



Verbetering spuittechniek in de teelt van potgrond

Proof of principle toepassing Electropray in de Glastuinbouw

Luewton Lemos Agostinho¹, Erik van Os², Thijs Riemersma¹, Maarten Nederlof¹ en Marieke van der Staaij²

Rapport GTB-1322

1 Centre of Expertise Water Technology, 2 Leeuwarden Wageningen UR Glastuinbouw, Bleiswijk

Referaat

ElectroHydroDynamische Atomisatie (EHDA) wordt ook wel "electrospraying" genoemd. Atomisatie is het proces van het uit elkaar vallen van een vloeistof in kleine druppeltjes. Een elektrisch veld wordt toegepast om het proces van druppelvorming (grootte van de druppels) te beïnvloeden en de druppeltjes een elektrische lading mee te geven. De geladen druppeltjes stoten elkaar af waardoor een nevel ontstaat. Deze wordt aangetrokken door het gewas. Drie methoden van toepassen van gewasbeschermingsmiddelen zijn met elkaar vergeleken met behulp van een fluorescerende stof (Tinopal) op de bladeren van potplanten en chrysantenstek en bloemknoppen van roos: EHDA, conventioneel en een pulverisator (rugketel).

De verdeling van druppeltjes over de bladeren bij toepassing van EHDA is goed zowel bij de rozen als bij de potplanten en chrysantenstekken. Op de onderkant van de bladeren zijn echter geen druppeltjes terecht gekomen. Dit heeft te maken met de grootte van de druppels, 200 micron. Deze zijn te zwaar om af te buigen naar de onderkant van de bladeren. Onderzoek in het verleden heeft aangetoond dat druppels met een kleinere diameter wel op de onderkant van de bladeren terecht komen.

Bloemknoppen zijn opengemaakt om te kijken in hoeverre de druppeltjes in de knoppen zijn doorgedrongen. Bij toepassing van EHDA blijkt dit dieper te zijn dan bij de andere methoden.

Abstract

ElectroHydroDynamicAtomization (EHDA) is also called 'electrospray'. Atomization is the process of breaking up of a liquid in small droplets. An electric field influences the droplet size and at the same time the droplet is charged. The charged droplets will be attracted to the plants. Three methods of applying plant protection products were compared using a fluorescent tracer on pot plants, small chrysanthemum plants and half open rose buds: EHDA, a conventional nozzle and a knapsack.

Electrospraying gave a more even coverage on the upper side of the leaves with droplets compared to the other methods. On the underside of the leaves no droplets were deposited. The droplet size in the experiments was too big (200 micron). Research in the past has proven that droplets with a smaller diameter reached the underside of leaves.

Opening the rose buds showed that a larger amount of droplets penetrated in the flowers by using EHDA than by applying the other methods.

Rapportgegevens

Rapport GTB-1322

Projectnummer: 3242051400

PT-nummer: 13523/13523.02

Disclaimer

© 2014 Wageningen UR Glastuinbouw (instituut binnen de rechtspersoon Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek), Postbus 20, 2665 MV Bleiswijk, Violierenweg 1, 2665 MV Bleiswijk, T 0317 48 56 06, F 010 522 51 93, E glastuinbouw@wur.nl, www.wageningenUR.nl/glastuinbouw. Wageningen UR Glastuinbouw.

Wageningen UR Glastuinbouw aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Adresgegevens

Wageningen UR Glastuinbouw

Postbus 20, 2665 ZG Bleiswijk

Violierenweg 1, 2665 MV Bleiswijk

T +31 (0)317 48 56 06

F +31 (0)10 522 51 93

Inhoud

	Samenvatting	5
1	Inleiding	7
2	Theorie	9
	2.1 ElectroHydroDynamische Atomisatie(EHDA)	9
	2.2 EHDA om gewasbeschermingsmiddelen in tuinbouwkassen te verspuiten	10
3	Materiaal en methode	13
	3.1 Bepalen bedekkingsgraad	13
	3.2 Indringing/penetratie capaciteit, druppel dispersie en bedekking onderkant van de bladeren	15
4	Resultaten	17
	4.1 Bedekkingsgraad	17
	4.2 Indringing / penetratie capaciteit	18
	4.3 Bedekking onderkant bladeren	18
	4.4 Beheersen van druppel dispersie	20
5	Conclusies en Aanbevelingen	23
	5.1 Conclusies	23
	5.2 Aanbevelingen	23
	5.3 Toekomstperspectief	23
6	Referenties	25
	Bijlage I. Overzicht experimenten met EHDA in vergelijking met een conventionele nozzle en een pulverisator	27
	Bijlage II. Foto's experimenten	29

Samenvatting

ElectroHydroDynamische Atomisatie (EHDA) wordt ook wel "electrospraying" genoemd. Atomisatie is het proces van het uit elkaar vallen van een vloeistof in kleine druppeltjes. Een elektrisch veld wordt toegepast om het proces van druppelvorming (grootte van de druppels) te beïnvloeden en de druppeltjes een elektrische lading mee te geven. De geladen druppeltjes stoten elkaar af waardoor een nevel ontstaat. Deze wordt aangetrokken door het gewas. De bedekking (depositie) van de bladeren wordt hierdoor verbeterd. Een nevel van zeer kleine druppels (10 – 25 micron) zal worden afgebogen en ook de onderkant van de bladeren bereiken. Op druppels van 200 micron heeft de zwaartekracht te veel invloed en die doen dit niet. Dit heeft consequenties voor de bedekking van de onderkant van de bladeren.

In het onderzoek zijn drie methoden van toepassen van gewasbeschermingsmiddelen met elkaar vergeleken met behulp van een fluorescerende stof (Tinopal): EHDA, conventioneel en een pulverisator (rugketel). De testen zijn uitgevoerd op stengels van tomatenplanten, de bladeren van potplanten en chrysanthenstek en bloemknoppen van roos.

Bij alle experimenten werd de bedekkingsgraad bepaald en bij de bloemknoppen ook de indringing (penetratie-capaciteit). Alle omstandigheden tijdens de experimenten met de verschillende methoden werden gelijk gehouden alleen de afgifte van de nozzles varieerde van 8 ml/min (EHDA) tot 100 ml/min (conventioneel) en 350 ml/min (pulverisator).

Nadat de behandelingen waren uitgevoerd en de planten en bloemen weer droog waren zijn alle plantendelen onder een UV-lamp (black light) gelegd en gefotografeerd. De foto's zijn daarna geanalyseerd en is de bedekkingsgraad bepaald. Op basis daarvan is de genormaliseerde bedekkingsgraad, de bedekkingsgraad gecorrigeerd voor de hoeveelheid spuitvloeistof, berekend. De bedekkingsgraad bij toepassing van EHDA is lager (factor 4) dan bij de andere methoden, maar naar verhouding is 3 tot 4 maal minder spuitvloeistof gebruikt. De verdeling van druppeltjes over de bladeren bij toepassing van EHDA is goed zowel bij de rozen als bij de potplanten en chrysanthenstekken. Op de onderkant van de bladeren zijn echter geen druppeltjes terecht gekomen. Dit heeft te maken met de grootte van de druppels, 200 micron. Deze zijn te zwaar om af te buigen naar de onderkant van de bladeren. Onderzoek in het verleden heeft aangetoond dat druppels met een kleinere diameter wel op de onderkant van de bladeren terecht komen.

Bloemknoppen zijn opengemaakt om te kijken in hoeverre de druppeltjes in de knoppen zijn doorgedrongen. Bij toepassing van EHDA blijkt dit dieper te zijn dan bij de andere methoden.

Op basis van de verkregen resultaten kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- De bedekkingsgraad van bladeren was bij toepassing van EHDA (1 nozzle) veel lager (1,5-4%) dan die van conventionele systemen (6-16%). Echter de debieten per nozzle die hiervoor nodig zijn zijn voor EHDA veel lager.
- Onder de omstandigheden van de experimenten werden 4 (rozen) tot 10 (potplanten) keer hogere genormaliseerde bedekkingsgraden bij EHDA berekend vergeleken met conventionele methoden. EHDA druppels dringen dieper binnen in het binnenste van knoppen van rozen. Voor de specifieke proefomstandigheden zoals hier gebruikt, werd de onderkant van de bladeren niet met EHDA druppels bedekt. Met behulp van high speed camera beelden kon geen afbuiging van de druppels naar de onderkant van de bladeren worden waargenomen. Het is met EHDA mogelijk om specifieke delen van een plant te bespuiten. De bundel druppels kan gereguleerd worden door het potentiaalverschil aan te passen.

Het verdient aanbeveling om uitgaande van een bepaalde streefwaarde voor de bedekkingsgraad (bijvoorbeeld 50%), een multi-nozzle EHDA systeem te bouwen en de resultaten te vergelijken met een conventioneel systeem (met 1 enkele nozzle). Op basis van een dergelijk experiment kan een directe vergelijking gemaakt worden met betrekking tot effectiviteit, benodigde volumes en kostprijs voor beide systemen. Basis van vergelijking is dan de manier waarop EHDA en conventionele alternatieven het best in de praktijk kunnen worden toegepast (inclusief snelheid van passeren van rijen planten).

Het verdient aanbeveling om bij bovenstaande experimenten een massabalans voor het spuitmiddel op te stellen zodat de efficiency (hier uitgedrukt in genormaliseerde bedekkingsgraad) ook uitgedrukt kan worden in de 'hoeveelheid gedoseerd aan planten gedeeld door de totale gift (in L/ha)'.

1 Inleiding

In de glastuinbouw zijn gewasbeschermingsmiddelen nog steeds noodzakelijk voor het bestrijden van ziekten en plagen. Daarnaast worden groeiremmers toegepast. Het gebruik van zowel groeiremmers als gewasbeschermingsmiddelen is echter aan diverse beperkingen gebonden. Enerzijds zijn er toelatingseisen voor de introductie van nieuwe middelen (via het Ctgb) anderzijds is het gebruik binnen de kas aan een maximum gebonden (max hoeveelheid spuitvloeistof/toepassing, aantal toepassingen/teelt/jaar) en worden in toenemende mate eisen gesteld aan het spuiwater van de glastuinbouw. Het spuiwater kan gewasbeschermingsmiddelen bevatten. Lozing op het oppervlakte water wordt daarom aan strikte regels gebonden. Dit zijn stuk voor stuk redenen om te streven naar een zo efficiënt en effectief mogelijke inzet van gewasbeschermingsmiddelen. De ervaring van Wageningen UR Glastuinbouw is dat de bestaande spuittechnieken uit-ontwikkeld zijn en dat er relatief veel verlies is van effectief middel dat via het spuiwater uiteindelijk verloren gaat (Van Os *et al.*, 2012). Onderhavig project is gericht op het bestuderen van de mogelijkheden van ElectroHydroDynamic Atomization (EHDA, ook wel ElectroSpray genoemd) om door het produceren van relatief kleine geladen druppeltjes met middel een effectievere dosering mogelijk te maken. Deze verbetering betreft zowel een betere verdeling van de vloeistof over het plantoppervlak als het bereiken van delen van de plant die met gangbare technieken moeilijk te bereiken zijn, zoals de onderkant van de bladeren.

Enige jaren geleden is binnen de glastuinbouw reeds (onderzoeks)ervaring opgedaan met deze techniek (Geerse *et al.* 1999). Toen was echter de conclusie dat de technologie nog niet rijp was voor toepassing voor deze sector, dit werd met name veroorzaakt door de te lage debieten die per nozzle gehaald konden worden en de geringe indringing in het gewas. Recent onderzoek uitgevoerd door Luewton Lemos bij Wetsus (onder begeleiding van Jan Marijnissen) heeft aangetoond dat in de zogenaamde 'simple jet' mode aanzienlijk hogere fluxen mogelijk zijn (Agostinho, 2013). Tevens is een eerste veelbelovende proef bij de firma Hartman uitgevoerd op tomatenplanten (zie figuur 1.1), in deze proeven is vastgesteld dat het spuiten in de simple jet mode leidt tot een goede bedekking van bladeren met kleine druppeltjes, de bedekkingsgraad is toen echter niet gekwantificeerd. De hier voorgestelde proeven zijn een voortzetting en uitbreiding van deze eerste oriënterende experimenten.



Figuur 1.1 Resultaten oriënterende proeven EHDA in simple jet mode op tomatenplanten.

Project beschrijving

Het doel van het onderzoek is om te laten zien wat de mogelijkheden zijn van EHDA voor het toedienen van gewasbeschermingsmiddelen in de glastuinbouw. Hierbij worden met name toepassingen gezocht waarbij een driedimensionale depositie belangrijk is (bijvoorbeeld rondom stengels of bloemen, onderkant bladeren). Het onderzoek is oriënterend, waarbij in vier gewassen op verschillende delen van de plant (bloemknop roos, bladeren van kalanchoë en chrysantenplantjes en tomatenstengels) de depositie is bekeken. Het onderzoek kan als katalysator dienen voor gericht vervolgonderzoek.

Om de glastuinbouw-sector van de mogelijkheden van deze technologie te overtuigen is het noodzakelijk om de praktijk zo goed mogelijk na te bootsen. Dit houdt in dat de EHDA opstelling verrijdbaar moet zijn, zoals dat ook in de glastuinbouw praktijk gebruikelijk is (bespuiten van rijen planten). Bovendien moet de bedekkingsgraad van (delen van de) de plant en de grootte van de druppels zichtbaar worden gemaakt en worden gekwantificeerd.

Onderzoeksvragen

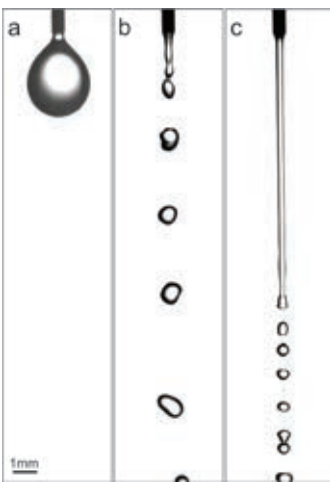
Om de haalbaarheid van toepassing van EHDA in de simple-jet mode te onderzoeken als spuittechniek voor de glastuinbouw zijn de volgende onderzoeksvragen geformuleerd:

1. Wat is de bedekkingsgraad van druppels op bladeren (of andere delen van de plant) met de EHDA techniek vergeleken met conventionele spuittechnieken (onder vergelijkbare omstandigheden) en welke hoeveelheid middel is daar voor nodig (m.a.w. wat is de efficiëntie)?
2. Wat is de penetratie-capaciteit/diepte van EHDA druppels in opengaande bloemknoppen van rozen vergeleken met conventionele spuittechnieken?
3. Wat is de penetratie-capaciteit/diepte van EHDA druppels in bundels van stengels van tomatenplanten vergeleken met conventionele spuittechnieken?
4. Is het met EHDA mogelijk om de verspreiding van druppels (breedte van de bundel) te controleren, om bijvoorbeeld alleen gedeelten van planten te bespuiten zoals bloemknoppen (roos) en groeipunten van potplanten?
5. Is het mogelijk om met EHDA ook te onderkant van bladeren te bespuiten?

2 Theorie

2.1 ElectroHydroDynamische Atomisatie(EHDA)

Atomisatie is gedefinieerd als het uit elkaar vallen van een vloeistof in kleine druppeltjes (Lefebvre, 1989; Ashgriz, 2011). De resulterende suspensie van druppeltjes in de gas fase (lucht) wordt een nevel (*spray*) genoemd. Bij atomisatie van vloeistoffen worden verschillende regimes onderscheiden, de 'jetting regime' waarbij een waterstraal ontstaat, het 'dripping regime' waarbij alleen druppels gevormd worden en een 'dripping faucet regime' oftewel 'druppelende kraan' dat een overgang vormt tussen de waterstraal en het vallen van druppels (Ambravaneswaran, 2000, 2004; Clanet et al. 1999). Bij een hoog debiet door de spuitmond wordt een waterstraal gevormd (zie figuur 2.1). Wanneer de vloeistof met een laag debiet door de spuitmond ('nozzle') wordt gepompt, wordt er een hangende druppel gevormd die langzaam groeit als gevolg van een balans tussen de zwaartekracht (die de druppel wil laten vallen) en de oppervlaktespanning (wil de druppel bij elkaar houden) van de druppel. Uiteindelijk wordt de druppel te zwaar en valt naar beneden.



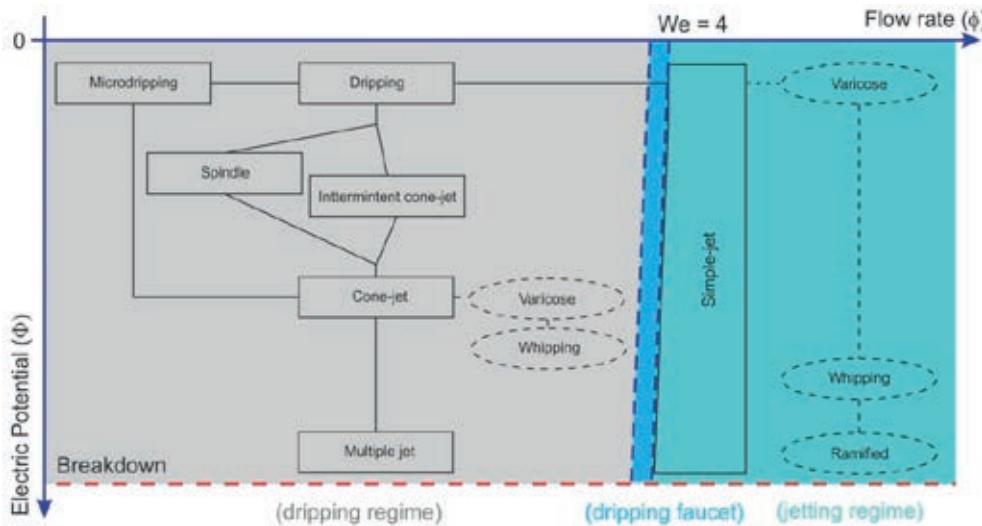
Figuur 2.1 Verschillende mechanismes voor druppelvorming; a) dripping regime, b) dripping faucet regime en c) jetting regime.

Bij debieten die groter zijn dan nodig om een waterstraal te vormen kan het verschil in snelheid tussen de vloeistof en de omringende lucht niet worden verwaarloosd. Aerodynamische effecten versnellen het proces van het opbreken van de waterstraal in druppels en verkorten de afstand vanaf de nozzle tot het punt waar de straal zich splitst in druppels (Hoeve et al. 2010).

Electrohydrodynamische atomisatie (EHDA), ook wel 'electrospraying' genoemd is een atomisatie proces waarbij een elektrisch veld wordt toegepast om het proces van druppelvorming te beïnvloeden. Het elektrisch veld wordt aangebracht in de zone waar de druppels gevormd worden. De methode staat bekend om de mogelijkheid om de diameter van de gevormde druppels te controleren door het aanpassen van de parameters, zoals de vloeistofeigenschappen, de nozzle geometrie, de eigenschappen van het elektrisch veld en het debiet. Electrospray wordt onder andere gebruikt voor het toedienen van medicijnen (Tang et al. 1994), dosering van chemische middelen in glastuinbouwkassen (Geerse et al. 1999) en gecontroleerde depositie (aanbrengen van coatings) (Stachewicz, 2010).

Bij EHDA wordt een elektrisch veld tot stand gebracht door een potentiaalverschil aan te brengen tussen de spuitmond en een tegen-electrode die op een zekere afstand van de spuitmond is geplaatst. De meest gebruikte configuratie is een combinatie van een nozzle en een plaatje of ring als tegen-electrode (Geerse et al. 1999; Stachewicz, 2010). Het elektrisch veld wordt bepaald door het toegepaste potentiaalverschil, de elektrische geleidbaarheid van de vloeistof, de gekozen geometrie en de interactie met andere geladen oppervlakken (Hartman *et al.*, 1999). In de meeste gevallen wordt de vloeistof met een constante snelheid door de spuitmond gepompt (met een precisie-pomp).

Het elektrisch veld dat met EHDA wordt opgewekt verandert de verhouding in krachten die op de waterstraal worden uitgeoefend en daarmee het mechanisme van druppelvorming. Bij een bepaalde verhouding tussen de oppervlaktespanning van de vloeistof, het elektrische veld en de kinetische energie van de vloeistof die uit de spuitmond komt, verandert de klassieke bolvormige vorm van de hangende druppel in een kegelvorm, de zogenaamde 'Taylor Cone' (Taylor, 1969). Aan de punt van deze kegel begint de waterstraal en deze valt vervolgens uiteen in druppels. Deze specifieke vorm van druppelvorming wordt de 'cone-jet mode' genoemd. Bij een gegeven vloeistof samenstelling en nozzle-electrode geometrie kunnen ook verschillende andere toestanden (modes) opgewekt worden door het debiet door de nozzle en het potentiaalverschil te variëren. In figuur 2.2 zijn de verschillende mechanismen van druppelvorming weergegeven (Geerse, 2003).



Figuur 2.2 Mechanismes van druppelvorming bij EHDA, (Geerse, aangepast).

Bij lage debieten (grijze gebied in figuur 2.2) is sprake van de 'dripping mode'. Deze toestand lijkt erg op die wanneer geen elektrisch veld wordt toegepast. Druppels zijn groter dan de nozzle diameter en worden in een lage frequentie gevormd; door het elektrische veld ontstaan echter wel elektrisch geladen druppeltjes. De frequentie waarmee druppels worden gevormd neemt toe bij een groter potentiaalverschil (sterker elektrisch veld), waarbij de diameter van de druppels afneemt (Cloupeau et al. 1999). In de 'jetting regime' en het overgangsgebied (blauwe en lichtblauwe gebied in figuur 2.2) kan de 'simple-jet' toestand ontstaan. In figuur 2.2 is te zien dat voor de simple-jet mode lagere debieten en hogere potentiaalverschillen nodig zijn in vergelijking tot de 'jetting regime' (meest rechtse gebied van figuur 2.2), omdat de axiale component van het elektrisch veld de stroomsnelheid van de vloeistof verhoogt. Agostinho et al. (2011) definiëren de 'simple jet mode' als de toestand waarbij druppelvorming plaatsvindt door het elektrische veld (zoals bij de cone-jet mode) maar bij debieten die veel hoger zijn. Bij lage potentiaalverschillen is er nauwelijks verschil met het ontstaan van druppels uit een ongeladen waterstraal. Bij hogere potentiaalverschillen worden de verschillen duidelijker.

2.2 EHDA om gewasbeschermingsmiddelen in tuinbouwkassen te verspuiten

De eerste poging om het EHDA proces te gebruiken om chemische stoffen te verspuiten in de (glas)tuinbouw om daarmee de effectiviteit te verhogen is gerapporteerd door Geerse (Geerse et al. 2003). In deze studie wordt gesteld dat mogelijke voordelen van EHDA zijn: kleinere diameter van de druppels, een grotere indringing in de plant, mogelijkheid om ook de onderkant van het blad te bereiken door electrostatische aantrekking tussen blad en druppel en de meer doelgerichte toepassing (hogere bedekkingsgraad per volume toegepast middel). In de experimenten van Geerse werd echter EHDA in de cone-jet mode toegepast, vanwege de mogelijkheid om zeer geladen, kleine druppels te maken in een nauwe druppelgrootteverdeling (verschil in onderlinge druppelgrootte is minimaal). Het grote nadeel van deze methode is het lage debiet, ergens tussen 0,1 en 1 ml/h per nozzle. Voor toepassingen waar een hoger debiet nodig is, bijvoorbeeld om een hogere bedekkingsgraad te realiseren, is een multi-nozzle configuratie nodig met een relatief groot aantal nozzles.

Agostinho (Agostinho, 2013) heeft de toepasbaarheid van de simple-jet mode onderzocht. Uit zijn onderzoek blijkt dat hierbij eveneens een nauwe druppelgrootteverdeling mogelijk is, maar dat grotere en minder elektrisch geladen druppeltjes gevormd worden in vergelijking met de cone-jet mode. Het grote voordeel ten opzichte van de cone-jet mode is dat veel hogere debieten per nozzle mogelijk zijn, typisch tussen 300 en 500 ml/h (dus een factor 500 hoger). De druppelgrootte hangt sterk af van de binnen-diameter van de nozzle en ligt tussen de 1 en 50 μm (50 – 200 μm). Deze druppelgrootte is geschikt voor de meeste toepassingen.

Agostinho heeft ook een multi-nozzle systeem ontwikkeld (Agostinho et al. 2013) dat in de simple jet mode kan worden toegepast. Het grote voordeel volgens de auteur is de mogelijkheid om het systeem op te schalen naar grotere debieten zonder dat de grootte van de druppels verandert, het systeem blijft hierbij compact (5 nozzles op een oppervlak van 40 cm^2).

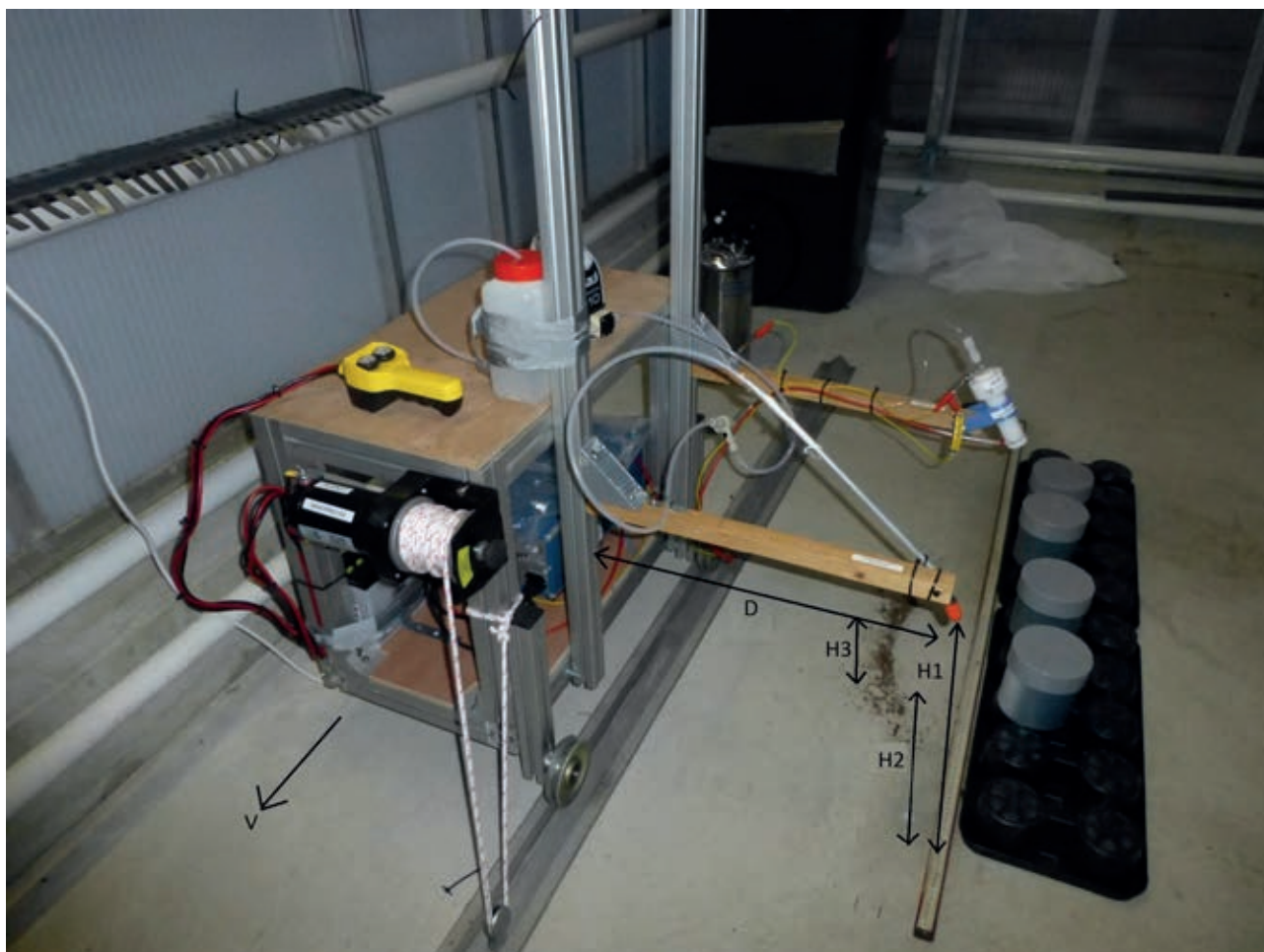
Op deze manier kan EHDA in de simple-jet mode worden toegepast in de glastuinbouw. Hierbij kan het benodigde debiet met bijbehorende bedekkingsgraad worden gerealiseerd en kan de gewenste druppelgrootte worden geregeld door de binnen-diameter van de nozzle aan te passen. Bovendien kan de breedte van de nevel worden geregeld om specifieke delen van de plant te bespuiten. Aandachtspunt is de geringere elektrische lading van de druppels, deze beïnvloedt de onderlinge afstoting van de druppels en de mogelijkheid om de onderkant van bladeren te bespuiten (minder elektrostatische aantrekking).

3 Materiaal en methode

3.1 Bepalen bedekkingsgraad

Voor het uitvoeren van de proeven is een mobiele EHDA-unit gebouwd (het 'karretje', zie figuur 3.1) om ervoor te zorgen dat de verschillende spuittechnieken onder dezelfde omstandigheden worden toegepast. Dezelfde omstandigheden wil in dit geval zeggen: zelfde afstand tot de te bespuiten plant (D), zelfde hoogte (H), zelfde hoek en zelfde snelheid langs de planten (v). Hierbij zij opgemerkt dat de flow (l/min) per spuittechniek varieert om een goede druppelgrootte en verspreiding te verkrijgen.

De mobiele opstelling bestond uit een karretje met twee vaste armen waarop de verschillende spuittechnieken werden gemonteerd, een lier-takel om het karretje met constante snelheid te kunnen laten rijden en verschillende onderdelen nodig voor de verschillende spuittechnieken (reservoirs, elektrische voeding, pomp etc). Om ervoor te zorgen dat de afstand tot de planten constant en vergelijkbaar bleef voor de verschillende experimenten werd het karretje over een rails geleid (figuur 3.1). De verschillende afstanden die relevant zijn voor de proeven zijn te zien in figuur 3.1 en opgenomen in tabel 3.1: afstand tot de plant (D), nozzle hoogte (H1), plant-hoogte (H2) en de snelheid van het karretje (v). De afstand tussen de nozzle en de plant (H3) is berekend als $H1 - H2$ (zie tabel 3.1).



Figuur 3.1 Mobile EHDA-unit, tevens voorzien van conventionele spuittechnieken.

Drie verschillende (delen van) planten werden gebruikt voor de experimenten:

- Stengels van tomatenplanten: stengelbotrytis is een veel voorkomende ziekte, met name in de herfst. Een goede bestrijding door rondom op de (bundel) stengels te spuiten zou veel voordelen kunnen opleveren;
- Potplanten: vaak individueel, van bovenaf, te bespuiten bladeren en, als voorbeeld, ook een gewas waarop groeiremmers moeten worden gespoten die alleen in de top van de plant nodig zijn;
- Bloemknoppen van rozen: in de opengaande knoppen zitten insecten (trips) die daar moeilijk te bestrijden zijn met conventionele technieken.

Bij alle experimenten werd de bedekkingsgraad bepaald, rozen en tomatenstengels werden ook gebruikt om te bepalen of bepaalde delen van de plant bereikt kunnen worden (penetratie-capaciteit van de EHDA druppels).

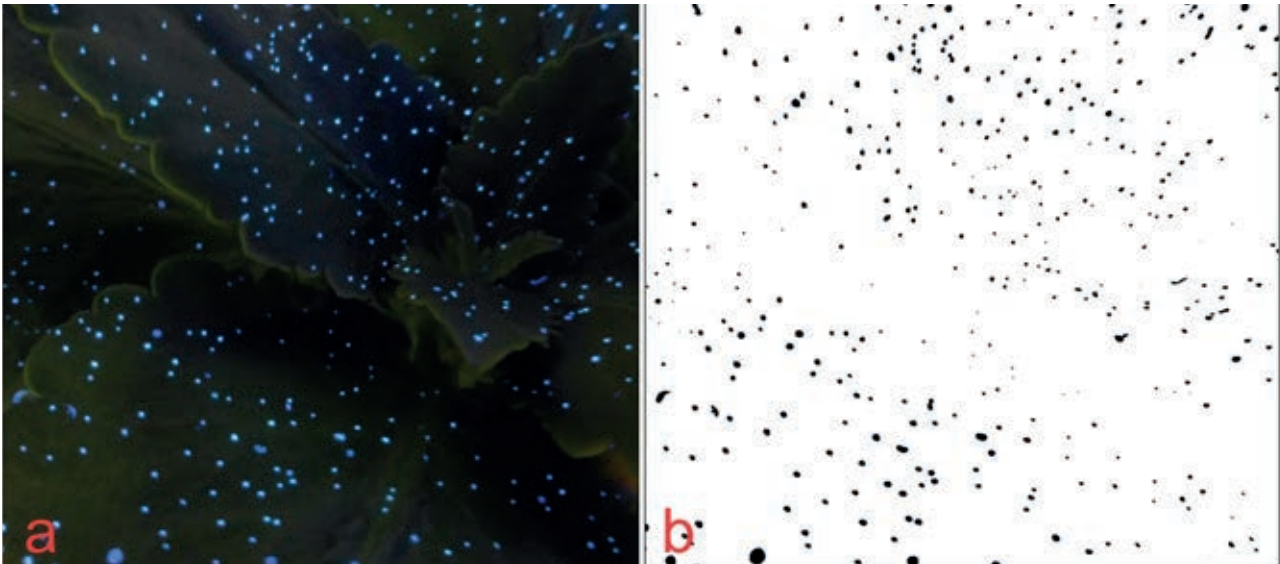
Tabel 3.1

Afstanden, snelheden en debieten gebruikt voor de experimenten.

Spuittechniek	H1 (cm)	H2 (cm)			H3 (cm)			D (cm)	f (mL/min)	V (cm/s)	L (cm)
		Potplanten	Pozen	Tomaat	Potplanten	Pozen	Tomaat				
EHDA	39	19	30	25	20	9	14	50	8	7	63
EHDA halve snelheid	39	19	30	25	20	9	14	50	8	3.5	63
Conventioneel	39	19	30	25	20	9	14	50	100	7	63
Pulverisator	39	19	30	25	20	9	14	50	350	7	63

De spuitvloeistof die gebruikt werd voor alle experimenten was een 2,5% oplossing van de fluorescerende kleurstof Tinopal in MilliQ-water. Hiermee is het mogelijk de bedekkingsgraad zichtbaar te maken met UV-licht en deze te fotograferen. Na de experimenten werden de planten gedurende een nacht gedroogd en naar een donkere kamer gebracht, beschenen met UV-licht en gefotografeerd. De planten werden van verschillende kanten gefotografeerd, bladeren van de boven- en de onderkant (potplanten) en interne delen (rozen). Om onbekende redenen kon de kleurstof niet op de tomatenstengels worden gedetecteerd. Daarom zijn verder geen resultaten beschreven.

Om de bedekkingsgraad te kwantificeren werden de foto's (digitaal) bewerkt met het software pakket ImageJ®. Hiervoor werden foto's op korte afstand van de bladeren gemaakt om afwijkingen in oppervlak te voorkomen door de kromming van de bladeren. De foto's werden eerst geconverteerd in een binair beeld ('zwart-wit') op basis van het contrast tussen waterdruppels en plantmateriaal, vervolgens is een drempelwaarde gebruikt om druppels te onderscheiden van plantonderdelen. Een bekende afstand in de foto (breedte van het blad, diameter van de roos) werd gebruikt als referentie om het oppervlak te kunnen bepalen. De bedekkingsgraad (oppervlak bedekt met druppels als percentage van het totale oppervlak) is berekend als het totale oppervlak van de druppels (totaal van donkere vlekken) gedeeld door het totale oppervlak (witte delen). Een voorbeeld van de oorspronkelijke met UV belichte foto en de met ImageJ® bewerkte foto is te zien in figuur 3.2.



Figuur 3.2 Bedekkingsgraad op bladeren van potplanten gefotografeerd onder UV licht (a) en na bewerking met ImageJ® (b).

Om een reproduceerbaar resultaat te krijgen en interne en externe effecten (onscherpe foto's, samenvloeien van druppels, wisselende veld omstandigheden) te minimaliseren zijn bij elk experiment 5 planten opgesteld op een rij langs de rails en bespoten, bovendien is het experiment na 24 uur herhaald. In totaal zijn dus 10 planten per experiment bespoten en beschikbaar voor analyse. De bedekkingsgraad is berekend als het gemiddelde van 10 planten. Een overzicht van alle uitgevoerde experimenten is te vinden in Bijlage I.

De resultaten van het toepassen van de verschillende spuittechnieken zijn op twee manieren vergeleken:

1. Als bedekkingsgraad: percentage oppervlak van de plant bedekt met druppels;
2. Als genormaliseerde bedekkingsgraad waarbij de bedekkingsgraad is gecorrigeerd voor het volume spuitvloeistof dat is gebruikt.

Om de genormaliseerde bedekkingsgraad (χ) uit te rekenen voor verschillende spuittechnieken, is gebruik gemaakt van de volgende formule (vergelijking 1):

$$\chi = \frac{C_i}{V_i} \quad (1)$$

Hierin is C_i de gemiddelde bedekkingsgraad berekend voor een bepaalde spuittechniek voor een bepaalde plant. V_i is het geschatte volume vloeistof dat gebruikt is per plant. Dit volume werd geschat op basis van de snelheid van het karretje (cm/s), het spuitdebiet (ml/s) en de afstand tussen de planten (cm), zie tabel 3.1. De tijd dat een plant bespoten is werd berekend op basis van de breedte van de plant (23 cm voor potplanten en 8 cm voor rozen) en de snelheid van het karretje. Het volume (ml) spuitvloeistof werd berekend als de tijd (s) vermenigvuldigd met het debiet (ml/s).

De experimenten werden herhaald met de nozzles geplaatst onder een hoek van 30 graden naar beneden (in plaats van horizontaal gericht) om te onderzoeken of de hoek waaronder gespoten wordt effect heeft op de bedekkingsgraad van boven- en onderkant van de bladeren.

3.2 Indringing/penetratie capaciteit, druppel dispersie en bedekking onderkant van de bladeren

Om te onderzoeken of de spreiding van de druppels (breedte van de nevel) te beheersen is om daarmee bespuiten van specifieke delen van planten mogelijk te maken werden aanvullende experimenten uitgevoerd en gefilmd met een high speed camera (Photron Fastcam AS1 high speed camera met front light illumination).

Om de dispersie van druppels van EHDA te onderzoeken werd de spray gefilmd met 3000 fps, bij verschillende potentiaalverschillen, te weten 2, 4 en 6 kV, en vergeleken met de bespuiting met de conventionele spuit met een debiet van 100 ml/h. De experimenten werden uitgevoerd onder dezelfde omstandigheden als beschreven in tabel 3.1, dat wil zeggen dezelfde afstanden en snelheden H1, H2, D en v.

Om de penetratie-diepte (indringing) van druppels in rozen bloemen te bekijken werden de bloemen opengesneden en werden aanvullende foto's gemaakt van de binnenste delen van de bloem.

Om te onderzoeken of de EHDA druppels ook de onderkant van het blad bereiken werden de bladeren ook van de onderkant gefotografeerd.

Aanvullende experimenten werden gedaan met chrysantenplantjes bij verschillende potentiaalverschillen (6 en 7,5 kV) waarbij de hoek van de nozzle op 30 graden naar beneden gericht was (in plaats van horizontaal). Tevens werd de spuittijd gevarieerd (5, 10, 15 en 20 seconden).

4 Resultaten

4.1 Bedekkingsgraad

Bij het bekijken van de resultaten na opdrogen van de druppels bleek dat de tomatenstengels alle Tinopal geabsorbeerd hadden en het dus niet mogelijk was om de neergeslagen druppels zichtbaar te maken. Daarom zijn de resultaten van die experimenten niet opgenomen in dit rapport. Het is niet duidelijk waarom dit zo was, het is niet overeenkomstig eerdere ervaringen met dit middel bij Wageningen UR Glastuinbouw.

In tabel 4.2 staan de berekende waarden voor de gemiddelde bedekkingsgraad C_i (%), het gebruikte volume vloeistof V_i (ml) en de genormaliseerde bedekkingsgraad χ weergegeven voor de experimenten met rozen, respectievelijk de potplanten.

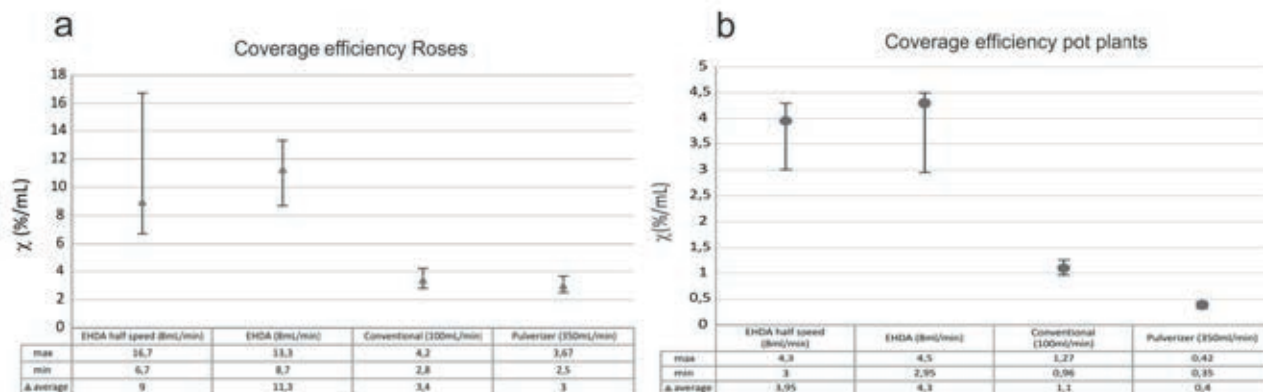
Tabel 4.2

Gemiddelde bedekkingsgraad (C_i) en genormaliseerde bedekkingsgraad (χ) voor verschillende planten en verschillende spuittechnieken

Spuittechniek	Rozen			Potplanten		
	$C_i(a)$ (%)	V_i (mL)	χ	$C_i(a)$ (%)	V_i (mL)	χ
EHDA	1,7	0,15	11,3	1,8	0,44	4,3
EHDA halve snelheid	3	0,3	9	3,6	0,88	4
Conventioneel	15,8	6,4	3,4	7,5	19,25	1,1
Pulverisateur	6,1	1,8	3	5,9	5,5	0,4

Uit tabel 4.2 valt af te lezen dat de bedekkingsgraad bij toepassing van EHDA (1 nozzle) weliswaar lager is dan die verkregen met de pulverisateur en de conventionele spuit, maar dat daar in verhouding veel minder vloeistof voor nodig is. Dit blijkt uit de waarden voor de genormaliseerde bedekkingsgraad waarbij de waarden van de bedekkingsgraad gecorrigeerd zijn voor het geschatte volume spuitvloeistof.

In figuur 4.3 is de genormaliseerde bedekkingsgraad nogmaals weergegeven met daarbij de spreiding in de resultaten. In de figuur geven de symbolen de gemiddelde waarden weer en de fouten-balken de spreiding in de resultaten (onderkant van de fouten-balk is de laagst gevonden waarde en bovenkant is de hoogst gevonden waarde). In figuur 4.3 is te zien dat de absolute waarde van de genormaliseerde bedekkingsraad voor EHDA aanzienlijk (factor 4 voor rozen tot een factor 10 voor potplanten) hoger is vergeleken met de conventionele technieken. Echter de spreiding in de resultaten is ook aanzienlijk groter.



Figuur 4.3 Genormaliseerde bedekkingsgraad voor rozen (a) en potplanten (b) voor de verschillende spuit-

technieken. Fouten balken geven de minimum en maximum berekende waarden weer.

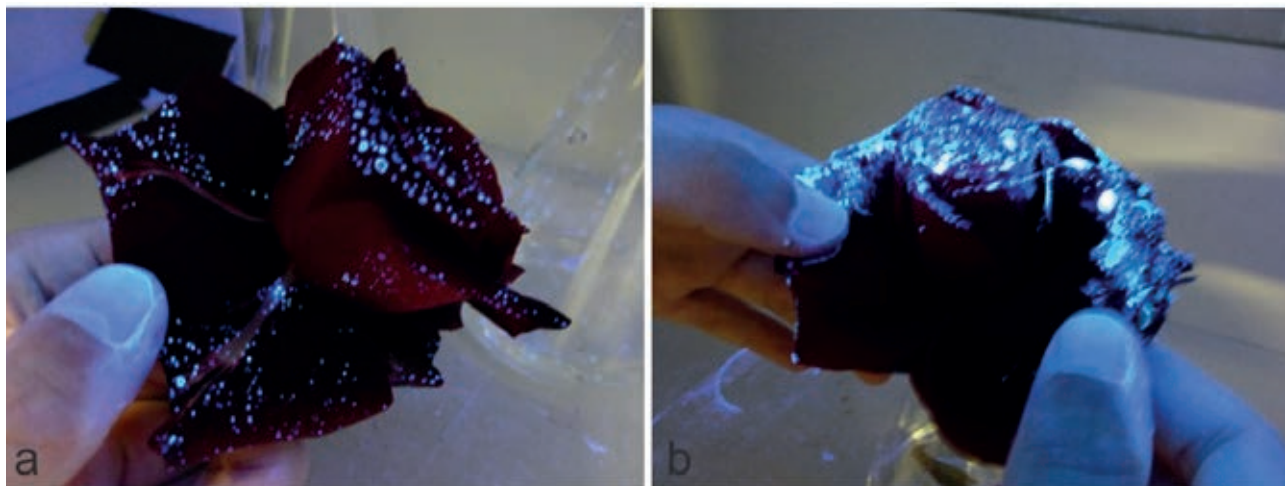
Een en ander betekent dat met EHDA dezelfde bedekkingsgraad behaald zou kunnen worden met ongeveer 4 keer minder volume middel. Aangenomen dat het debiet per nozzle niet (veel) hoger kan, betekent dit tevens dat voor EHDA meerdere nozzles nodig zijn voor eenzelfde bedekkingsgraad. Recente ontwikkelingen (Agostinho et al. 2013) hebben laten zien dat EHDA kan worden toegepast met een multi-nozzle configuratie. Wanneer bijvoorbeeld 5 nozzles worden gebruikt zal de bedekkingsgraad aanzienlijk toenemen terwijl de benodigde apparatuur niet wezenlijk aangepast hoeft te worden (blijft compact). Het verdient aanbeveling de benodigde nozzle configuratie in een vervolgproject nader te onderzoeken.

Hierbij moet tevens opgemerkt worden dat bij bespuitingen met spuitbomen/spuitmasten in de praktijk een hogere snelheid wordt toegepast zodat de resultaten van deze conventionele technieken in de praktijk waarschijnlijk gunstiger zullen zijn (minder volume gedoseerd per plant door de hogere snelheid).

Er werden aanvullende experimenten uitgevoerd met de nozzles onder een hoek van 30 graden naar beneden gericht om te onderzoeken of dit de bedekkingsgraad zou verbeteren. De resultaten lieten geen verbetering zien en zijn daarom niet opgenomen in dit rapport.

4.2 Indringing / penetratie capaciteit

In figuur 4.4 is het penetratie-patroon te zien van EHDA druppels in rozen (bloemen) vergeleken met de resultaten van de pulverisator. In figuur 4.4 is te zien dat de EHDA druppels veel verder in het binnenste deel van de rozen zijn gekomen. Dit resultaat kan worden toegeschreven aan het feit dat de EHDA druppels veel kleiner zijn dan de druppels geproduceerd met de pulverisator.



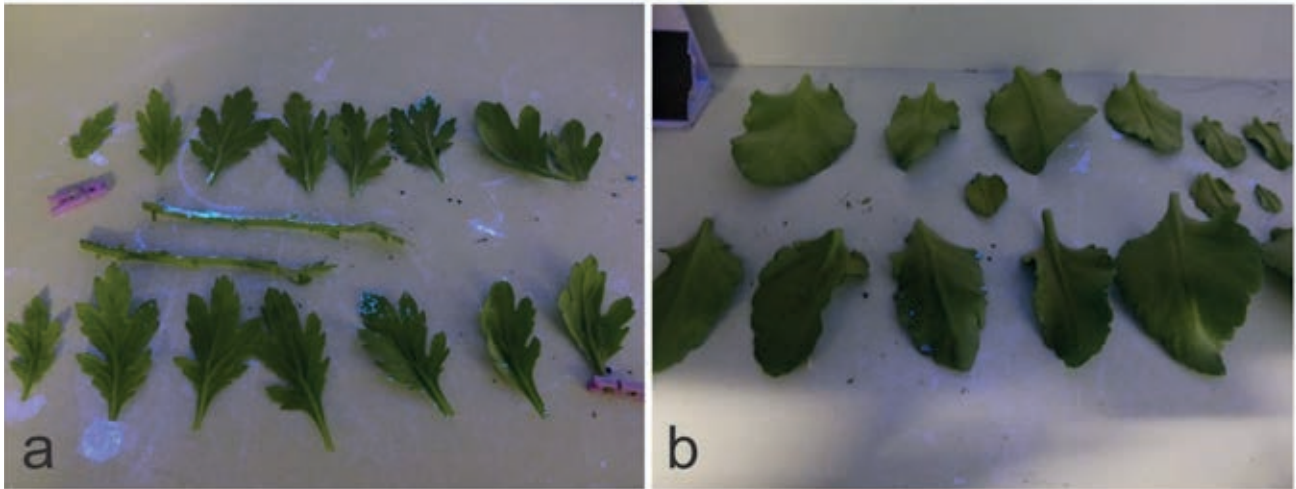
Figuur 4.4 Penetratie-profiel van druppels met EHDA (a) en de pulverisator (b).

Vergelijkbare resultaten (beperkte penetratie) werden verkregen met de pulverisator nozzle met een flow van 350 ml/min en werden bij alle planten waargenomen.

4.3 Bedekking onderkant bladeren

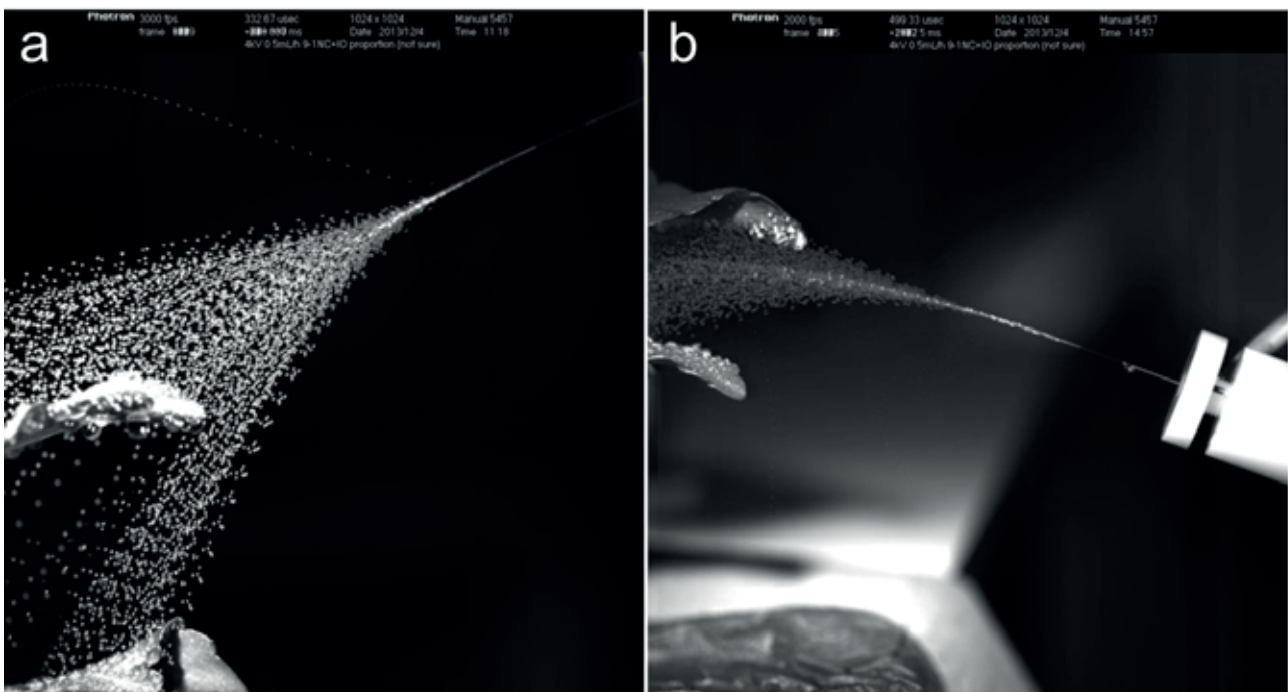
In het onderzoek van Geerse en Marijnissen (Geerse, 2003) is aangetoond dat EHDA druppels ook de onderkant van het blad kunnen bereiken. Dit wordt veroorzaakt doordat de EHDA druppels geladen zijn en elektrostatisch aangetrokken worden door het blad-oppervlak. Echter deze resultaten werden verkregen met EHDA in de cone-jet mode. Hierbij worden zeer lage debieten toegepast, in de orde grootte van 0,5 ml/h (vgl simple-jet 8 ml/min = 480 ml/h) en worden zeer kleine monodisperse druppeltjes ($\approx 1 \mu\text{m}$) gevormd. Onderhavige experimenten zijn uitgevoerd in de simple-jet mode, hierbij zijn grotere debieten mogelijk, maar worden tevens grotere druppels gevormd ($\approx 200 \mu\text{m}$), deze zijn wel nog steeds monodispers.

Omdat de afbuiging van de druppels door elektrostatische aantrekking afhangt van de massa van de druppels (die op zijn beurt gerelateerd is aan de gemiddelde diameter) is het minder waarschijnlijk dat druppels in de simple-jet mode afbuigen naar de onderkant van het blad. Om dit te onderzoeken werd ook de onderkant van de bladeren gefotografeerd. In figuur 4.5 zijn twee foto's opgenomen van de onderkant van de bladeren van chrysantenplantjes, respectievelijk potplanten.



Figuur 4.5 Bedekking van de onderkant van het blad met EMDA druppels voor chrysanten (a) en potplanten (b).

In figuur 4.5 is te zien dat er geen druppels op de onderkant van de bladeren terecht zijn gekomen. Daarom werd een aanvullend experiment gedaan met een high speed camera om te zien of druppels afgebogen kunnen worden naar de onderkant van het blad (nozzle naar beneden gericht) en of de nozzle omhoog gericht kan worden om hetzelfde effect te bereiken. Het resultaat is te zien in figuur 4.6.



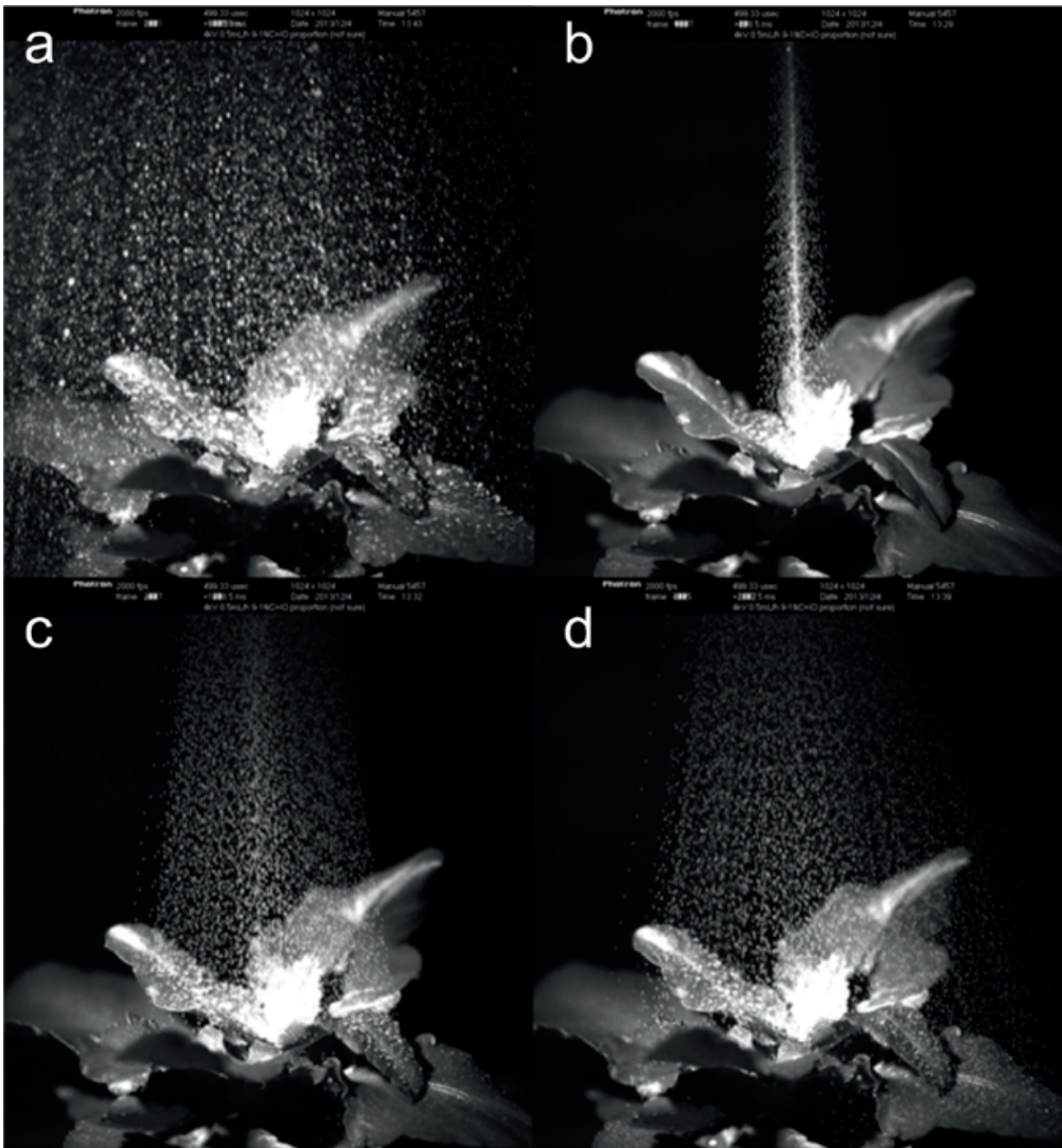
Figuur 4.6 Gecombineerd beeld (2000 opnames) van een EMDA spray met de nozzle 30 graden naar beneden gericht (a) en 30 graden omhoog gericht (b).

In figuur 4.6a is te zien dat de EHDA druppels in de simple-jet mode inderdaad niet afgebogen worden naar de onderkant van het blad. In figuur 4.6b is te zien dat de nozzle omhoog gericht kan worden zonder dat interferentie tussen de druppels optreedt. Dit betekent dat de ideale configuratie om zowel de onderkant als de bovenkant van een blad te bereiken een systeem is met twee nozzles (één naar boven gericht en één naar beneden gericht). Een dergelijk systeem kan de hoge effectiviteit (lage debieten) van EHDA combineren met een volledige bedekking.

4.4 Beheersen van druppel dispersie

De mogelijkheid om de dispersie van EHDA druppels te reguleren in de simple-jet mode is gerapporteerd door Agostinho et al. (2011). Deze mogelijkheid kan van groot belang zijn voor toepassing op het verspuiten van gewasbeschermingsmiddelen in de glastuinbouw. Hiermee is het mogelijk om specifieke delen van de plant te bespuiten, waarmee de effectiviteit van EHDA nog verder wordt verhoogd.

Om deze mogelijkheid te demonstreren werd de EHDA spray gefilmd met de high speed camera bij verschillende potentiaalverschillen onder dezelfde condities als de voorgaande experimenten. In figuur 4.7 zijn de resultaten te zien van een serie experimenten met potplanten.



Figuur 4.7 *Dispersie van druppels met de conventionele nozzle (100ml/min) (a) en met EHDA bij 2kV (b), 4 kV (c) en 6 kV (d). Bij de EHDA experimenten is een debiet van 8 ml/min gebruikt.*

In figuur 4.7 is te zien dat de bundel van druppels gereguleerd kan worden door het elektrisch potentiaalverschil te veranderen.

5 Conclusies en Aanbevelingen

5.1 Conclusies

Op basis van de verkregen resultaten kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- De bedekkingsgraad van bladeren was bij toepassing van EHDA (1 nozzle) veel lager (1,5-4%) dan die van conventionele systemen (6-16%). Echter de debieten per nozzle die hiervoor nodig zijn zijn voor EDHA veel lager. Gegevens zijn hierdoor moeilijk direct met elkaar te vergelijken.
- Onder de omstandigheden van de experimenten werden 4 (rozen) tot 10 (potplanten) keer hogere genormaliseerde bedekkingsgraden berekend vergeleken met conventionele methoden, te weten een pulverisator met een debiet van 350 ml/h en een conventionele nozzle met een debiet van 100 ml/h;
- EHDA druppels dringen dieper binnen in het binnenste van knoppen van rozen.
- Voor de specifieke proefomstandigheden zoals hier gebruikt (simple-jet mode ipv cone-jet mode), werd de onderkant van de bladeren niet met EHDA druppels bedekt. Met behulp van high speed camera beelden kon geen afbuiging van de druppels naar de onderkant van de bladeren worden waargenomen.
- Met een EHDA nozzle onder een hoek van 30 graden naar boven gericht kon de onderkant van de bladeren wel bedekt worden, er trad hierbij geen interferentie van de druppels op. Voor een gelijktijdige bedekking van de onderkant en de bovenkant van het blad is een systeem bestaande uit minimaal 2 nozzles nodig.
- Het is met EHDA mogelijk om specifieke delen van een plant te bespuiten. De bundel druppels kan gereguleerd worden door het potentiaalverschil aan te passen.

5.2 Aanbevelingen

Het verdient aanbeveling om uitgaande van een bepaalde streefwaarde voor de bedekkingsgraad (bijvoorbeeld 50%), een multi-nozzle EHDA systeem te bouwen en de resultaten te vergelijken met een conventioneel systeem (met 1 enkele nozzle). Op basis van een dergelijk experiment kan een directe vergelijking gemaakt worden met betrekking tot effectiviteit, benodigde volumes en kostprijs voor beide systemen. Basis van vergelijking is dan de manier waarop EHDA en conventionele alternatieven het best in de praktijk kunnen worden toegepast (inclusief snelheid van passeren van rijen planten).

Het verdient aanbeveling om bij bovenstaande experimenten een massa balans voor het spuitmiddel op te stellen zodat de efficiency (hier uitgedrukt in genormaliseerde bedekkingsgraad) ook uitgedrukt kan worden in de 'hoeveelheid gedoseerd aan planten gedeeld door de totale gift (in L/ha)'.

Tevens verdient het aanbeveling op basis van de veelbelovende resultaten, marktpartijen te zoeken om de technologie verder te ontwikkelen en op de markt te brengen.

5.3 Toekomstperspectief

De auteurs zien twee ontwikkelingen die in de toekomst samengebracht kunnen worden. Aan de ene kant wordt in het kader van het Interreg project "Gezonde Kas" gewerkt aan imaging technieken om aangetaste delen van planten in beeld te brengen. Anderzijds ontwikkelt de EHDA techniek zich tot een flexibele spuittechniek die verschillende grootte van druppels kan leveren (door aanpassen van de nozzles) en die verschillende bedekkingsgraden kan leveren (door aanpassen van het aantal nozzles). Combinatie van beide technieken in één systeem maakt het mogelijk alleen die plekken te bespuiten die aangetast zijn. Dit maakt de bestrijding van ziekten en plagen niet alleen effectiever maar levert een aanzienlijke besparing op in het gebruik van middelen. Gezien de steeds strictere regelgeving ten aanzien van het toedienen van deze middelen (hoeveelheid per hectare per jaar) en ten aanzien van toegestane gehalten in het spuiwater, is deze ontwikkeling zeer gewenst.

6 Referenties

- Agostinho, L.L.F., C.U. Yurteri, E. Fuchs and J.C.M. Marijnissen (2011). *Monodisperse water microdroplets generated by electrohydrodynamic atomization in the simple-jet mode*, Applied Physics Letters, p 9.
- Agostinho, L.L.F., C.U. Yurteri, J. Wartena, S.P. Brouwer and E.C. Fuchs (2013). *Insulated multinozzle system for electrohydrodynamic atomization in the simple-jet mode*, Applied Physics Letters 102 (19).
- Agostinho, L.L.F. (2013). *Electrohydrodynamic Atomization in the simple-jet mode, out-scaling and application*. PhD-thesis, Delft University of Technology, Delft.
- Ambravaneswaran, B., S.D. Phillips and O.A. Basaran (2000). *Theoretical analysis of a dripping faucet*, Physical Review Letters 85 (25), p. 5332-5335.
- Ambravaneswaran, B., H.J. Subramani, S.D. Phillips and O.A. Basaran (2004). *Dripping-jetting transitions in a dripping faucet*, Physical Review Letters 93 (3), p. 034501.
- Ashgriz, N. (2011). *Handbook of atomization and sprays*, Vol. 01, p. 927, Springer, New York.
- Clanet, C. and J.C. Lasheras (1999). *Transition from dripping to jetting*, Journal of Fluid Mechanics, 383, p. 307-326.
- Cloupeau, M. and B. Prunet-Foch (1989). *Electrostatic spraying of liquids in cone-jet mode*, Journal of Electrostatics 22 (2), p. 135-159.
- Geerse, K.B., J.C.M. Marijnissen, A. Keressies, M. van der Staaij and B. Scarlett (1999). *The application of electrohydrodynamic atomization in greenhouses*, Journal of aerosol science 30, supplement 1, p. S553-S554.
- Geerse, K.B. (2003). *Applications of electrospray: from people to plants*. PhD-thesis Delft University of Technology, Delft.
- Hartman, R.P.A., D.J. Brunner, D.M.A. Camelot, J.C.M. Marijnissen and B. Scarlett (1999). *Electrohydrodynamic atomization in the cone-jet mode. Physical modeling of the liquid cone and jet*, Journal of aerosol science 30 (7), p. 823-849.
- Hoeve, W.v., S. Gekle, J.H. Snoeijer, M. Versluis, M.P. Brenner and D. Lohse (2010). *Breakup of diminutive Rayleigh jets*, Physics of Fluids (22), p. 122003.
- Lefebvre, A.H. (1989). *Atomization and sprays*, T. Francis (ed.), New York.
- Stachewicz, U., C.U. Yurteri, J. Frits Dijkman and J.C.M. Marijnissen (2010). *Single event electrospraying of water*, Journal of aerosol science 41 (10), p. 963-973.
- Tang, K. and A. Gomez (1994). *Generation by electrospray of monodisperse water droplets for targeted drug delivery by inhalation*, Journal of aerosol science 25 (6), p. 1237-1249.
- Taylor, G. (1969). *Electrically driven jets*, Proc. of the Royal Society London, A. Mathematical and Physical Sciences 313 (1515), p. 453-475.
- Van Os, E.A., M. van der Staaij and J.M.P.G. Michielsen (2012). *Spatial distribution of plant protection products in soilless cultivation in a greenhouse and effect on emission to surface water*, Aspects of Applied Biology 114, p. 387-393.

Bijlage I. Overzicht experimenten met EHDA in vergelijking met een conventionele nozzle en een pulverisator

27 november 2013

Per behandeling zijn 5 planten, 5 bloemen (roos) of 5 tomatenstengels gebruikt.
De rijsnelheid bij alle toepassingen was 7 cm/sec.

Beh.	Toedieningstechniek	Gewas	Rijsnelheid	Spuithoek
1	conventionele nozzle	Kalanchoë	7 cm/sec	loodrecht (verticaal)
2	EHDA	Kalanchoë	7 cm/sec	loodrecht (verticaal)
3	pulverisator	Kalanchoë	7 cm/sec	loodrecht (verticaal)
4	conventionele nozzle	Roos	7 cm/sec	loodrecht (verticaal)
5	EHDA	Roos	7 cm/sec	loodrecht (verticaal)
6	pulverisator	Roos	7 cm/sec	loodrecht (verticaal)
7	EHDA	Kalanchoë	3,5 cm/sec	loodrecht (verticaal)
8	EHDA	Roos	3,5 cm/sec	loodrecht (verticaal)
9	conventionele nozzle	Tomatenstengel	7 cm/sec	loodrecht (verticaal)
10	pulverisator	Tomatenstengel	7 cm/sec	loodrecht (verticaal)
11	EHDA	Tomatenstengel	7 cm/sec	loodrecht (verticaal)
12	EHDA	Tomatenstengel	3,5 cm/sec	loodrecht (verticaal)
13	EHDA	Kalanchoë	7 cm/sec	30° (naar beneden)
14	EHDA	Kalanchoë	7 cm/sec	30° (naar beneden)
15	conventionele nozzle	Kalanchoë	7 cm/sec	30° (naar beneden)

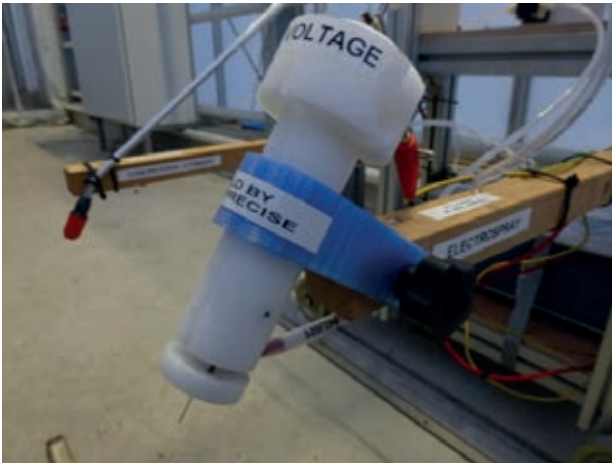
28 november 2013

Per behandeling zijn chrysanten plantjes bespoten met de EHDA-techniek,
De spuithoek was bij alle toepassingen 30° naar beneden gericht.

Beh	Spruitvolume	Potentiaalverschil	Tijd	Afstand nozzle-grond
1	6 ml/min	6 kV	5 sec	53 cm
2	6 ml/min	6 kV	10 sec	53 cm
3	6 ml/min	6 kV	15 sec	53 cm
4	6 ml/min	6 kV	20 sec	53 cm
5	6 ml/min	7,5 kV	5 sec	53 cm
6	6 ml/min	7,5 kV	10 sec	53 cm
7	6 ml/min	7,5 kV	15 sec	53 cm
8	6 ml/min	7,5 kV	20 sec	53 cm
9	6 ml/min	6 kV	5 sec	57 cm
10	6 ml/min	6 kV	10 sec	57 cm
11	6 ml/min	6 kV	15 sec	57 cm
12	6 ml/min	6 kV	20 sec	57 cm

Bijlage II. Foto's experimenten

Methoden van toepassen spuitvloeistof:



EHDA



Conventioneel

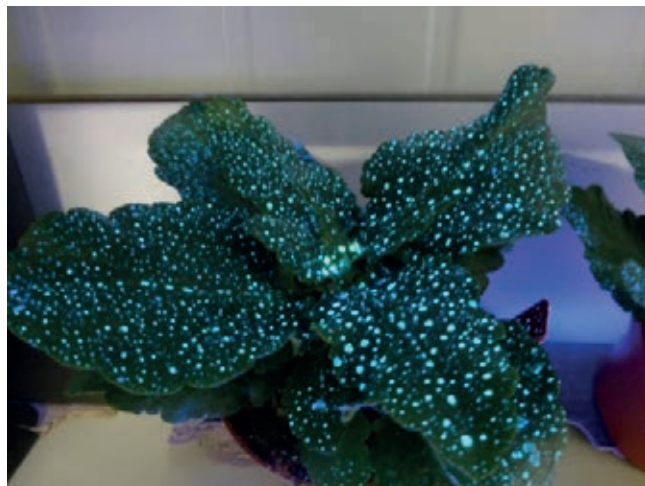
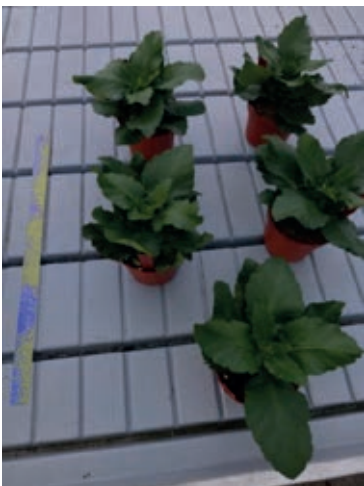


Pulverisateur

Kalanchoë

Behandelingen met de verschillende methoden.

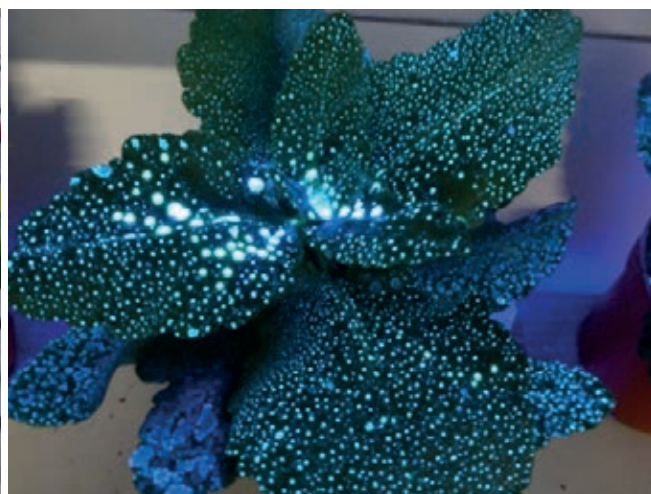
Foto's links: planten en watergevoelig papier. Foto's rechts: spuitpatroon onder UV-licht



Conventioneel



EHDA



Pulverisateur



EHDA – halve snelheid

Bloemknop roos

Behandelingen met de verschillende methoden.

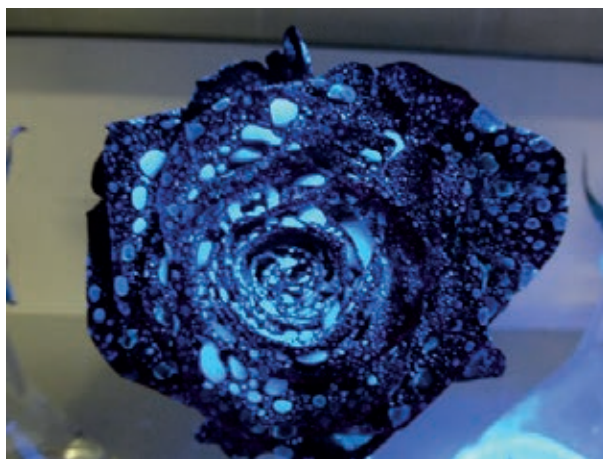
Foto's links: bloemen en watergevoelig papier. Foto's rechts: spuitpatroon onder UV-licht



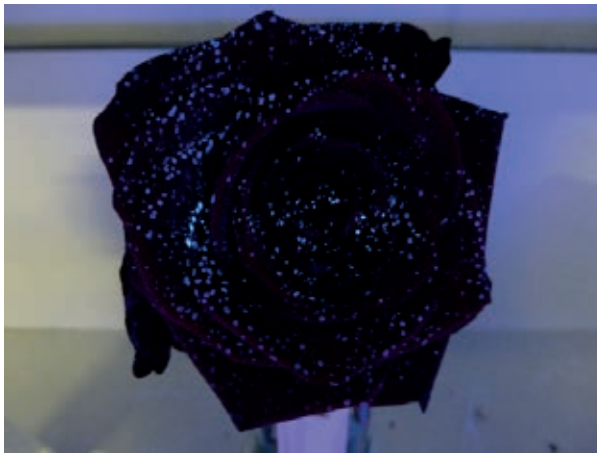
Conventioneel



EHDA



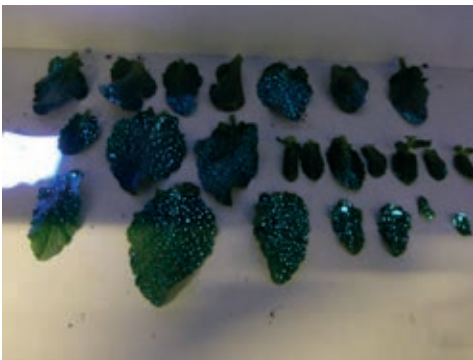
Pulverisateur



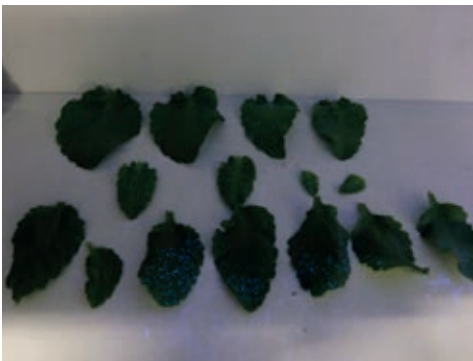
EHDA halve snelheid

Depositie spuitvloeistof met fluorescerende stof onder UV-lamp (Black light)

Kalanchoë



Conventioneel: bovenkant en onderkant bladeren



EHDA: bovenkant en onderkant bladeren



Pulverisateur: bovenkant en onderkant bladeren



EHDA halve snelheid: bovenkanten en onderkant bladeren

Indringing spuitvloeistof met fluorescerende stof in bloemknop onder UV-lamp (Black light)

Roos



Conventioneel

EHDA

Depositie spuitvloeistof met fluorescerende stof gespoten onder een hoek van 30° onder UV-lamp (Black light).

Chrysanten

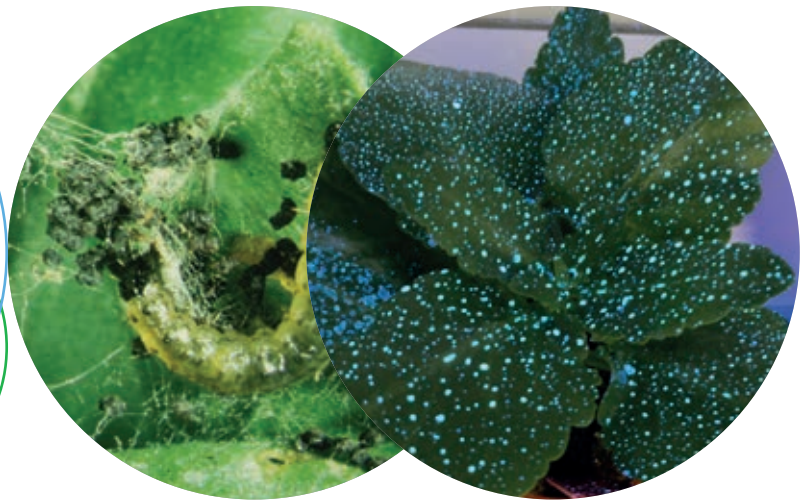
Alle behandelingen gaven het zelfde beeld.



Bovenkant bladeren

Onderkant bladeren

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



Wageningen UR Glastuinbouw
Postbus 20
2665 ZG Bleiswijk
Violierenweg 1
2665 MV Bleiswijk
T +31 (0)317 48 56 06
F +31 (0) 10 522 51 93
www.wageningenUR.nl/glastuinbouw

Glastuinbouw Rapport GTB-1322

Wageningen UR Glastuinbouw initieert en stimuleert de ontwikkeling van innovaties gericht op een duurzame glastuinbouw en de kwaliteit van leven. Dat doen wij door toepassingsgericht onderzoek, samen met partners uit de glastuinbouw, toeleverende industrie, veredeling, wetenschap en de overheid.

De missie van Wageningen UR (University & Research centre) is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen UR bundelen 9 gespecialiseerde onderzoeksinstituten van stichting DLO en Wageningen University hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 6.000 medewerkers en 9.000 studenten behoort Wageningen UR 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.