

Circulair ijzer bemesten in de teelt van paprika op organisch substraat

Inleiding

Ijzer is een essentieel element voor groei en ontwikkeling en speelt een cruciale rol in belangrijke processen en reacties zoals de aanmaak van bladgroen en fotosynthese. Ijzergebrek uit zich o.a. in chlorose (zeer lichtgeel jong blad) en een vertraagde groei (Figuur 1).



Figuur 1 chlorose door ijzergebrek in paprika

In substraatteelten voegen telers ijzer toe aan de voedingsoplossing in de vorm van ijzerchelaat. Een meststof die via een complex chemisch proces wordt geproduceerd. Door ijzer als chelaat te gebruiken voorkomt de teler dat ijzer neerslaat en daardoor slecht op te nemen is door de plant.

Door het juiste chelaat te kiezen zorgt de teler ervoor dat ijzer goed beschikbaar is voor de plant. Chelaten breken langzaam af en kunnen zodoende in grond, substraat en water binden met diverse metaalinen. In de organische teelt in de VS is chelaat niet toegestaan om te gebruiken volgens USDA richtlijnen. Door een gezonde bodem die rijk is aan organische verbindingen en bodemleven is dit vaak geen probleem, maar wel op gronden met een pH boven 7. Bij de circulaire teelt op organische substraten is ijzervoorziening wel een uitdaging. Wat wij kennen als circulaire teelt is op het Amerikaanse continent toegestaan als "Organic". Van der Knaap levert het systeem van organische substraten en circulaire meststoffen dan ook aan biologische telers op dit continent. In deze proef is gekeken naar de effecten van microbiële biostimulanten en natuurlijke chelaten op de opname van ijzer en de gevolgen ervan op de groei en ontwikkeling van paprikaplanten op organische substraten. Biostimulanten zijn stoffen die zelf geen voedingselementen bevatten, maar wel kunnen bijdragen aan de opname van nutriënten. Natuurlijke chelaten zijn organische moleculen met een chelerende werking zoals fulvine- en huminezuren.

Experiment 1:

Proefopzet: Dit onderzoek heeft plaatsgevonden als groepsopdracht voor Jim Barendse, Erwin de Bruin,



Foto 1 Docenten en studenten van Inholland en Lentiz bij de start van de proef in het WHC in september 2023

Jerin van der Lans, Hugo Dijkers en Ben van Paassen. De proeflocatie was een proefkas van 173 m² met 8 teeltgoten bij Vertify Naaldwijk. Op elke teeltgoot lagen 10 kokosmatten met 4 paprikaplanten per mat. Elke 2 matten vormden 1 veldje. Totaal waren er in deze proef dus 320 planten verdeeld over 40 veldjes (Figuur 2). De proef bestond uit 8 behandelingen met vijf herhalingen per behandeling die zijn verdeeld over 40 veldjes. De behandelingen waren biostimulanten met mycorrhiza schimmels, rhizobacteriën of fulvinezuren. Er zijn alleen middelen gebruikt waarvan de ingrediënten duidelijk zijn vermeld. Middelen zijn gratis ter beschikking gesteld, maar de toeleveranciers waren geen deelnemer in het onderzoek. HBO- studenten hebben plantmetingen uitgevoerd en water en gewas bemonsterd voor nutriëntenanalyses (drain/gift, blad en plantsap).

	6E	7E	4E	1E	3E	5E	2E	8E
3	4D	5D	7D	2D	8D	3D	6D	1D
4	7C	8C	3C	5C	6C	4C	1C	2C
3	3B	6B	1B	7B	4B	2B	8B	5B
2	2A	3A	6A	8A	1A	5A	7A	4A
1								

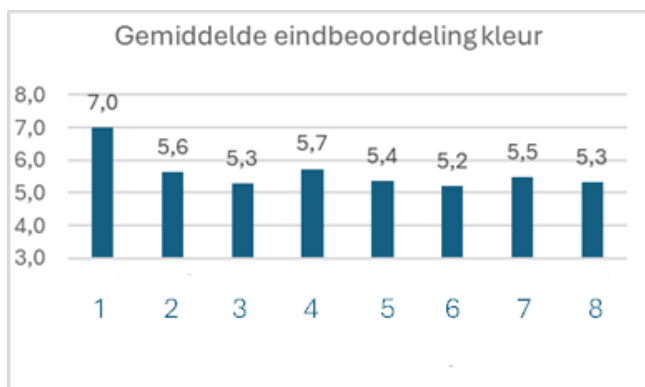
Figuur 2: Plattegrond van de proefopzet. De cijfers staan voor de behandeling en de letters voor de herhaling. 1: positieve controle (chelaat), 2: negatieve controle (ijzersulfaat), 3,5 en 7: mycorrhiza, 4: fulvinezuur, 6 en 8: rhizobacteriën.

Circulair ijzer bemesten in de teelt van paprika op organisch substraat

Via Vivent biosensoren is ijzerstress bij de plant gemeten. Een sensor met 8 meetpunten kon planten continu meten op stress op basis van elektrische communicatie in de plant. Vijf sensoren zijn toegepast op 3 verschillende behandelingen: referentie met ijzerchelaat (1), referentie ijzersulfaat (2) en biostimulant fulvinezuur (4). MBO-studenten van Lentiz die samen met Vertify de teeltstrategie bepaalden, hielden de hoge plantbelasting aan om ijzergebrek te initiëren. De bemesting is uitgevoerd met een voedingsoplossing met minerale meststoffen en circulair geproduceerde calciumnitraat. Op de referentie met ijzerchelaat na is ijzersulfaat gebruikt in de voedingsoplossing. Ijzersulfaat slaat direct neer in niet opneembaar ijzer. Doel van het onderzoek was om te bepalen welk type biostimulant de opname van neergeslagen ijzer kon bevorderen. De proef startte in september 2023 en is eind december gestopt. Er is met SON-T lampen belicht om tekort aan licht te compenseren.

Resultaten

Bladkleur: Uit de resultaten van de plantmetingen viel op dat bij de kleurbeoordeling van het blad de behandeling met ijzerchelaat significant een donkerder groene bladkleur gaf (figuur 3).



Figuur 3: Eindbeoordeling bladkleur (schaal 1 tot 7, waarbij 1= volledig gele plant / 7= Volledig groene plant en geen chlorose. Behandelingen 1: positieve controle (chelaat), 2: negatieve controle (ijzersulfaat), 3,5 en 7: mycorrhiza, 4: fulvinezuur, 6 en 8: rhizobacteriën..

Alle andere behandelingen scoorde op bladkleur een gemiddelde van lager dan 6,0 wat overeenkwam met planten met een lichter groene bladkleur tot matige of ernstige chlorose. Opvallend was kleurverschil en chlorose pas zes weken na aanvang van de behandelingen zichtbaar werd.

Productie: De vruchten aan de planten met biostimulanten rijpte iets sneller af. De

plantbelasting was boven de 40 vruchten per m². Dit was erg hoog voor een najaarsteelt. De plantbelasting in de laatste weken was hoger in de ijzerchelaat behandeling, waarschijnlijk door de tragere rijping. De beoordeling van de wortels toonde variatie, waarbij een hoge score op bladkleur vaak ook een hoge score op wortelgestel gaf. Enkele biostimulanten leken wittere wortelkleur te geven (niet significant). Nader onderzoek gaf aan dat de mycorrhiza de wortels niet gekoloniseerd hadden. De teelt stond niet lang genoeg om de productie kwantitatief te beoordelen.

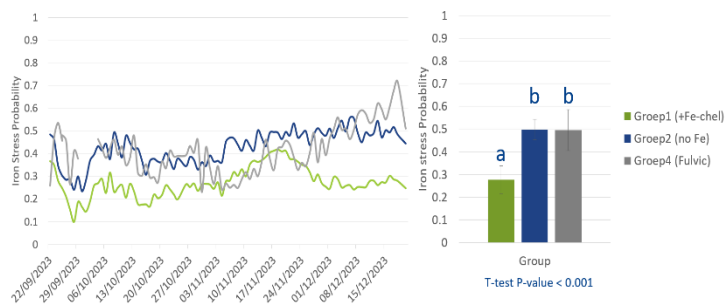
Voedingscijfers: Uit de analyses van het drainwater kwam naar voren dat de pH van het drainwater sterk daalde bij de behandelingen zonder ijzerchelaat. Dit kan verklaard worden door het verzurende effect bij het neerslaan (oxidatie) van het ijzer of een reactie van de plant om ijzer beter op te kunnen nemen. Droge stof analyse van het blad gaf aan dat er weldegelijk nog ijzer opgenomen is, al werd er de hele teelt geen opneembaar ijzer gemeten in het voedingswater en drainwater. Dit uitte zich mede in grote verschillen in ijzergebrek tussen planten binnen een behandeling. Opvallend was dat een luisaantasting aan het eind van de teelt alleen bij bemesting via ijzerchelaat voorkwam (figuur 4).



Figuur 4: Luisaantasting in ijzerchelaatbehandeling naast behandeling zonder ijzerchelaat met ijzergebrek, maar zonder luisaantasting.

Plantstress: Met data uit deze proef is een gevalideerd model voor ijzergebrek uit tomaat in paprika getraind. Evenals bij bladkleur laat de referentie ijzerchelaat significant het laagste stressniveau zien (Figuur 5).

Circulair ijzer bemesten in de teelt van paprika op organisch substraat



Figuur 5: Ijzerstress waarschijnlijkheid per dag (links) en voor de gehele periode (rechts). Groep zonder ijzerchelaat (groen) laat significant laagste stress zien, terwijl er geen significant verschil is tussen controle en fulvinezuur.

Conclusie. Experiment 1 had aangetoond dat ijzerchelaat niet eenvoudig te vervangen is door ijzersulfaat en biostimulanten. De gebruikte middelen, die niet allen specifiek voor deze toepassing zijn ontwikkeld, hadden niet voldoende effect onder de omstandigheden van deze paprikateelt op substraat. De beschikbaarheid van ijzer in het wortelmilieu in minerale vorm bleek in een teeltsysteem zonder ijzerchelaat geen maat voor de opname, die altijd hoger was dan verwacht op basis van minerale beschikbaarheid. Opvallend waren de grote verschillen tussen planten binnen veldjes. Dit geeft aan dat er sprake is van een sterke plant en/of milieu-invloed op het ontstaan van ijzergebrek. Fulvinezuur leek uiteindelijk iets beter in staat om ijzertekort te beperken. Terwijl dit product eigenlijk beter al voor het druppelen aan de voedingsoplossing toegevoegd kan worden. Na training van de AI met data uit de proef kunnen de Vivent biosensoren ijzerstress vroegtijdig signaleren. Vanuit deze proef is besloten het vervolgonderzoek te richten op verbeteren van de toepassingsmethode van fulvinezuur door: dagelijks en niet wekelijks toevoegen, voor het druppelen bij de voedingsoplossing te mengen en de concentratie te optimaliseren.

Experiment 2:

Proefopzet: Dit experiment is uitgevoerd als afstudeeropdracht van Jerin van der Lans in innovatiecentrum “de kas” van de van der Knaap groep in Honselersdijk in de periode februari tot juli 2024. Dit onderzoek ging verder met de aanbevelingen uit experiment 1. Voor het experiment is een proefkas van 125 m² met 5 teeltgoten en 252 paprikaplanten (ras red wing) in

grow pots gebruikt. Er zijn in totaal 14 behandelingen verdeeld zijn over de 42 veldjes, dus met drie herhalingen. De behandelingen bestonden uit fulvinezuur met ijzersulfaat in de voedingsoplossing, aangekochte biologische ijzermeststoffen en bladbespuitingen met Ijzerhoudende bladmeststoffen en combinaties daarvan (figuur 6).

	4B	10A	7B	5C	11A
6	16	8A	26	36	42
	9C	3C	4C	14C	6A
5	14	14	24	34	41
	14B	5B	12A	2B	1C
4	13	14A	23	33	40
	12C	11B	3A	9A	8C
3	11	11	21	31	39
	7C	13C	11C	10C	13A
2	10	4A	2C	6C	38
	2A	6B	10B	1A	3B
1	8	1B	5A	13B	37
	7	17	27	37	
betonvloer					

Figuur 6: proefopzet. De veldnummers staan linksonder. In het midden de nummers die verschillende behandeling aangeven. De letters erachter coderen voor de 3 herhalingen. 1, negatieve controle, 2 positieve controle, 3-5 bio-ijzermeststoffen, 6-7 twee concentraties fulvine zuren en ijzersulfaat, 8 ijzersulfaat als meststof en bladbespuiting, 9-13 behandeling 3-7 als meststof en bladbespuiting, 14 ijzersulfaat en bladmeststof.

De ijzerbemesting in het wortelmilieu is op dagelijkse basis handmatig uitgevoerd. De bladbespuitingen zijn wekelijks uitgevoerd met een handspruit. Alle producten zijn aangekocht bij de leverancier. De behandelingen zijn gegeven in aanvulling op het basis voedingsschema (figuur 7).

Element	Hoeveelheid	Element	Hoeveelheid
NO3	26,12 mmol	Fe	-
H2PO4	1,80 mmol	Mn	8,73 µmol
SO4	5,99 mmol	Zn	3,67 µmol
NH4	1,38 mmol	B	28,74 µmol
K	5,27 mmol	Cu	0,39 µmol
Ca	10,64 mmol	Mo	0,31 µmol
Mg	5,99 mmol		

Figuur 7: basis voedingsschema zonder Fe bemesting.

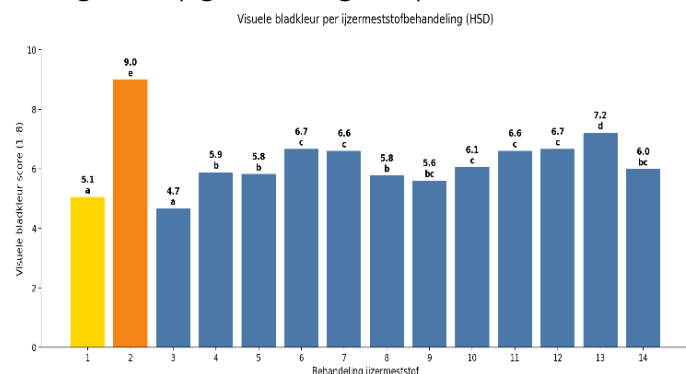
Wekelijks zijn de lengte, plantbelasting, productie, voeding- en drainanalyse en een visuele bladkleur meting (schaal 1-10) uitgevoerd. Er is twee keer een bladgroen meting gedaan met een Apogee

Circulair ijzer bemesten in de teelt van paprika op organisch substraat

bladgroenconcentratiemeter en eenmalig is de kwaliteit van de wortels (schaal 1-5) bepaald. Er is drie keer een plantensapanalyse en aan het eind is een droge stofanalyse uitgevoerd.

Resultaten

Er waren duidelijke verschillen te zien in de bladkleur tussen de behandelingen en de positieve controle met ijzerchelaat, die duidelijk donkerder groen was. Toch was er duidelijk minder gebrek te zien dan in experiment 1. Ook de behandelingen met fulvinezuur en met een ijzermeststof die gecomplexeerd is met gluconaat lieten nauwelijks nog ijzergebrek zien. Alleen enkele zwakke planten lieten tijdens piekbelasting nog chlorose zien. Dit effect was sterker als er ook een bladbespuiting werd gedaan (figuur 8 en figuur 9).



Figuur 8: Bladkleur op een schaal van 1-10 onder invloed van de behandeling met ijzermeststof en bladbespuiting. Ongelijke letters zijn significant verschillend. 1, negatieve controle, 2 positieve controle, 3-5 bio-ijzermeststoffen, 6-7 twee concentraties fulvine zuren en ijzersulfaat, 8 ijzersulfaat als meststof en bladbespuiting, 9-13 behandeling 3-7 als meststof en bladbespuiting, 14 ijzersulfaat en bladmeststof

De iets lichtere bladkleur had geen gemeten effect op de productie en kwaliteit, eerder zelfs een positief effect. De kwam waarschijnlijk doordat het gewas met ijzerchelaat vegetatiever leek te groeien ten opzichte van de goede behandelingen met alternatieven. Dit uitte zich in meer stengelgroei, lagere plantbelasting en langere uitgroeiduur, met als gevolg een nog wat lagere productie in de positieve controle met ijzerchelaat op het moment van staken van de proef (niet significant). Ook in deze proef was er in de plantensapanalyse en droge stof analyse te zien dat zelfs de negatieve controle nog ijzer opnam, ook al werd er niet of nauwelijks mineraal ijzer gemeten in de voedingsoplossing en draincijfers. De waarden in goede behandelingen met alternatieven waren duidelijk hoger dan de negatieve controle, maar wel lager dan ijzerchelaat. Opvallend was dat dat de behandelingen met

bladbespuiting een betere wortelkwaliteit beoordeling hadden (niet significant).

Conclusie experiment 2

In experiment 2 werd zichtbaar ijzergebrek voorkomen met fulvinezuur en ijzermeststof met heptagluconzuur, zeker als dit werd ondersteund met ijzerhoudende bladbemesting. Ondanks dat geen van de alternatieve behandelingen dezelfde donkergroene bladkleur kon geven als bij ijzerchelaat. Het gewas bij de alternatieve behandelingen was iets generatiever, maar productie en groei waren minstens even goed. Dit riep de vraag op of het wel nodig is om dezelfde donkergroene bladkleur na te streven. Dit onderzoek was te kort voor een goed antwoord op deze vraag. De ijzeroplossingen zijn in deze proef



Figuur 9: gewasweergave van verschillen tussen de behandelingen met **links**: negatieve controle, **midden** positieve controle (Fe-chelaat) en **rechts** alternatieve behandeling met hoogste bladkleurbeoordeling (bladmeststof + bladbespuiting).

nog handmatig gemaakt en toegevoegd, voor de praktijk is dit niet praktisch. Ook het uitvoeren van bladbespuitingen wordt in de praktijk niet gedaan. Met de kennis en ervaringen uit deze proef werd aanbevolen onderzoek voort te zetten door het praktischer maken van de toepassingswijze, optimaliseren van de dosering en de impact hiervan op productie en kwaliteit van meststoffen die ijzersulfaat combineren met fulvinezuur en/of heptagluconzuur. Dit is uitgevoerd in experiment 3.

Experiment 3:

Proefopzet

In experiment drie is de laatste stap gezet naar een praktische toepassing in de praktijk. Het doel was de juiste dosering te bepalen voor toepassing bij het maken van de voedingsoplossing. Dit was de laatste noodzakelijk stap voor toepassing direct in een praktijkteelt. Ook is de noodzaak en/of meerwaarde van bladbespuiting onderzocht.

Circulair ijzer bemesten in de teelt van paprika op organisch substraat

Experiment drie bestond uit vijf behandelingen met circulaire ijzermeststoffen in verschillende doseringen en een controle met ijzerchelaat (figuur 10). De proef liep van sept tot eind december in het WHC in Naaldwijk.



Foto 2: Studenten van MBO en HBO planten de paprikaproef.

Klimaatregeling, gewasverzorging en gewashandeling is gedaan in een samenwerking tussen HBO, MBO studenten en teeltspecialisten van Vertify en van der Knaap. Het ras was Red wing. Er is in de controle dezelfde standaard voedingsoplossing gebruikt voor paprika als in experiment 2.

pad	pad	pad	pad
pad	goot 1	goot 1	goot 1
pad	pad	pad	pad
pad	goot 2	goot 2	goot 2
pad	pad	pad	pad
pad	goot 3	goot 3	goot 3
pad	pad	pad	pad
pad	goot 4	goot 4	goot 4
pad	pad	pad	pad
pad	goot 5	goot 5	goot 5
pad	pad	pad	pad
pad	goot 6	goot 6	goot 6
pad	pad	pad	pad
pad	goot 7	goot 7	goot 7
pad	pad	pad	pad
pad	goot 8	goot 8	goot 8
pad	pad	pad	pad

Figuur 10: proefopzet experiment 3 in het WHC in Naaldwijk met 14 planten per behandeling waarvan de middelste drie meetplanten (9 stengels). Er lagen 6 behandelingen in 4 herhalingen. 1: Controle ijzerchelaat (wit), 2, 3 en 4 organic Fe met uiteenlopende producten fulvinezuur (oranje, blauw, groen) en 5: behandeling 2 met wekelijks bladbespuiting (rood) en 6: behandeling 2 met tweewekelijks bladbespuiting (geel)

Bij alle behandelingen is naast ijzer, ook de calciumnitraat vervangen door circulaire calciumnitraat van van der Knaap. Als ijzermeststof is gebruikt: Organic Fe 0,4% van van der Knaap op basis van ijzersulfaat en toegevoegde fulvinezuur in twee concentraties en een circulair fulvinezuur product uit de drinkwaterwinning. HBO studenten voerden wekelijks metingen uit op plantlengte, bladkleur (schaal 1-8; figuur 11),

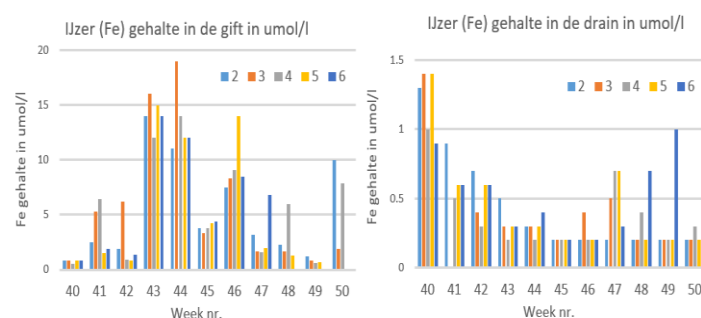
bladgroengehalte, plantbelasting (vruchten > 13mm) en wortelontwikkeling (schaal 1-5). Daarnaast werd wekelijks van de voedingsoplossingen en drain de EC- en pH gemeten en een nutriënten-analyse uitgevoerd. Van het eerste zetsel is de productie (aantal en kg) bepaald.



Figuur 11: Schaal waarop bladkleur door studenten is beoordeeld van 1 (linksboven) tot 8 (rechtsonder)

Resultaten

De gift en drainanalyse toonde aan dat meetbaar ijzer uit de circulaire ijzermeststoffen op een veel lager niveau dan gebruikelijk aanwezig was (figuur 12). Lagere meetwaarden komen vaak overeen met een pH van 6.0 waar bij hogere waarde de pH onder 5.5 was. In vervolgonderzoek kan onderzocht worden of gluconaat bij hogere pH voor een betere beschikbaarheid zorgt.



Figuur 12: Gemeten ijzergehaltes in het druppelwater (gift) en drainwater in $\mu\text{mol/l}$. Ontbrekende resultaten zijn het gevolg van verwisselde monsters.

Ondanks het lage niveau meetbaar ijzer kon de plant toch voldoende ijzer opnemen voor een normale ontwikkeling, al was het effect van de lage ijzerconcentratie wel zichtbaar in de bladkleur. Dit effect was al veel minder sterk dan in experiment twee. Er was zelfs geen betrouwbaar verschil meer in chlorofylconcentratie tussen drie behandelingen en de controle, al was dit visueel nog wel zichtbaar (figuur 13).

Circulair ijzer bemesten in de teelt van paprika op organisch substraat

Samenvatting

Experiment 1 liet zien dat ijzerchelaat niet eenvoudig te vervangen is; biostimulanten hadden onvoldoende effect en ijzergebrek trad in te hoge mate op. Fulvinezuur toepassing leek enige verbetering te geven. **Experiment 2** toonde dat fulvinezuur en ijzermeststoffen met heptagluconaat, vooral in combinatie met bladbemesting, ijzergebrek sterk konden beperken bij dagelijkse toediening en wachttijd na het mengen. Bladkleur bleef iets lichter, maar productie en kwaliteit waren vergelijkbaar met ijzerchelaat. De toedieningsmethode was nog wel erg arbeidsintensief. **Experiment 3** toonde aan dat circulaire ijzermeststoffen ook praktisch toepasbaar zijn in een substraatsysteem; bladbespuiting verbeterde bladkleur en wortelontwikkeling, maar was niet noodzakelijk. Ondanks een laag meetbaar ijzerconcentratie nam de plant toch voldoende op.

Conclusie: Circulaire ijzermeststoffen met complexvorming op basis van natuurlijke zuren kunnen ijzerchelaat vervangen in een paprikateelt op organisch substraat. Het gewas blijft iets lichter van kleur en groeit generatiever, maar zonder negatieve impact op productie. Verdere optimalisatie van dosering en toediening kan in een praktijk situatie uitgevoerd worden. Verstopping door neerslag is hierbij nog een aandachtspunt.

Colofon:

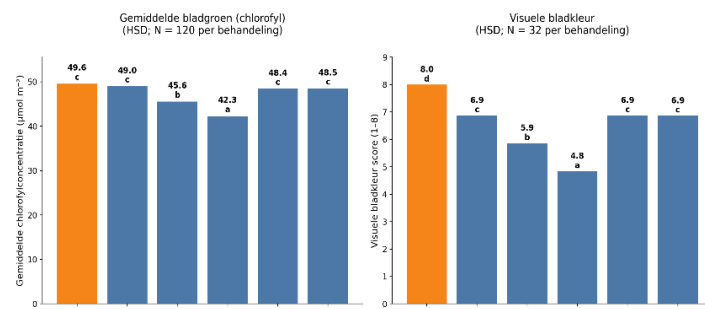
Uitgever: Inholland Hogeschool Delft (november 2025)

Auteurs: Frank van der Helm en Boris Berkhout

Docenten, studenten en onderzoekers die aan het onderzoek meewerkte: Jeroen Sanders, Kees Rietveld, Jim Barendse, Jerin van der Lans, Erwin de Bruijn, Hugo dijkers, Ben van Paasen, Casper Arkesteijn, Luuk van den Akker, Colin Duyvestijn en Jeremy van Wijk (inholland). Sjoerd Nieboer, Ray Bruinen, Stijn van Tienen, Rens van der Ende, Splinter Heijsteeg, Tim Withagen, Ruben van Vliet, Jack Kouwenhoven (Lentiz). Cor van Staalduinen en Sergio Harinck (Vertify) en Karel de Bruijn, Dirk Zwinkels, Willem Kögeler en Wim van der Ende (van der Knaap).

Het onderzoek heeft plaatsgevonden in samenwerking met van der Knaap, Hogeschool Inholland, Vertify, Vivent Biosignals, Lentiz MBO Westland en stichting Innovatie Glastuinbouw (SIGN) als onderdeel van het Fieldlab circulaire meststoffen.

Fieldlab circulaire meststoffen is een samenwerking van vier groene hogescholen: Inholland, HAS, VHL en Aeres met financiering van regieorgaan SIA (NWO) en het ministerie van LVVN.



Figuur 13: gemiddelde van gemeten chlorofylconcentratie (links) en score op visuele beoordeling bladkleur (rechts). Ongelijke letters geven een significant verschil aan op basis van Tukey HSD). Behandelingen zijn omschreven bij figuur 8.

De meting van de lengtegroei liet zien dat de controle iets korter groeide dan de behandelingen. Ook had controle een wat lagere plantbelasting in het eerste zetsel en bij de oogst een wat hoger gemiddeld vruchtgewicht bij een wat lager aantal vruchten, al waren dit geen betrouwbare verschillen en is slechts 1 zetsel geoogst. De algemene indruk van de begeleidingsgroep was, net als bij experiment twee, dat de behandelingen met lager beschikbaar ijzer wat lichter van kleur en generatiever waren, maar niet minder productief.

Conclusie experiment 3

In dit derde experiment is aangetoond dat een voedingsoplossing met circulaire calciumnitraat en circulaire ijzermeststof praktisch goed bruikbaar is voor de teelt van paprika op een organisch substraat, ondanks dat opneembaar ijzer in de gift laag is. Het effect op het gewas is een wat lichtere bladkleur en een meer generatieve ontwikkeling, waardoor vruchten wat sneller afrijpen. Er was geen aantoonbaar effect op de productie bij de eerste zetting, maar vruchtgewicht lijkt iets lager en aantal vruchten iets hoger te worden bij gelijke productie. Bladbespuitingen dragen positief bij aan bladkleur en wortel en gewasontwikkeling, maar zijn niet noodzakelijk. Wel kan een bladbespuiting ingezet worden als er door hoge plantbelasting of hoge pH alsnog te sterk ijzergebrek optreedt.

