerbaarheid.

Stikstof wordt genoemd als element wat invloed heeft op de gevoeligheid van planten op insecten. Dit element kan zorgen voor een weelderige groei (grote, slappe cellen) waardoor er zwakkere planten ontstaan die volgens de specialisten makkelijk zijn aan te prikken door insecten. Het suikergehalte (brix) in het bladsap wordt ook genoemd als factor die van invloed is op de aantrekkelijkheid van een gewas voor insecten. Er zijn ook verhalen in de praktijk dat bij een lagere stikstofgift je minder last zou hebben van luis, maar dit is niet wetenschappelijk onderbouwd. Eén adviseur heeft zelf gezien dat er verschillen in aantasting waren per gerbera-soort met rupsen met verschillende stikstof-niveaus, maar er is volgens hem meer onderzoek nodig om dit te onderbouwen. Dus er worden linken gezien door de specialisten waarbij nutriënten een rol kunnen spelen in de plantweerbaarheid, echter de wetenschappelijk onderbouwing wordt gemist zodat er nog weinig in de praktijk mee wordt gedaan.

Effecten van bemesting op de gevoeligheid van planten voor schimmels worden wel meer erkend. Laboratorium Nova Crop Control uit Tilburg analyseert in het bladsap van diverse plantorganen de concentratie nitraat (NO₃). Is de concentratie het boven de 50-60 ppm dan blijkt de plant gevoeliger voor schimmels. Ook blijkt uit een proef samen met Delphy dat silicium (mengen door potgrond) in tuinrozen de gevoeligheid voor meeldauw vermindert. De combinaties van vochtigheid en temperatuur zijn ook van invloed op de ontwikkeling van schimmels, weelderige groei kan ook zorgen dat een plant vatbaarder is voor een aantasting Botrytis. Een enkele specialist ziet een relatie tussen nutriënten en het aanslaan en vestigen van natuurlijke vijanden in een gewas. Natuurlijke vijanden zijn in de meeste gevallen insecten of mijt-achtige en verwacht wordt dat een laag stikstofniveau ook invloed zal hebben op de ontwikkeling van deze gunstige bestrijders. In de onderstaande



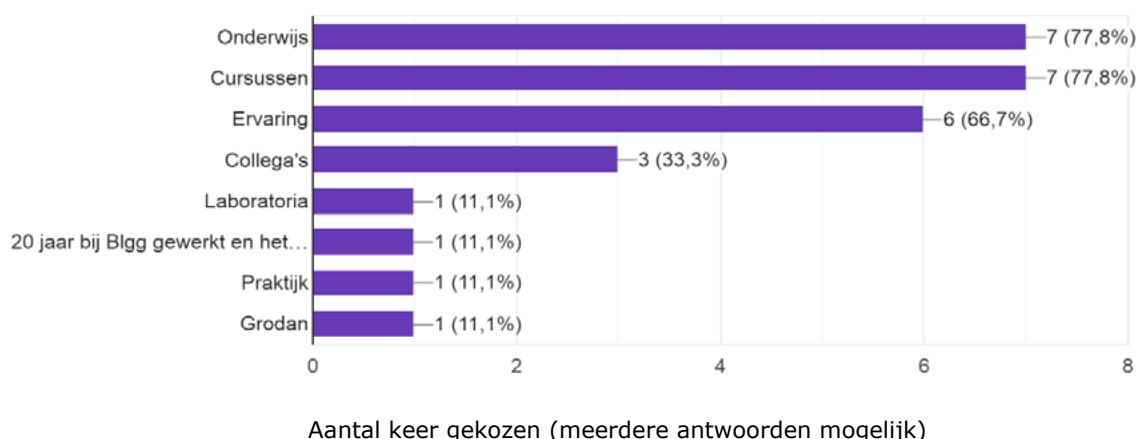
Figuur 3.5 worden de antwoorden van de specialisten weergegeven.

Biostimulanten met een toelating en dus bewezen werking zoals Serenade, Prestop (bij stekken), Asperello/Trianum (bij zaad), Serenade, Mycostop worden wel door een aantal geadviseerd. Maar over het algemeen wordt nog weinig met biostimulanten gewerkt door de ondervraagde specialisten. Reden hiervoor zijn:

- Weet te weinig van de werking. Is nog niet overtuigd, bewijslast moet beter, meer onderzoek nodig.
- Nog steeds geen voordeel van gezien. Als je een goede watergeefstrategie aanhoudt dan is er geen voordeel van biostimulanten. Het vochtgehalte in de mat bepaalt of er goede of slechte schimmels groeien.
- Heeft nog geen goede tools om hier goed in te kunnen adviseren. Vind ook dat biostimulanten meer bij gewasbescherming horen.
- Vind de werking niet homogeen-> niet constant. Er is nog te weinig onderzoek gedaan naar dit soort middelen.
- Kennis hiervan ontbreekt en ze willen onafhankelijk blijven. Het advies laten ze bij de leverancier van producten.
- Is nog niet overtuigd van de werking van biostimulanten. Mist nog achtergrondinformatie en met de proeven die zijn gedaan is zijn nog niet overtuigd.

Hoe is uw bemestingskennis tot stand gekomen?

9 antwoorden



Figuur 3.6 Antwoorden specialisten: tot stand komen bemestingskennis

De samenstelling van de producten zonder toelating, zijn vaak ook niet bekend waardoor specialisten hun vingers hier niet aan willen branden. Wat voeg je precies toe?

Hun klanten hebben wel steeds meer vragen over biostimulanten, dit wordt ook gevoed door de zogenaamde kofferbakverkopers die middelen achterlaten bij telers. En de verhalen van collega-telers die dingen hebben uitgetrueerd met goede maar ook minder goede resultaten. Ook verdwijnen steeds meer chemische middelen, dus wordt er gezocht naar alternatieven (Figuur 3.6).

3.3 Telers

3.3.1 Introductie

In de maanden augustus en september van 2021 zijn totaal 10 telers door Vertify geïnterviewd. Via de vragenlijst, opgesteld in samenspraak met de onderzoekers van Vertify en de WUR, is geprobeerd erachter te komen wat hun kennis is van bemesting in relatie tot plantweerbaarheid in verschillende situaties.

De telers hebben de onderstaande gewassen in hun kas staan:

- Paprika.
- Phalaenopsis.
- Tomaat.
- Chrysant.
- Groene kamerplanten en perkgoed.
- Aubergine..
- Komkommer.
- Gerbera.
- Pot gerbera, poinsettia, Helleborus en Agapanthus.
- Bloeiende potplanten, cyclamen, Franse geraniums.

De enquête is online ingevuld via Google forms. Willekeurige telers zijn via de mail uitgenodigd om aan de enquête mee te doen, na een positieve reactie is er een link gestuurd naar de enquête en deze is door de teler ingevuld.

In de onderstaande hoofdstukken worden de belangrijkste en meest essentiële informatie verkregen uit de interviews besproken. De gehele enquête inclusief de antwoorden wordt beschreven in bijlage 2.

3.3.2 Resultaten

Door de keuze voor een bepaald gewas wordt de keuze voor een substraattype al snel beperkt tot steenwol of kokos. Omdat de vier grote vruchtengroenten gewassen zijn vertegenwoordigd bij deze enquête is steenwol is het meest gebruikte substraattype, gevolgd door potgrond en daarna bark.

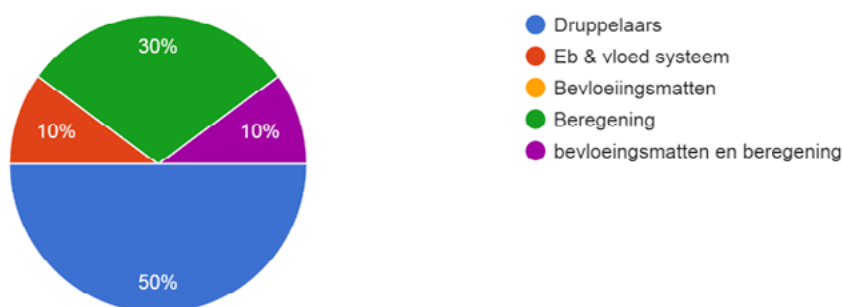
De persoon die verantwoordelijk is voor de bemesting op het bedrijf is op 7 bedrijven van de 10 bedrijven de ondernemer zelf. Slechts bij drie bedrijven wordt deze taak uitgevoerd door een bedrijfsleider die verantwoordelijk is voor de teelt. De persoon die de bemesting in zijn takenpakket heeft maakt ook de voedingsbakken klaar, dit zorgt voor korte lijnen. Een andere methode voor het toedienen van de bemesting via directe injectie. Uit Figuur 3.7 kan worden afgeleid dat druppelaar de meeste toegepaste irrigatiemethode is, hierna volgt beregening.

Figuur 3.7 Irrigatiemethoden.

Uit Figuur 3.8 wordt duidelijk dat vloeibare meststoffen het meeste worden genoemd als type meststof wat wordt gebruikt op de bedrijven naast vaste meststoffen die ook regelmatig worden toegepast. Vloeibare meststoffen zijn vaak enkelvoudig waardoor er specifiek op 1 meststof kan worden gestuurd.

Welke irrigatiemethode gebruikt u?

10 antwoorden



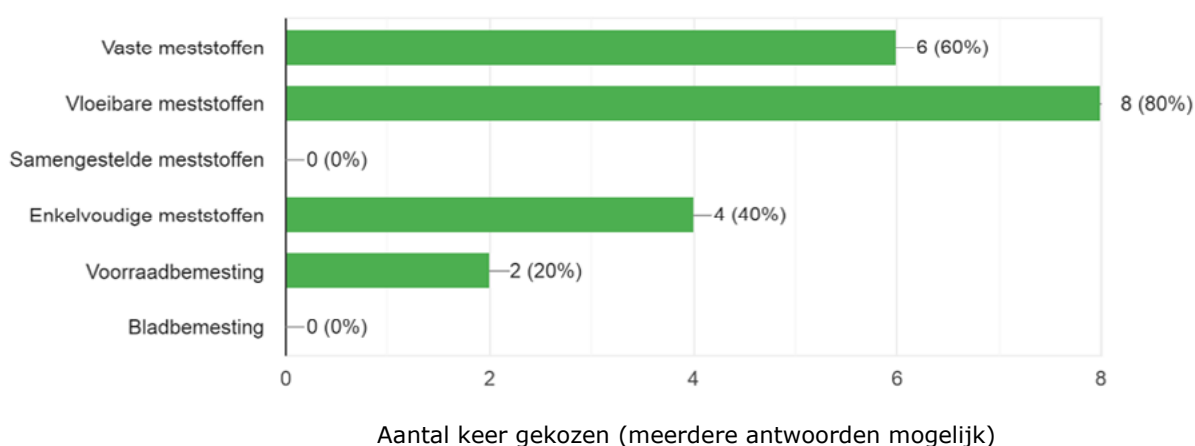
Figuur 3.8 Type meststoffen.

De bekende A- en B-bakken zijn nog steeds de meest gebruikte bemestingsunit. Eén bedrijf heeft zelfs twee units met een A- en B-bak staan, ook is er een bedrijf wat werkt met directe injectie.

Figuur 3.9 laat zien dat alle geïnterviewde telers altijd hemelwater gebruiken als gietwater voor hun planten. Vaak wordt dit aangevuld met osmosewater en drainwater. Ook is er een bedrijf wat overschakelt op slootwater wanneer de bassins leeg zijn.

Welk type meststoffen gebruikt u?

10 antwoorden



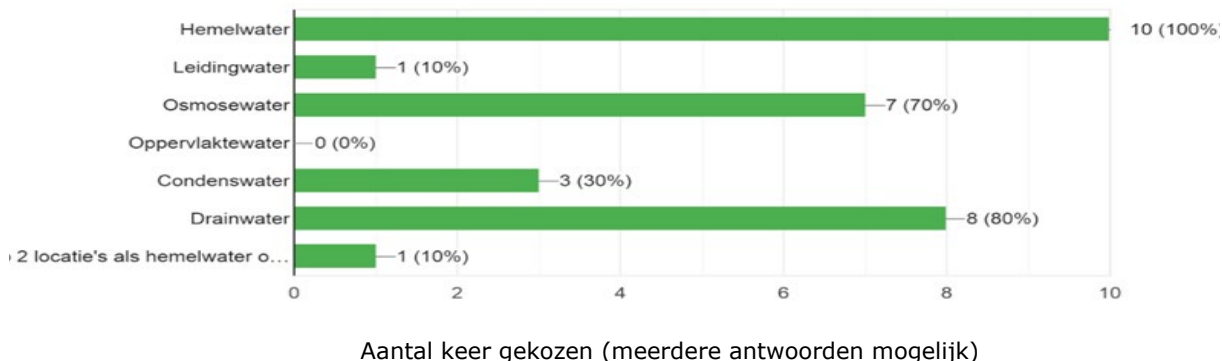
Figuur 3.9 Herkomst gietwater.

UV-ontsmetting is de meest gebruikte methode om het gietwater te ontsmetten (Figuur 3.10). Twee bedrijven kiezen ervoor om het gietwater niet te ontsmetten voordat het naar de planten gaat.

Veertig procent hergebruikt 90 tot 100% van zijn drainwater, de rest van de geïnterviewden zitten onder de 70% hergebruik. Er is geen lijn te halen uit het percentage hergebruik van drain en de manier hoe het gietwater wordt ontsmet.

Wat is de herkomst van uw gietwater?

10 antwoorden

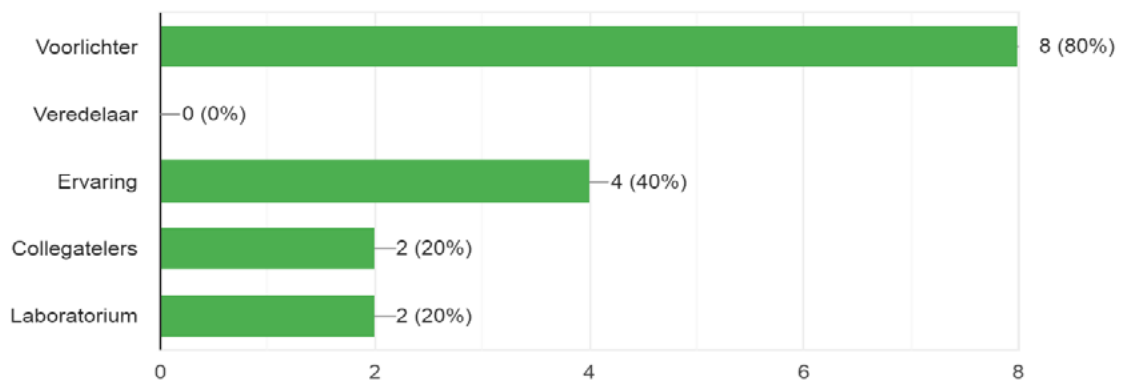


Figuur 3.10 Manier ontsmetten gietwater.

Alle bedrijven krijgen hun voedingsschema aangeleverd via de voorlichter (Figuur 3.11). Vier bedrijven gaan ook af op hun eigen ervaring, maar dan altijd in combinatie met het advies van collega-telers, laboratorium en de voorlichter. Hier blijkt wel uit dat de voorlichter een grote rol speelt bij opstellen van een voedingsschema.

Wat is de herkomst van het standaard voedingsschema?

10 antwoorden



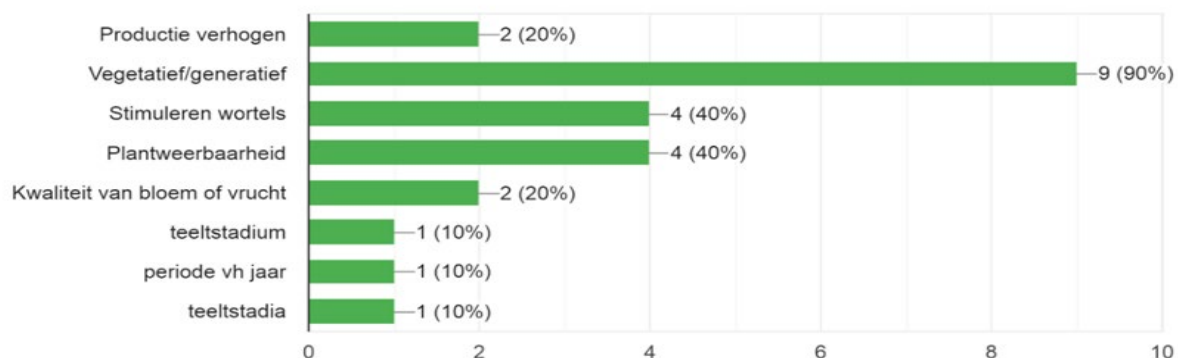
Aantal keer gekozen (meerdere antwoorden mogelijk)

Figuur 3.11 Herkomst standaard voedingsschema.

De huidige voedingsschema's zijn bij 40% ongeveer 1 jaar oud, bij de rest van de bedrijven wisselt de leeftijd van het voedingsschema van 2 weken tot 10 jaar oud. Uit Figuur 3.12 blijkt dat de belangrijkste reden om het voedingsschema aan te passen de gewasontwikkeling is; vegetatief en generatieve fasen.

Wat is/zijn de reden(en) om het standaard voedingsschema aan te passen?

10 antwoorden



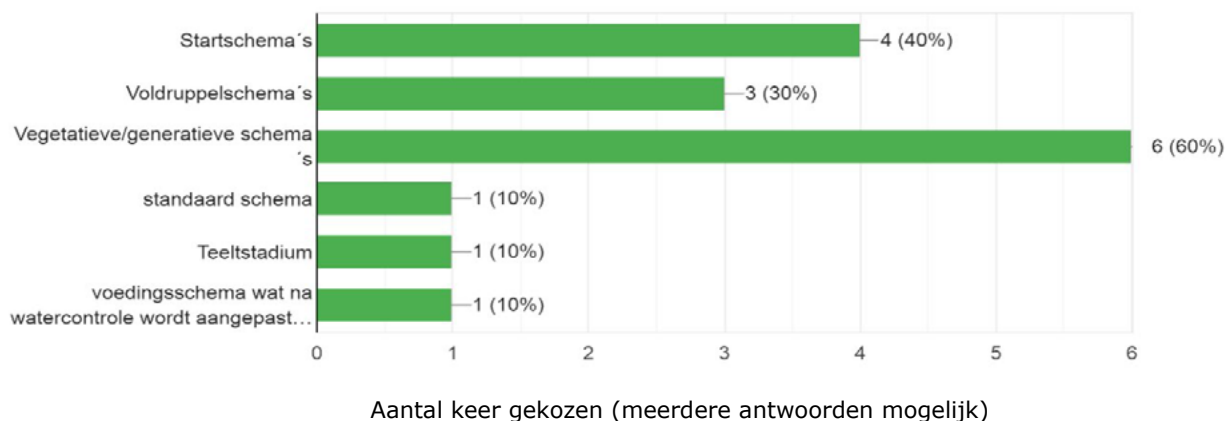
Aantal keer gekozen (meerdere antwoorden mogelijk)

Figuur 3.12 Redenen om voedingsschema aan te passen.

In Figuur 3.13 wordt het vegetatieve en generatieve schema met meeste gekozen en hieruit kan worden geconcludeerd dat dit het belangrijkste schema is om de teelt mee te sturen. Een goede tweede is startschema's, maar als er meerdere gewassen in andere fases van groei in de kas staan zal er toch met gemiddelden waarden moeten worden gewerkt.

Welk(e) schema('s) gebruikt u tijdens de teelt?

10 antwoorden



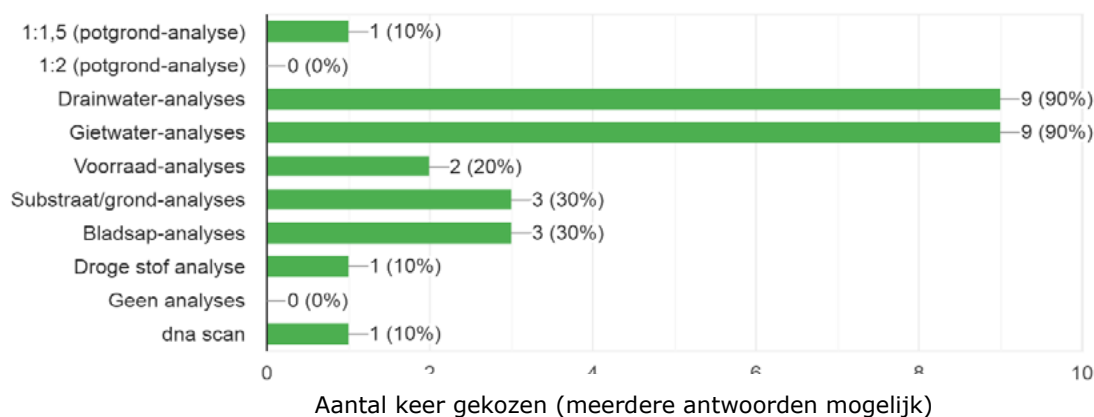
Figuur 3.13 Gebruikte schema's tijdens teelt.

Wat Figuur 3.14 laat zien komt overeen met de antwoorden die de specialisten gaven; drainwater en gietwateranalyse zijn de meest uitgevoerde analyse op tuinbouwbedrijven. Deze worden uitgevoerd door de bekende laboratoria: Groen Agro Controle, Eurofins en Nova Crop Controle. De uitslagen worden gebruikt om bemestingsschema's bij te sturen. Hier wordt eigen ervaring, gewasontwikkeling en het advies van de teeltvoorlichter ook in mee genomen.

De benodigde berekeningen naar aanleiding van een analyse worden bij 7 bedrijven gedaan door de teeltvoorlichter/adviseur. Bij 3 bedrijven doet de verantwoordelijke voor de bemesting dit zelf.

Welke voedingsanalyses laat u uitvoeren?

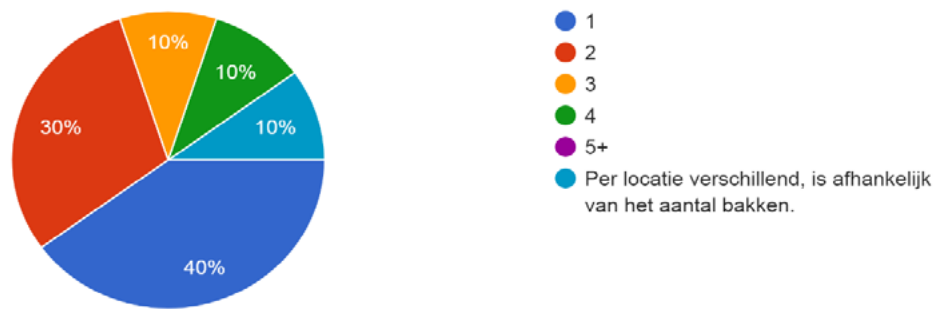
10 antwoorden



Figuur 3.14 Gebruikte voedingsanalyses.

Op 50% van de bedrijven kunnen er verschillende voedingsschema's tegelijk worden gegeven, dit blijkt uit Figuur 3.15. Op 40% van de ondervraagde bedrijven kan 1 voedingsschema worden gegeven.

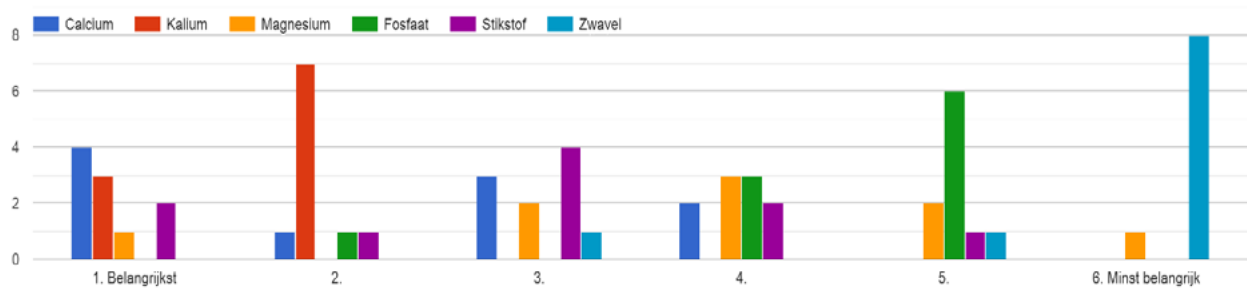
Hoeveel verschillende voedingsschema's kunnen er tegelijkertijd worden gegeven op uw bedrijf?
10 antwoorden



Figuur 3.15 Hoeveelheid voedingsschema's.

Calcium (Ca) is volgens de meeste telers het belangrijkste hoofdelement in de glastuinbouw (Figuur 3.16). Andere hoofdelementen zoals kalium (K) en stikstof (N) worden ook als zeer essentieel ervaren

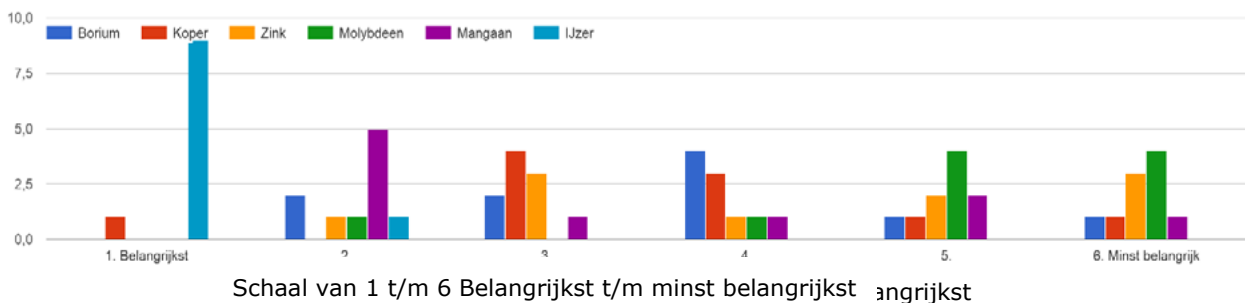
Geef hieronder in volgorde aan welke hoofdelementen u het liefst wil sturen uw teelt. Begin met het belangrijkste element.



Figuur 3.16 Hoofdelementen in mate van belangrijkheid.

voor een sterke gewasontwikkeling. Zwavel (S) en ook fosfaat wordt door hen als minst belangrijke elementen gezien.

Ervaring en gevoel wordt genoemd als reden om specifiek voor deze volgorde te kiezen. Maar de kalium/calcium (K/Ca) verhouding is ook belangrijk en kalium dan met name voor de generatieve fase. Eén teler geeft aan dat hij alles in de juiste verhouding belangrijk vindt.



Figuur 3.17 Spoorelementen in mate van belangrijkheid.

Op de vraag welke spoorelementen ook belangrijk zijn voor een sterk en weerbaar gewas werd door bijna alle telers ijzer (Fe) genoemd, ook mangaan (Mn) werd regelmatig genoemd (Figuur 3.17).

De vorm waarin stikstof wordt gegeven is divers, zie hieronder:

- Salpeterzuur en Calciumnitraat.
- Nitraat.
- Kalisalpeter, kalksalpeter en magnesiumnitraat.
- Nitrakal, Magnitra, Amntra.
- Ammoniumnitraat, Salpeterzuur.

Fosfaat wordt in onderstaande vormen gegeven:

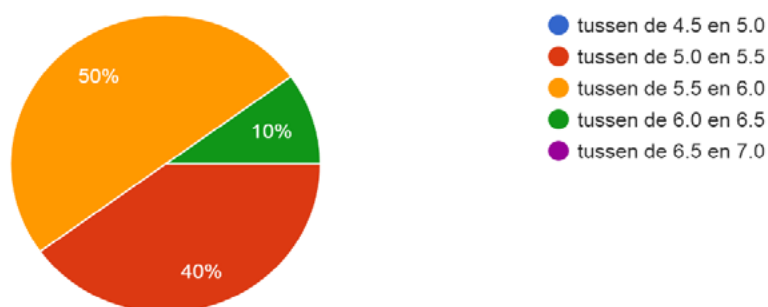
- Fosforzuur.
- Bitterzout.
- Mono kalium fosfaat (MKP) en optiphos.
- Tripel super en mono ammonium fosfaat.
- Monokalifosfaat.
- BFK.
- Fosforzuur.

Andere stoffen en elementen zoals silicium, natrium en chloor worden ook als belangrijk beschouwd.

Uit Figuur 3.18 blijkt dat de pH van het gietwater bij 50% van de bedrijven ligt tussen de 5,5 en 6,0. De rest zit of er net boven of net onder.

Wat is de pH van uw gietwater?

10 antwoorden

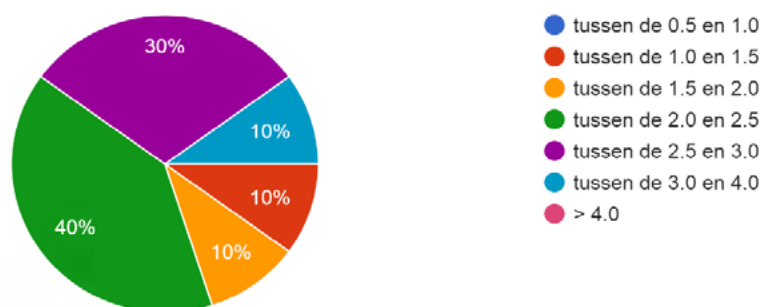


Figuur 3.18 pH van het gietwater.

Te geven EC in het gietwater is wat wisselender in vergelijking met de pH (Figuur 3.19) de meeste bedrijven houden een EC aan tussen de 1,5 en 2,5 aan.

Wat is de EC van uw gietwater?

10 antwoorden



Figuur 3.19 EC van het gietwater.

Op de vraag waar de telers aan denken bij plantweerbaarheid worden regelmatig een sterke plant, natuurlijke weerstand en energiebalans genoemd. En iedereen denkt wel dat er een link is tussen de weerbaarheid van de plant en de bemesting. De meeste bedrijven proberen hier rekening mee te houden tijdens het opstellen van het bemestingsplan, twee bedrijven doen dit helemaal niet. Zelf zien de bedrijven weinig werkelijk effect van de link tussen bemesting en de gevoeligheid van planten voor insecten, terwijl er wel positieve ervaringen zijn vanuit de praktijk, hierbij worden andere bedrijven aangehaald die hiermee hebben geëxperimenteerd.

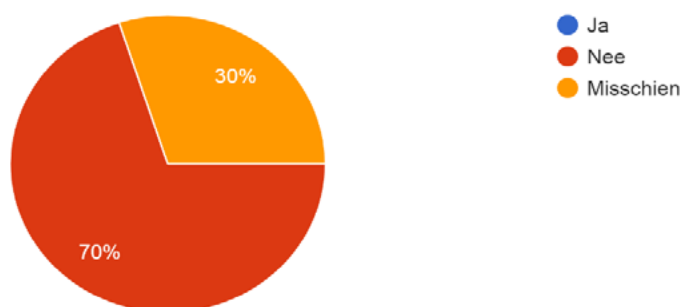
Met de effecten van bemesting en gevoeligheid van planten op schimmels zijn wel meer eigen ervaringen:

- Jazeker, meer stikstof dan meer Fusarium en dus meer uitval.
- Onjuiste verhouding van elementen, ook ten opzichte van EC, geeft gevoelig gewas.
- Weinig sulfaat is meer rot, fosfaat bepaald bloemkwaliteit.
- Aantal middelen helpt wel bij preventieve aanpak van meeldauw.
- Als de plant te weinig nutriënten krijgt groeit tie net niet lekker en daardoor is die vatbaarder voor schimmels en insecten.

Uit Figuur 3.20 blijkt dat bijna niemand effect ziet tussen de bemesting en het aanslaan van natuurlijke vijanden.

Ziet u effect tussen bemesting en het aanslaan van natuurlijke vijanden?

10 antwoorden



Figuur 3.20 Effect bemesting en natuurlijke vijanden.

Zeven van de 10 bedrijven maakt gebruik van biostimulanten. Producten die genoemd worden zijn:

- Theo vd Knaap pakket.
- Trianum.
- Serenade.
- Sonata.
- Hi cure nutricin.
- Algan root en schoot.

De samenstelling van deze middelen zijn niet altijd bekend bij de gebruikers. Drie bedrijven geven aan dat ze vinden dat ze te weinig weten over de werkzame stoffen van de biostimulanten. De rest gebruiken algemene termen voor de stoffen zoals bacteriën, sporen en algen. Twee bedrijven geven aan dat ze wel de exacte samenstelling weten van de door hun gebruikte biostimulanten.

Uit de onderstaande Figuren 3.21 en 3.22 kan worden geconcludeerd dat er nog zeker behoefte is aan meer kennis over bemesting en dat ze ook denken meer te kunnen bereiken met deze kennis.

Vindt u dat u voldoende bemestingskennis heeft?

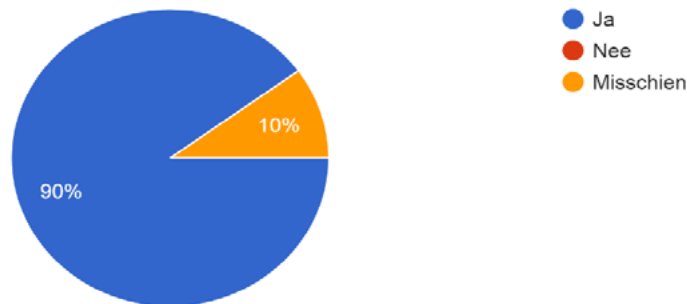
9 antwoorden



Figuur 3.21 Voldoende bemestingskennis.

Denkt u met meer kennis over bemesting meer te kunnen bereiken ?

10 antwoorden

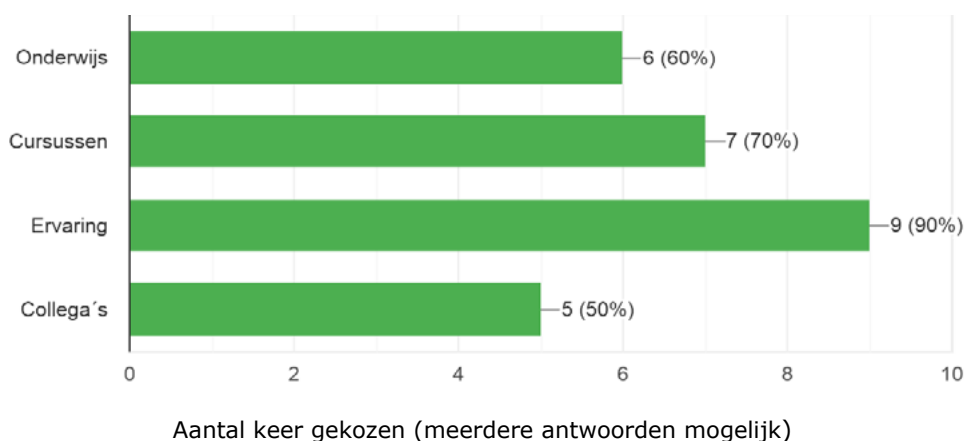


Figuur 3.22 Meer bereiken met meer kennis.

Op de vraag wat de telers denken te kunnen bereiken met extra kennis over bemesting worden de volgende dingen genoemd:

- Betere weerbaar gewas en uiteindelijk een kostenbesparing en een hogere productie.
- Door te weten wanneer de plant welke meststoffen nodig heeft, je een optimale bemesting kan geven waardoor de plant optimaal groeit en weerbaarder wordt.
- Weerbaarheid, productie en kostenbesparing.
- Nu wordt het bemesting schema opgesteld in overleg met specialist, kan ik dat zelf beter (denk van niet)?
- Iets beter sturen of beter begrijpen waarom ze bepaald advies krijgen.
- Meer inspelen op behoefte van de plant in verschillende groeistadia en weersomstandigheden.
- Gezond gewas onder verschillende omstandigheden.
- Betere sturing wat de plant nodig heeft qua nutriënten. Daarnaast is er wat te halen in het vitaler maken van het gewas. Dat zorgt weer voor betere bescherming tegen ziekten en plagen.
- Weerbaarder.
- Dat je beter weet wat de kunstmest doet met de plant en dat je dan beter kan sturen in wat de plant nodig heeft.

Bemestingskennis komt het meeste telers bij opgedane ervaring, cursussen en onderwijs vandaan (Figuur 3.23). De basiskennis komt vooral van middelbare en hoger tuinbouw onderwijs en een aantal telers hebben nog extra cursussen gevolgd om hun kennis over bemesting te vergroten.



Figuur 3.23 Bemestingskennis telers.

3.4 Discussie en conclusies

Er werd verwacht dat er bij de doelgroepen nog (te) weinig kennis is op het gebied van bemesting en de relatie tot plantweerbaarheid. Uit de resultaten van de enquête gehouden bij de zowel de specialisten als de telers kan worden geconcludeerd dat dit inderdaad het geval is. Het kennisniveau over de effecten van nutriënten op plantweerbaarheid is in het algemeen te laag. Meer onderzoek is gewenst met vooral een praktische insteek.

3.4.1 Specialisten

De meeste geïnterviewde specialisten willen zeker meer weten over de relatie tussen bemesting en plantweerbaarheid. Voor hun gevoel hebben ze nu te weinig kennis en bewijs hoe dit werkt. Hun klant vraagt ook meer om een weerbaardere teelt strategie omdat het pakket van gewasbeschermingsmiddelen steeds kleiner wordt. Als er kan worden gezorgd dat een plant minder vatbaar is voor ziekten of plagen kan dit een oplossing zijn voor het krimpemde middelenpakket. Maar ze vragen heel duidelijk om meer betrouwbaar onderzoek waarin de verbanden met meststoffen en plantweerbaarheid duidelijk worden.

De enquêtes gehouden onder de specialisten geeft de volgende resultaten:

- Ze werken bijna allemaal met het basis bemestingsadvies opgesteld door Proefstation Naaldwijk en dit wordt aangepast naar aanleiding van analyses.
- Specialisten sturen voornamelijk op uitslagen drainanalyses. Cijfers van het drainwater zijn vooral leidend voor de aanpassingen op het schema. Bij gebrek verschijnselen in de plant ben je te laat.
- Tijdens de teelt is het belangrijk om verschillende basisschema's aan te houden zoals voldruppel, vegetatief en generatief.
- Calcium en stikstof zijn volgens de meeste specialisten de belangrijkste elementen in de glastuinbouw. Andere hoofdelementen zoals kalium en fosfor worden ook als zeer essentieel ervaren voor een sterke gewasontwikkeling. IJzer wordt genoemd als belangrijkste spoorelement. Chloor en het element silicium komen naar voren als elementen die ook invloed hebben op de plantweerbaarheid.
- Er worden linken gezien door de specialisten waarbij nutriënten een rol kunnen spelen in de plantweerbaarheid, echter de wetenschappelijk onderbouwing wordt gemist zodat er nog weinig in de praktijk mee wordt gedaan.

3.4.2 Telers

Telers willen een kwalitatief goed product afleveren en als dit in houdt dat dit met weerbaar telen en biostimulanten kan worden bereikt dan zullen ze dit zeker gaan toepassen. Maar de kennis hoe dit moet worden toegepast moet vooral bij hun adviseur/specialist vandaan komen, hier hebben ze namelijk vertrouwen in. De conclusie die hieruit kan worden getrokken is dat telers de mening van hun adviseur belangrijk vinden, dus deze adviseurs/specialisten meer informatie geven is een goede manier om deze kennis ook bij telers te krijgen.

Bij de 10 ondervraagde telers komen de volgende belangrijke resultaten uit de enquête naar voren:

- De persoon die verantwoordelijk is voor de bemesting op het bedrijf is op 7 bedrijven van de 10 bedrijven de ondernemer zelf.
- Calcium is volgens de meeste telers het belangrijkste hoofdelement in de glastuinbouw. Andere hoofdelementen zoals kalium en stikstof worden ook als zeer essentieel ervaren voor een sterke gewasontwikkeling. Spoorelementen die belangrijk zijn voor een sterk en weerbaar gewas zijn volgens telers ijzer maar ook mangaan werd regelmatig genoemd. Dit komt voor een groot deel overeen met wat de specialisten zeggen. Zwavel en ook fosfor wordt door telers als minst belangrijkste voedingselementen gezien.
- Bijna niemand ziet effect tussen de bemesting en het aanslaan van natuurlijke vijanden.
- Iedereen denkt wel dat er een link is tussen de weerbaarheid van de plant en de bemesting.
- Drainwater- en gietwateranalyse zijn belangrijke instrumenten om mee te sturen
- Er is zeker behoefte aan meer kennis over bemesting en er wordt ook gedacht dat er meer bereikt kan worden met deze kennis. Kennis waar nu mee wordt gewerkt komt vooral van scholing.
- Telers vinden de mening van hun adviseur/specialist belangrijk, dus deze groep meer informatie geven is een goede manier om deze kennis ook bij telers te krijgen.

Aangezien deze enquête maar onder een beperkt aantal telers is gehouden, zijn de resultaten van deze groep mogelijk niet geldend voor de 'groep' telers. In het verlengde hiervan is de diversiteit van de gewassen ook minder groot dan gewenst. Hierdoor kunnen er vraagtekens worden gezet bij de validiteit en de betrouwbaarheid van de antwoorden van deze groep.

De manier van de vraagstelling in de enquête was niet altijd voor iedereen duidelijk. Dit kan worden ondervangen door het persoonlijk afnemen van een enquête. Op deze manier kan er worden doorgevraagd waarom er een bepaald antwoord wordt gegeven en kan er een uitleg worden gegeven bij een vraag. Ook is ruimte om een meerkeuze antwoord te kunnen toelichten van toegevoegde waarde.

4 Kennisinteractie

4.1 Introductie

In het kader van de kennisinventarisatie is naast de het literatuuronderzoek en de enquête een zogenaamde kennisinteractie gehouden. Voor deze bijeenkomst op 23 November 2021 op de locatie van het World Horti Center waren gericht een aantal partijen met interesse rond dit thema uitgenodigd, namelijk adviseurs (teelt-, gewasbescherming, bemesting), onderzoekers van kennispartijen, veredelaars, telers, producenten van potgrond en van meststoffen. Het doel van de bijeenkomst was te reflecteren op de resultaten van het literatuuronderzoek en van de enquête die is gehouden onder adviseurs en telers en te discussiëren over de vraag welke combinaties van nutriënten en ziekten/plagen interessant zijn om verder te onderzoeken met oog op de perspectieven richting een uiteindelijke toepassing. Tijdens de kennisinteractie zijn de resultaten van het literatuuronderzoek en de enquête eerst kort gepresenteerd en vervolgens is aan de hand van een aantal stellingen discussie gevoerd in kleine groepen. De bevindingen van deze groep discussies zijn vervolgens in een plenair teruggekoppeld en besproken.

4.2 Stellingen

De volgende stellingen zijn in vier groepen besproken:

Stelling 1: Bij gerichte sturing op ziekte-en plaagonderdrukking zijn niet alleen de afzonderlijke elementen van belang, het gaat ook om de onderlinge balans van nutriënten

- De balans tussen nutriënten is voor de plantenvoeding erg belangrijk, het verlagen of verhogen van ene element kan effect hebben op de andere elementen.
- Een aantal telers zien verlaging van de luispopulatie als er een lagere stikstof niveau wordt aangehouden.
- Extra Calcium kan soms Chloor schade veroorzaken
- Spoorelementen kunnen onafhankelijk van elkaar verhoogd worden, daar is speelruimte dus veel groter dan bij de hoofdelementen.
- Verhoging van koper (Cu) geeft minder schimmels en bacteriën in wortels, ook lijkt er een effect op minder bewaarziekten bij tomaat.

Stelling 2: Bemesting is een veelbelovend sturingsmechanisme voor verhoogde plantweerbaarheid

- Deze stelling klopt!
- De balans tussen de individuele elementen moet vooral kloppen.
- De verhouding tussen elementen is belangrijker dan het individuele element.
- Organische meststoffen hebben veel potentie, ondanks dat de samenstelling daarvan sterk kan fluctueren.
- In Nederland is het niveau van de teelt al zo hoog dat de effecten van aanpassingen aan de bemesting beperkt blijven tot maximaal 2%.

Stelling 3 Silicium schakelt meerdere verdedigingsmechanismen aan en heeft de meeste potentie om de gevoeligheid voor ziektes en plagen te beïnvloeden

- Is beperkt tot monocotylen en een aantal dicotyle gewassen zoals roos en komkommer.
- Bij aardbei bleek hoog Silicium albinovruchten te veroorzaken.
- Een lage pH in de drain (< 6) leidt tot oplossing van Si uit steenwol.
- Er is een groot verschil in effect tussen gewassen.
- Via de wortelopname is er de sterkste impact, maar in perioden met weinig verdamping is er weinig silicium aanvoer en heeft spuiten mogelijk effect.
- Is het aanschakelen van de verdedigingsmechanismen van de plant wel mogelijk als er altijd al een basisniveau silicium aanwezig is.
- Silicium heeft zeker niet de hoogste potentie.

Stelling 4: Mogelijk verlies van opbrengst als gevolg van lagere stikstofgift verdient zich terug door betere kwaliteit van het gewas

- Chemische bestrijding kost ook productie, dus kan verlaging van stikstof in effect positief zijn.
- Lagere stikstof bemesting hoeft niet persé lagere opbrengst te betekenen
- Acceptatie door telers zal gering zijn. Mogelijk liggen er wel aanknopingspunten voor de veredeling.

Stelling 5: In tegenstelling tot stikstof zal verlaging van kalium géén praktisch toepasbare effecten op ziekten en plagen geven, daarom is onderzoek hiernaar niet nuttig

- De verhouding tussen stikstof en kalium is erg belangrijk.
- De effecten van kalium zijn ook sterk gekoppeld aan de watergeef-frequentie.
- Kalium/Calcium verhouding is erg belangrijk om de productkwaliteit optimaal te maken.
- Kalium te kort leidt gauw tot gebrek aan kwaliteit.
- Praktijkervaring: Komkommerbont-virus kun je bestrijden door groei te stimuleren en dat kan bij juist lagere kalium gift (30 jaar praktijkervaring)
- In tegenstelling tot de algemene verwachting gaat de smaak van cherrytomaat juist omhoog bij minder kalium.
- Hoger kalium geeft groenere komkommers.

Stelling 6: Dat in de praktijk maar beperkt met nutriënten wordt gestuurd op plantweerbaarheid komt voornamelijk door een gebrek aan theoretische kennis

- Het Kennisniveau (basiskennis) is in het algemeen veel te laag.
- We moeten reeds uitgevoerd praktijkonderzoek weer naar boven halen.
- Bemesting blijft maatwerk; per gewas en groeistadium afhankelijk.
- Bij Roos wordt bijvoorbeeld silicium toegepast, maar het is onduidelijk of dit werkt.
- Meer watergift (i.v.m. meer verdamping) zorgt voor grote verschillen in de opname.
- Directe sturing op de dag op EC zou een grote winst zijn.
- Bemestingsschema's zijn niet altijd dekkend voor praktijksituaties (gevoel) mede door kennis niet bij telers aanwezig.
- In de praktijk worden nutriënten vooral op het gevoel gestuurd.
- In sector kan nog veel bijgeleerd worden op het gebied van nutriënten.
- Tot nu toe is bij onderzoek alleen gekeken naar de effecten op productie en kwaliteit en niet op weerbaarheid.
- Bemestingsadviezen van de laboratoria zijn niet specifiek genoeg voor de teeltsituatie.
- Plantsap en drainwater geven een verschillend beeld.
- Welke technieken zouden in de toekomst een beter beeld kunnen geven van (dreigende) nutriënten tekorten?

4.3 Plenaire terugkoppeling

Tijdens de plenaire sessie, waar een terugkoppeling vanuit de groepen op de stellingen werd gegeven werd op een aantal van de opmerkingen gereageerd. Samengevat kwamen deze neer op het volgende:

Door meerdere personen werd aangegeven dat de verhouding tussen voedingselementen belangrijker is dan het effect van de individuele elementen op plantweerbaarheid. Er kan echter gemakkelijk spraakverwarring ontstaan door onjuiste formuleringen. Bij hoofdelementen is er namelijk altijd sprake van verhoudingen, aangezien de concentraties onderdeel zijn van een geheel: de voedingsoplossing, die een bepaalde EC-waarde heeft, waarbij verhoging of verlaging van een kation, of een anion ook altijd effect zal hebben op alle andere kat- of anionen. Als er bijvoorbeeld een hoger calcium wordt geadviseerd, wordt er geen rekening mee gehouden dat chloride zal meekomen via calciumchloride, en met de verhoogde EC zullen ook bladranden ontstaan.

Over het element Koper: De effecten van koper zijn zeer beperkt. Alleen toegepast in de vorm van een 'papje' of spuiten zijn er bovengronds positieve effecten. De concentratie koper is in deze gevallen ook vele malen hoger. Echter een hoge concentratie koper in het wortelmilieu kunnen symptomen van wortelrot veroorzaken. Er werden een aantal voorbeelden van gevallen van schade uit de praktijk genoemd.

Kalium: Er zijn duidelijke verschillen in effecten per gewas. Bij komkommer is er een positief effect gezien van lager kalium, (kommerbontvirus wordt onderdrukt). Maar hoog Kalium werkt positief op kwaliteit van vruchtgroenten. Echter typisch bij cherrytomaten is er juist een negatief effect op de smaak bij hoog Kalium. Opgemerkt werd ook dat de irrigatiestrategie bij K een belangrijke rol kan spelen.

Over organische bemesting vs standaard is opgemerkt dat eventuele effecten op plantweerbaarheid niet los te zien zijn van effecten op het geheel van het microbiom. Het is daarom waarschijnlijk dat het niet zozeer de minerale componenten zijn die de effecten veroorzaken. Welke stikstof vorm wordt gebruikt is daarbij ook belangrijk te weten.

Veel discussie was er over de rol van silicium. Het effect en het werkingsmechanisme van silicium op plantweerbaarheid is niet altijd duidelijk en is ook veel informatie in omloop die eerder gevoed wordt door 'marktpartijen' dan gebaseerd is op wetenschappelijk verantwoorde experimenten. Er zijn ook verwarrende en soms ook tegenstrijdige signalen, de effecten van Si op albino's bij aardbeien zijn evident, maar de effecten dat dit ook door K zou kunnen komen kan ook gebaseerd zijn op de soort silicium meststof (kalimetasilicaat). Een belangrijke conclusie op dit punt was dat er voor een aantal gewas-ziekte combinaties, onder ander voor meeldauw, wel degelijk een rol is weggelegd, maar dat voor heel veel andere tuinbouwgewassen het allerm minst vaststaat dat silicium dosering iets doet.

Tenslotte werd gezamenlijk geconstateerd dat het kennisniveau over de effecten van nutriënten op plantweerbaarheid beperkt is en dat meer onderzoek gewenst is. Hierbij is vooral een praktische insteek gewenst.

Bijlage 1 Enquête bemesting specialisten

Welkom bij deze enquête over bemesting. Deze enquête wordt afgenomen door Vertify bij verschillende specialisten. De resultaten uit deze enquête geven een beeld over de advisering in bemesting door verschillende specialisten

Algemeen

1. In welke regio/land geeft u bedrijven advies over bemesting?
2. In welke gewassen geeft u bemestingsadvies?
3. Wat is het grootste gewas waar u in adviseert?
Meeste klanten of meeste ha.
4. Welke typen substraat worden door uw klanten toegepast?
Bij meerdere substraattype benoem ze allemaal (incl. samenstellingen).

Bemesting

5. Welke type meststoffen hebben uw voorkeur?
Meerdere antwoorden mogelijk. Vink alle toepasselijke opties aan.

- ☐ Vaste meststoffen
- ☐ Vloeibare meststoffen
- ☐ Samengestelde meststoffen
- ☐ Enkelvoudige meststoffen
- ☐ Voorraadbemesting
- ☐ Bladbemesting
- ☐ Geen voorkeur

Anders: ☐ _____

6. Werkt u met standaard voedingsschema's? Zo ja, wat is de basis geweest van deze schema's?
Meerdere antwoorden mogelijk. Vink alle toepasselijke opties aan.

- ☐ Veredelaar
- ☐ Ervaring
- ☐ Collega adviseurs
- ☐ Laboratorium

Anders: ☐ _____

7. Hoe oud zijn deze voedingsschema's? Kies 1 antwoord.
Markeer slechts één ovaal.

- ☐ 10+ jaar oud
- ☐ 5+ jaar oud
- ☐ 1+ jaar oud
- ☐ < 1 jaar oud
- ☐ Anders: _____

8. Welk(e) schema('s) adviseert u tijdens de teelt?

Meerdere antwoorden mogelijk. Vink alle toepasselijke opties aan.

- ☐ Startschema's
- ☐ Voldruppelschema's
- ☐ Vegetatieve/generatieve schema's

Anders: ☐ _____

9. Met welke voedingsanalyses werkt u?

Meerdere antwoorden mogelijk. Vink alle toepasselijke opties aan.

Vink alle toepasselijke opties aan.

- ☐ 1:1,5 (potgrond-analyse)
- ☐ 1:2 (potgrond-analyse)
- ☐ Drainwater-analyses
- ☐ Gietwater-analyses
- ☐ Voorraad-analyses
- ☐ Substraat/grond-analyses
- ☐ Bladsap-analyses
- ☐ Geen analyses

Anders: ☐ _____

10. Wat is de belangrijkste indicator om wijzigingen aan te brengen in het voedingsschema?

Meerdere antwoorden mogelijk. Vink alle toepasselijke opties aan.

- ☐ Matige wortelontwikkeling
- ☐ Slechte bovengrondse groei
- ☐ Bladkleur verandering
- ☐ Slechte zetting
- ☐ Slechte bloeminductie
- ☐ Bloemkwaliteit
- ☐ Productie
- ☐ Smaak
- ☐ Vruchtgewicht

Anders: ☐ _____

11. Geef hieronder in volgorde aan welke hoofdelementen het belangrijkste zijn in de teelten waarin u adviseert.
Begin met het belangrijkste element.
Meerdere antwoorden mogelijk. Markeer slechts één ovaal per rij.

	Calcium	Kalium	Magnesium	Fosfaat	Stikstof	Zwavel
1. Belangrijkst	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
2.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
3.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
4.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
5.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
6. Minst belangrijk	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

12. Geef hieronder in volgorde aan welke sporenelementen het belangrijkste zijn in de teelten waarin u adviseert.
Begin met het belangrijkste element.
Meerdere antwoorden mogelijk. Markeer slechts één ovaal per rij.

	Borium	Koper	Zink	Molybdeen	Mangaan	Ijzer
1. Belangrijkst	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
2.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
3.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
4.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
5.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
6. Minst belangrijk	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

13. Zijn er naast deze elementen nog andere elementen die u belangrijk vindt

Meerdere antwoorden mogelijk

- ☐ Silicium
- ☐ Natrium
- ☐ Chloor
- ☐ Anders...

14. Welke variaties maakt u gedurende de teelt in de EC van het gietwater?

15. Welke variaties maakt u gedurende de teelt in de pH van het gietwater?

Relatie tussen bemesting en plantweerbaarheid

16. Ziet u effecten van bemesting op gevoeligheid van planten voor insecten? Zo ja, leg uit.

17. Ziet u effecten van bemesting op gevoeligheid van planten voor schimmels? Zo ja, leg uit.

18. Is er een relatie tussen voeding en het aanslaan van natuurlijke vijanden?

☐ Ja

☐ Nee

☐ Misschien

☐ Anders...

19. Adviseert u het gebruik van biostimulanten? Zo ja, welke?

20. Maakt u nog onderscheid in biostimulanten met toelating of zonder toelating?

21. Hoe weet u wat de samenstelling van deze biostimulanten zijn?

22. De kijk op bemesting en plantweerbaarheid is aan het veranderen de laatste jaren. Ziet u dit ook terug in de vragen die uw klanten stellen. Zo ja, op wat voor manier?

Kennis

23. Hoe is uw bemestingskennis tot stand gekomen?

Meerdere antwoordden zijn mogelijk. Vink alle toepasselijke opties aan.

☐ Onderwijs

☐ Cursussen

☐ Ervaring

☐ Collega's

Anders: ☐ _____

Overige vragen

24. Stelling: Deze manier van enquêtering was duidelijk en overzichtelijk voor mij.

☐ Helemaal mee eens

☐ Enigzins mee eens

☐ Neutraal

☐ Enigzins mee oneens

☐ Helemaal mee oneens

25. Zijn er nog overige punten die u kwijt wilt?

Bijlage 2 Enquête bemesting telers

Welkom bij deze enquête over bemesting. Deze enquête wordt afgenomen door Vertify bij verschillende telers. De resultaten uit deze enquête geven een beeld over de bemesting bij verschillende telers en de kennis ervan. Alle verkregen informatie wordt vertrouwelijk behandeld.

Algemeen

1. In welke regio/is uw bedrijf gevestigd?
2. Wat is de teelt oppervlakte van uw bedrijf in hectare ?

Teelt

3. Welk gewas of gewassen worden op het bedrijf geteeld?
4. Welk substraattypen gebruikt u?

Bemesting

5. Wie is er verantwoordelijk voor de bemesting?
6. Maakt deze persoon de voedingsbakken aan?
7. Welke irrigatiemethode gebruikt u?

- ☐ Druppelaars
- ☐ Eb & vloed systeem
- ☐ Bevoeiingsmatten
- ☐ Beregening
- ☐ Anders...

8. Welk type meststoffen gebruikt u?

- ☐ Vaste meststoffen
- ☐ Vloeibare meststoffen
- ☐ Samengestelde meststoffen
- ☐ Enkelvoudige meststoffen
- ☐ Voorraadbemesting
- ☐ Bladbemesting
- ☐ Anders...

9. Welke type bemestingsunit gebruikt u?

10. Wat is de herkomst van uw gietwater?

- ☐ Hemelwater
- ☐ Leidingwater
- ☐ Osmosewater
- ☐ Oppervlaktewater
- ☐ Condenswater
- ☐ Drainwater
- ☐ Anders...

11. Op welke manier wordt dit water ontsmet?

- ☐ UV-ontsmetting
- ☐ Ozon-ontsmetting
- ☐ Verhitting
- ☐ Anders...

12. Welk percentage van het drainwater wordt hergebruikt?

- ☐ 0-10%
- ☐ 11-20%
- ☐ 21-30%
- ☐ 31-40%
- ☐ 41-50%
- ☐ 51-60%
- ☐ 61-70%
- ☐ 71-80%
- ☐ 81-90%
- ☐ 91-100%

13. Wat is de herkomst van het standaard voedingsschema?

- ☐ Voorlichter
- ☐ Veredelaar
- ☐ Ervaring
- ☐ Collegatiers
- ☐ Laboratorium
- ☐ Anders...
- ☐ Optie toevoegen

14. Hoe oud is het huidige voedingsschema?

- ☐ 10+ jaar oud
- ☐ 5+ jaar oud
- ☐ 1+ jaar oud
- ☐ <1 jaar oud
- ☐ Anders...
- ☐ Optie toevoegen

15. Hoe vaak is het standaard voedingsschema de afgelopen 10 jaar aangepast?

- ☐ Niet
- ☐ Eén keer
- ☐ Een paar keer (2-5)
- ☐ Bijna jaarlijks
- ☐ Jaarlijks
- ☐ Meermaals per jaar
- ☐ Anders...

16. Hoe vaak wordt het standaard voedingsschema tijdens een teeltperiode aangepast?

- ☐ Niet
- ☐ 1 keer
- ☐ 2-4 keer
- ☐ 5-10 keer
- ☐ 10+ keer
- ☐ Anders...

17. Wat is/zijn de reden(en) om het standaard voedingsschema aan te passen?

Meerdere antwoorden zijn mogelijk.

- ☐ Productie verhogen
- ☐ Vegetatief/generatief
- ☐ Stimuleren wortels
- ☐ Plantweerbaarheid
- ☐ Kwaliteit van bloem of vrucht
- ☐ Anders...

18. Welk (e) schema('s) gebruikt u tijdens de teelt?

Meerdere antwoorden mogelijk

- ☐ Startschema's
- ☐ Voldruppelschema's
- ☐ Vegetatieve/generatieve schema's
- ☐ Anders...
.....

19. Welke voedingsanalyses laat u uitvoeren?

Meerdere antwoorden zijn mogelijk.

- ☐ 1:1,5 (potgrond-analyse)
- ☐ 1:2 (potgrond-analyse)
- ☐ Drainwater-analyses
- ☐ Gietwater-analyses
- ☐ Voorraad-analyses
- ☐ Substraat/grond-analyses
- ☐ Bladsap-analyses
- ☐ Droge stof analyse
- ☐ Geen analyses
- ☐ Anders...

20. Welk lab voert deze analyses uit?

21. Wat zijn uw ervaringen met deze analyses? (Wat doet u met de informatie? Wat vindt u van de resultaten uit de analyse? Volgt u het advies op?)

22. Op basis waarvan worden de aanpassingen in het standaard voedingsschema gedaan?

Denk aan: ervaring, gewasontwikkeling, advies teeltvoorlichter, lab.

- ☐ Ervaring
- ☐ Gewasontwikkeling
- ☐ Advies teeltvoorlichter
- ☐ Nieuwe kennis
- ☐ Anders...

23. Door wie worden de benodigde aanpassingen berekend?

24. Hoeveel verschillende voedingsschema's kunnen we tegelijk worden gegeven op uw bedrijf?

- ☐ 1
- ☐ 2
- ☐ 3
- ☐ 4
- ☐ 5+
- ☐ Anders...

25. Geef hieronder in volgorde aan welke hoofdelementen u het liefst wil sturen in uw teelt. Begin met het belangrijkste element.

Meerdere antwoorden zijn mogelijk.

	Calcium	Kalium	Magnesium	Fosfaat	Stikstof	Zwavel
1. Belangrijkst	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
2.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
3.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
4.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
5.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
6. Minst bela...	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

26. Waarom kiest u specifiek voor de volgorde?

27. Geeft hieronder in volgorde aan welke spoorelementen u het liefst wilt kunnen sturen in uw teelt. Begin met het belangrijkste element.

Meerdere antwoorden zijn mogelijk.

	Borium	Koper	Zink	Molybdeen	Mangaan	IJzer
1. Belangrijkst	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
2.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
3.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
4.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
5.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
6. Minst bela...	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

28. In welke vorm(en) geeft u stikstof?

29. In welke vorm(en) geeft u fosfaat?

30. Zijn er naast hoofd- en sporenelementen nog andere elementen die u belangrijk vindt?

- ☐ Silicium
- ☐ Natrium
- ☐ Zware metalen (Cadmium, Chroom, Kwik, Nikkel, Lood, Arseen)
- ☐ Chloor
- ☐ Anders...

31. Wat is de pH van uw gietwater?

- ☐ tussen de 4.5 en 5.0
- ☐ tussen de 5.0 en 5.5
- ☐ tussen de 5.5 en 6.0
- ☐ tussen de 6.0 en 6.5
- ☐ tussen de 6.5 en 7.0

32. Wat is de EC van uw gietwater?

- ☐ tussen de 0.5 en 1.0
- ☐ tussen de 1.0 en 1.5
- ☐ tussen de 1.5 en 2.0
- ☐ tussen de 2.0 en 2.5
- ☐ tussen de 2.5 en 3.0
- ☐ tussen de 3.0 en 4.0
- ☐ > 4.0

Relatie tussen bemesting en plantweerbaarheid

33. Waar denkt u aan bij plantweerbaarheid?

34. Denkt u dat er een link is tussen de weerbaarheid van de plant en de bemesting? Zo ja houdt u hier rekening mee in het bemestingsplan?

35. Ziet u effecten van bemesting op gevoeligheid van planten voor insecten? Zo ja, wat ziet u dan voor effecten en welk element is hier verantwoordelijk voor?

36. Ziet u effecten van bemesting op gevoeligheid van planten voor schimmels? Zo ja, wat ziet u dan voor effecten en welk element is hier verantwoordelijk voor?

37. Ziet u effect tussen bemesting en het aanslaan van natuurlijke vijanden?

- ☐ Ja
- ☐ Nee
- ☐ Misschien
- ☐ Anders...

38. Maakt u gebruik van biostimulanten? Zo ja, welke?

39. Hoe en wat weet u van de samenstelling van deze biostimulanten?

Kennis

40. Vindt u dat voldoende bemesting kennis heeft?

- ☐ Ja
- ☐ Nee
- ☐ Anders...

41. Denkt u met meer kennis over bemesting meer te kunnen bereiken?

- ☐ Ja
- ☐ Nee
- ☐ Misschien
- ☐ Anders...

42. Wat denkt u meer te kunnen bereiken met extra kennis over bemesting?

43. Hoe is uw bemestingskennis tot stand gekomen?

Meerdere antwoorden zijn mogelijk.

- ☐ Onderwijs
- ☐ Cursussen
- ☐ Ervaring
- ☐ Collega's
- ☐ Anders...

44. Welke school/opleiding heeft u gevolgd waar bemesting aan bod kwam?

45. Heeft u nog (extra) cursussen gevolgd om uw kennis over bemesting te vergroten, zo ja welke?

Overige vragen

46. Stelling: Deze manier van enquêtering was duidelijk en overzichtelijk voor mij.

- ☐ Helemaal mee eens
- ☐ Enigzins mee eens
- ☐ Neutraal
- ☐ Enigzins mee oneens
- ☐ Helemaal mee oneens

47. Zijn er nog overige punten die u kwijt wilt?

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



Wageningen University & Research,
BU Glastuinbouw
Postbus 20
2665 ZG Bleiswijk
Violierenweg 1
2665 MV Bleiswijk
T +31 (0)317 48 56 06
www.wur.nl/glastuinbouw

Rapport WPR-1139

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, 6.800 medewerkers (6.000 fte) en 12.900 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.