



Grenzen voor luchtkwaliteit

Effecten van discontinue blootstelling aan etheen en stikstofoxiden op paprika

C.J. van Dijk, E. Meinen & Th. A. Dueck



Referaat

Het doseren van rookgassen met CO₂ in de glastuinbouw kan grote gevolgen hebben voor het rendement van de bedrijven. Concentraties van toxische componenten kunnen sterk fluctueren in de tijd en komen zelden tot nooit alleen voor. Om het effect van deze typen blootstellingen in te kunnen schatten zijn paprikaplanten blootgesteld aan de twee belangrijkste rookgassen, NO_x en etheen. De resultaten van dit onderzoek tonen aan dat blootstelling aan zowel continue als discontinue etheen concentraties van 40 ppb of hoger al na enkele dagen tot zichtbare effecten leiden. Etheen had ook een sterk negatief effect op de knoppen die tijdens de blootstellingsperiode werden gevormd; deze vielen grotendeels af waardoor ook geen bloemen en vruchten tot ontwikkeling kwamen. Dit onderzoek toont aan dat paprikaplanten minder sterk reageren op discontinue blootstellingen van etheen dan op continue, mogelijk als gevolg van het optreden van herstelmechanismen. Dit betekent dat tuinders mogelijk meer CO₂ kunnen doseren dan op basis van de bestaande effectgrenswaarden voor mogelijk werd gehouden. De positieve effecten van CO₂ op de gewasontwikkeling leiden nauwelijks tot vermindering van de etheengevoeligheid. Vertaald naar de praktijk betekent dit dat tuinders die CO₂ doseren met rookgassen geen vermindering van de etheeneffecten hoeven te verwachten mochten de etheenconcentraties te hoog oplopen.

Abstract

The use of flue gas for additional CO₂ in greenhouse horticulture may well have large financial consequences for growers. Concentrations of toxic components in flue gas fluctuate extensively and seldom occur alone. In order to estimate the effects of fluctuating exposures, bell pepper plants were exposed to the two most important flue gas components, NO_x and ethylene. The results of this research show that continuous and discontinuous exposure to 40 ppb or more ethylene results in visible plant damage after only a few days. Ethylene also had a large effect on the flower buds that developed during the exposures: most were very quickly aborted. These results show that the response of bell pepper plants is higher when exposed to continuous concentrations than to discontinuous (peak) concentrations, possibly due to a recovery mechanism in the plant. This means that growers may be able to supply more flue gas CO₂ than they had expected. The positive effects of CO₂ on crop development do not compensate the sensitivity to ethylene. In practice, this means that growers using flue gas CO₂ should not expect that increased CO₂ will reduce the negative effects of ethylene.

© 2011 Wageningen, Wageningen UR Glastuinbouw.

Wageningen UR Glastuinbouw

Adres : Droevendaalsesteeg 1, 6708 PB Wageningen
: Postbus 16, 6700 AA Wageningen
Tel. : 0317 - 48 60 01
Fax : 0317 - 41 80 94
E-mail : glastuinbouw@wur.nl
Internet : www.glastuinbouw.wur.nl

Inhoudsopgave

	Voorwoord	5
	Samenvatting	7
1	Inleiding	9
2	Proefopzet	11
	2.1 Begassingsfaciliteit	11
	2.2 Klimaatinstellingen	12
	2.3 Plantverzorging en metingen	13
	2.4 Experimentele opzet	14
	2.4.1 Continu versus discontinu	14
	2.4.1.1 Experiment 1	14
	2.4.1.2 Experiment 2	15
	2.4.2 Combinatiebegassing	15
	2.4.2.1 Experiment 3	16
	2.4.2.2 Experiment 4	16
	2.4.3 Fotosynthesemetingen	16
	2.4.4 Phalaenopsis	17
	2.5 Statistiek	17
3	Resultaten	19
	3.1 Concentraties en klimaatomstandigheden	19
	3.2 Referentiebehandelingen	19
	3.3 Etheen: blootstellingen tijdens de licht- en donkerperiode	21
	3.4 Etheen: discontinue blootstellingen ('pieken')	22
	3.5 Etheen in combinatie met NO _x	24
	3.6 Etheen in combinatie met CO ₂	26
	3.7 Fotosynthesemetingen	28
	3.8 Phalaenopsis	29
4	Evaluatie	31
5	Referenties	33
Bijlage I	Voedingsoplossing paprika	35
Bijlage II	Gerealiseerde etheen, NO _x en CO ₂ concentraties en klimaatomstandigheden	37

Voorwoord

Door het gebruik van CO₂ uit rookgassen van WKK's is de luchtkwaliteit in kassen in toenemende mate onder druk komen te staan. Door het meedoseren van rookgassen wordt het gewas blootgesteld aan wisselende concentraties, met name in de winter wanneer de kassen vanuit energieoogpunt dicht worden gehouden kunnen concentraties hoog oplopen.

In het kader van het innovatieprogramma Kas als Energiebron is in opdracht van het Ministerie Energie, Landbouw & Innovatie en het Productschap Tuinbouw door Wageningen UR Glastuinbouw onderzoek gedaan naar de effecten van rookgassen aan gewassen in de kas. In het onderzoek zijn paprikaplanten blootgesteld aan verschillende (combinaties van) componenten uit rookgassen, waarna de effecten op de groei en ontwikkelingen zijn geanalyseerd. De resultaten van dit onderzoek worden in dit rapport weergegeven. Dit onderzoek maak onderdeel uit van het project 'Grenzen aan Luchtkwaliteit' (PT projectnr. 14089) waarin naast dit experimentele onderdeel ook metingen in de praktijk zijn uitgevoerd.

C.J. van Dijk, E. Meinen en Th. A. Dueck.
Wageningen UR Glastuinbouw
Augustus 2011

Kennisoverdracht:

Publicaties

Anon. (interview met T. Dueck). 2010. Vooral etheen schadelijk gas. Groenten & Fruit 4:17.

Boonekamp, G. (interview met T. Dueck) 2011. Groot onderzoek naar luchtkwaliteit in kassen. Groenten & Fruit Actueel 4: 14. 25 januari 2011.

Van Staalduinen, J. & Dueck T., 2010. CO₂-dosering met gereinigde rookgassen: overmaat schaadt. Onderglas 1:54-55.

Visser, P. (interview met J. Heistek en T. Dueck). Grenzen voor luchtkwaliteit. Groenten & Fruit (in voorbereiding)

Lezingen

CO₂ doseren uit WKK's: risico's voor het gewas, door Tom Dueck

Vier voordrachten Grenzen aan Luchtkwaliteit, Venlo (14 februari), Moerkapelle (15 februari), Andijk (21 februari) en Klazienaveen (22 februari).

CO₂ doseren uit WKK's: risico's voor het gewas, door Tom Dueck en Chris van Dijk

Drie voordrachten Tuinbouwrelatiedagen, (15, 16 en 17 februari) Gorinchem.

CO₂ doseren uit WKK's: risico's voor het gewas en metingen in de praktijk, door Tom Dueck

Voordracht voor DLV Plant, Wageningen.

Experimentele begassing met NO_x en etheen, en paprika, door Tom Dueck

Vier voordrachten Grenzen aan Luchtkwaliteit, Venlo (30 mei), Moerkapelle (31 mei), Andijk (23 mei) en Klazienaveen (24 mei).

Samenvatting

Tegenover de positieve effecten van het doseren van CO₂ in kassen zijn er aanwijzingen dat rookgassen uit WKK's tot negatieve effecten op groei en productkwaliteit kunnen leiden. Met name in de winter, wanneer de noodzaak tot luchten beperkt is, kan verhoging van de concentratie aan schadelijke gassen plaatsvinden zonder direct oorzakelijke verschijnselen. Gewasschade kan echter grote gevolgen voor het rendement van de bedrijven hebben. De blootstellingen van het gewas aan rookgassen vertoont geen regelmaat. Concentraties van toxische componenten kunnen sterk fluctueren in de tijd en komen zelden tot nooit alleen voor; rookgassen is een verzameling van componenten die met CO₂ de kas worden ingeblazen. Om het effect van deze typen blootstellingen te kunnen vergelijken met de kennis over ongewenste effectieve concentraties (effectgrenswaarden), zijn paprikaplanten geplaatst in begassingsfaciliteiten van Wageningen UR in Wageningen. Daarin zijn ze continu en discontinu blootgesteld aan de twee belangrijkste rookgassen, NO_x en etheen om het effect van piekconcentraties in de kas na te bootsen. Daarnaast zijn paprikaplanten blootgesteld aan etheen samen met NO_x of CO₂ om het effect van rookgassen (cocktail of mengsel van gasvormige componenten) na te bootsen.

De resultaten van dit onderzoek tonen aan dat blootstelling aan zowel continue als discontinue etheenconcentraties van 40 ppb of hoger al na enkele dagen tot zichtbare effecten leiden. Etheen had ook een sterk negatief effect op de knoppen die tijdens de blootstellingsperiode werden gevormd; deze vielen grotendeels af waardoor ook geen bloemen en vruchten tot ontwikkeling kwamen. De effecten waren bij continue blootstelling groter dan bij discontinue blootstellingen.

De lengte van het tijdsinterval waarin geen etheen wordt gedoseerd lijkt belangrijker in termen van effecten dan de absolute hoogte van de etheenconcentraties, ofwel kortdurende blootstellingen aan relatief hoge concentraties (acute blootstelling) leidt tot minder negatieve effecten ten opzichte van langere blootstelling aan lagere concentraties (chronische blootstelling). Het uitblijven van negatieve effecten bij discontinue blootstellingen kunnen mogelijk toegeschreven worden aan het onvermogen om een plant (zeer) hoge concentraties van een toxische stof in korte tijd op te nemen, of aan een herstelvermogen van de plant bij voldoende tijd tussen (discontinue) blootstellingen.

Dit onderzoek toont aan dat paprikaplanten minder sterk reageren op discontinue blootstellingen van etheen dan op continue, mogelijk als gevolg van het optreden van herstelmechanismen. Op grond daarvan is toetsing aan de bestaande effectgrenswaarde een *worst case* benadering. De effectgrenswaarde is namelijk gebaseerd op onderzoek waarin planten continu werden blootgesteld aan etheen, terwijl in de praktijk blootstelling van planten aan rookgassen als gevolg van CO₂ dosering over het algemeen een discontinu karakter heeft. Dit betekent dat tuinders mogelijk meer CO₂ kunnen doseren dan op basis van de bestaande effectgrenswaarden voor mogelijk werd gehouden. Bij het eventueel verder verkennen van de bovengrens van CO₂ dosering is het wel aan te bevelen de NO_x en etheenconcentraties in de kas te monitoren.

Eerder onderzoek wees al uit dat paprika minder gevoelig is voor NO_x dan andere gewassen, en dat werd in deze studie bevestigd. Al waren er bij zowel middelmatige als hoge concentraties van NO_x in combinatie met etheen grote negatieve effecten op paprika, de effecten verschilden weinig van die met etheen alleen, waaruit blijkt dat paprika zeer gevoelig is voor etheen. Voorzichtigheid blijft daarom geboden bij doseren van CO₂ uit rookgassen in paprika.

De positieve effecten van CO₂ op de gewasontwikkeling leiden nauwelijks tot vermindering van de etheengevoeligheid. Vertaald naar de praktijk betekent dit dat tuinders die CO₂ doseren met rookgassen geen vermindering van de etheeneffecten hoeven te verwachten mochten de etheenconcentraties te hoog oplopen.

1 Inleiding

De positieve effecten van het doseren van CO₂ in kassen zijn algemeen bekend: hogere productie en/of betere kwaliteit. Er zijn echter aanwijzingen dat er met CO₂ uit rookgassen ook negatieve effecten op groei en productkwaliteit kunnen optreden (van Dijk *et al.*, 2003). Deze worden met name toegeschreven aan de effecten van rookgassen uit installaties met warmtekrachtkoppeling (WKK's). WKK's zijn belangrijk in de Nederlandse glastuinbouw voor het verwarmen van de kas, de CO₂ productie t.b.v. gewasgroei en -productie en de opwekking van elektriciteit voor belichting en levering aan het net. Ondanks het reinigen van de rookgassen uit WKK's komen gasvormige componenten in de kas die potentieel schadelijk zijn voor het gewas.

De bedrijven met WKK (totaal circa 6000 ha) worden veelal gekenmerkt door een (energie-)intensieve teelt en hoge doseerconcentraties van CO₂. Met name in de winter, wanneer de noodzaak tot luchten beperkt is, kan verhoging van de concentratie aan schadelijke gassen plaatsvinden zonder direct oorzakelijke verschijnselen. Gewasschade kan echter grote gevolgen voor het rendement van de bedrijven hebben. Naast het werkelijke risico speelt ook de risicobeleving door de tuinder een rol. Tuinders zijn meestal onwetend van de risico's voor de gewassen.

In het onderzoek van Dueck *et al.* (2008) en Heistek *et al.* (2010a, b) zijn concentraties van rookgassen gemeten in de kassen bij het doseren van CO₂ die nadelige gevolgen kunnen hebben voor het gewas. De belangrijkste componenten die hierbij een rol spelen zijn stikstof oxiden (NO_x) en etheen (C₂H₄). Met enige regelmaat worden door tuinders negatieve effecten op groei en productkwaliteit van kasgewassen gemeld, waarbij men vermoedt dat het niet goed functioneren van de WKK-reiniger installatie een rol heeft gespeeld, maar gebruik van andere apparatuur met verbrandingsmotor, in en om de kas, kan hier oorzaak van zijn. Er zijn aanwijzingen dat de gewasschade toegeschreven kan worden aan NO_x en/of etheen, maar het is niet uitgesloten dat ook andere componenten hierbij een rol spelen zoals benzeen, zwaveldioxide en waterstoffluoride die ook in rookgassen kunnen voorkomen.

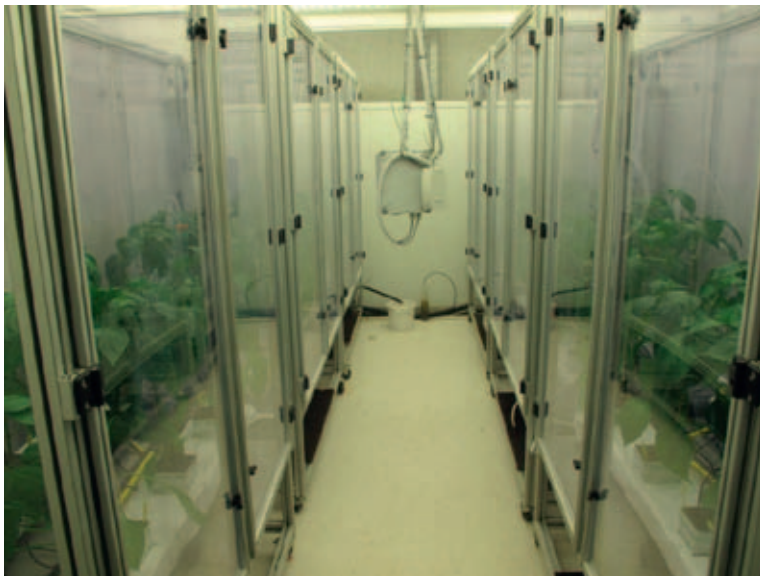
In het algemeen kan het telen bij hogere CO₂ niveaus gehinderd worden door het verhoogde risico voor gewassen door de overige componenten die met de rookgassen in de kas terecht komen. In het licht van bovenstaande problematiek is in 2007 alle relevante informatie over effecten van NO_x en etheen op planten geëvalueerd (Dieleman *et al.*, 2007). Zij stelden effectgrenswaarden voor die afgeleid zijn uit gegevens van begassingsexperimenten onder laboratoriumcondities aan veel verschillende plantensoorten. Op verzoek van de paprika sector is nader onderzoek gedaan naar de gevoeligheid van paprika voor NO_x en etheen en hoe die gevoeligheid zich verhoudt tot de bestaande effectgrenswaarden ter bescherming van planten in het algemeen (Van Dijk, *et al.*, 2010). Echter, zowel de effectgrenswaarden als het onderzoek naar de gevoeligheid van paprika zijn gebaseerd op continue blootstellingen aan NO_x of etheen, terwijl 'rookgassen' een cocktail van componenten is waardoor planten in kassen aan discontinue (piek)concentraties worden blootgesteld.

Doel van dit onderzoek is het vaststellen van de relatie tussen effecten van discontinue (piek)concentraties en continue blootstellingen aan etheen, waardoor effectgrenswaarden beter gerelateerd kunnen worden aan realistisch blootstellingen van rookgassen in een kas. Daarnaast zal het effect van etheen in combinatie met NO_x op paprikaplanten worden vastgesteld. Er is voor paprika gekozen omdat de respons van paprika voor rookgassen (m.n. etheen en NO_x) redelijk bekend is zodat een goede vergelijking gemaakt kan worden.

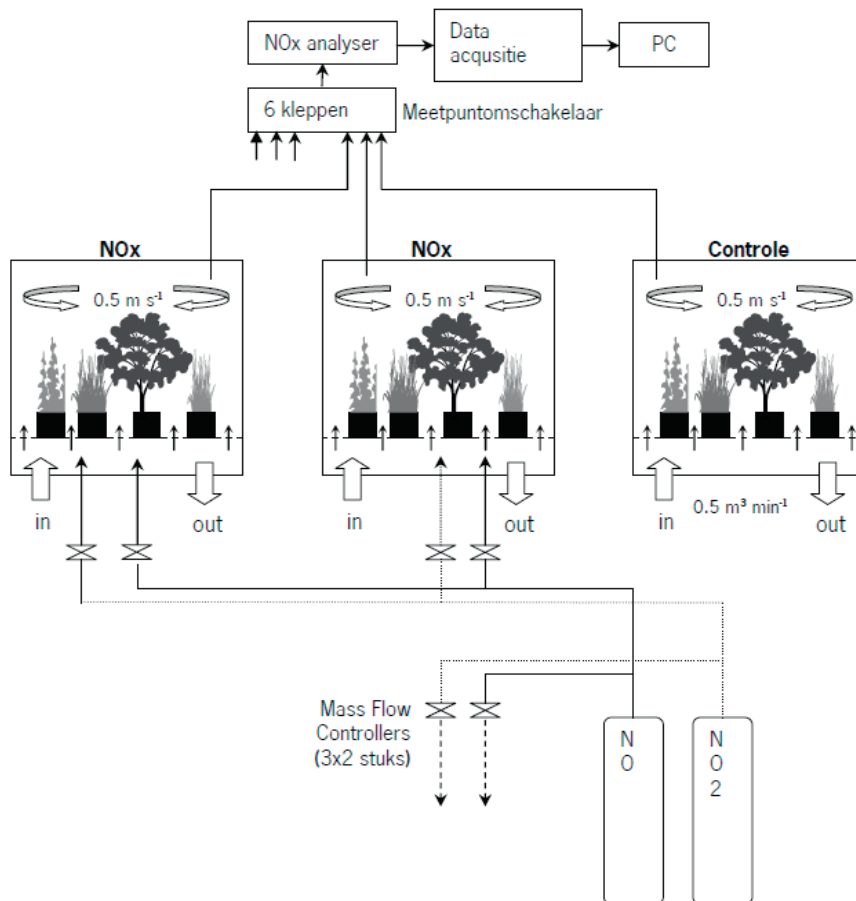
2 Proefopzet

2.1 Begassingsfaciliteit

Paprikaplanten werden blootgesteld in zes onafhankelijk van elkaar werkende begassingskasjes die stonden opgesteld in een geconditioneerde klimaatkamer (Figuur 1.). De luchtdichte begassingskasjes zijn gemaakt van polycarbonaat (lexaan) in een frame van aluminium profielen. De afmetingen van de netto plantruimte van elk kasje zijn: 160x90x135 cm (1,94 m³). De bodem bestaat uit een bak afgedekt met een geperforeerde plaat, beide van RVS. Met een centrifugaalventilator wordt de snelheid van de circulatielucht op ca. 0,5 m.sec⁻¹ gehouden (recirculatie 60 m³ min⁻¹). Verversingslucht wordt met een hoeveelheid van ca. 0,5 m³ min⁻¹ aangezogen via een koolfilter. Uitgaande lucht wordt rechtstreeks naar de buitenlucht afgevoerd. In elk kasje werd een lichte onderdruk aangehouden om weglekken van gassen naar de klimaatkamer te voorkomen. De planten werden blootgesteld aan het gewenste concentratieniveau door de betreffende component (of combinatie van componenten) vanuit een gascylinder door middel van thermische *Mass Flow Regulators*, de Brooks 5850 TR (Veenendaal) voor NO_x en de HI-TEC Model F-201CV (Bronkhorst) voor etheen. De componenten werden in de juiste hoeveelheid en gedurende de gewenste periode toegediend aan de ingaande luchtstroom onder de geperforeerde bodemplaat (Figuur 2.). De NO_x concentraties werden gemeten met een NO_x chemiluminiscentie monitor (Monitor Labs 8840, San Diego, California), etheen werd gemeten met behulp van laser technologie (ETD-300, Sensor Sense, Nijmegen) en CO₂ met behulp van een Infrared Gas Analyzer (Monitor Labs 3300, San Diego, California).



Figuur 1. Opstelling van 6 begassingskasjes in de klimaatkamer.



Figuur 2. Schematische weergave van een deel van de proefopstelling voor blootstelling aan NO_x.

2.2 Klimaatinstellingen

Tijdens de verschillende experimenten werd een daglengte aangehouden van 12 uur (5.00-17.00 uur). De lichtintensiteit op planthoogte werd ingesteld op ca. 300 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (Philips TL 54 W, kleur 840). Aan het begin van de lichtperiode werd de lichtintensiteit gedurende 30 minuten geleidelijk opgebouwd en aan het einde van de lichtperiode ook gedurende 30 minuten weer geleidelijk afgebouwd. Vijftien minuten voor en na de lichtperiode werd additioneel verroodlicht toegediend door middel van gloeilampen (Philips, Superlux Agro 150 W, negen stuks).

Bij alle experimenten werd de temperatuur in de begassingskasjes gedurende de lichtperiode ingesteld op 25 °C en gedurende de donkerperiode op 23 °C. Opbouw en afbouw van de temperatuur vond geleidelijk plaats; circa twee uur na begin van de lichtperiode werd 25 °C bereikt, daarna liep de temperatuur nog geleidelijk op naar circa 26 °C aan het einde van de lichtperiode rond 16:30 uur. Circa twee uur na het begin van de donkerperiode was de temperatuur weer gedaald tot 23 °C. De relatieve luchtvochtigheid in de kasjes werd ingesteld op circa 70%.

2.3 Plantverzorging en metingen

Jonge paprikaplanten van het ras 'Derby' werden geleverd door plantenkwekerij 'Van der Lugt' uit Bleiswijk. 'Derby' is een gangbaar ras en daarmee representatief voor de Nederlandse paprika sector. Bij één experiment was Derby op het gewenste moment niet leverbaar; in plaats daarvan is een vergelijkbaar ras E413704 gebruikt. Na aflevering van de planten in Wageningen werden deze één tot twee weken in de kas geplaatst tot de planten het juiste stadium hadden bereikt. De planten werden vervolgens overgebracht naar de begassingskasjes. De op steenwolblokjes opgekweekte planten werden op steenwolmatten in plastic goten (libra) met drain geplaatst en door middel van een automatisch doseersysteem naar behoefte voorzien van standaard voedingsoplossing (Bijlage I). Per begassingskasje werden acht planten ingezet, per plant werden twee stengels aangehouden. Na een acclimatisatieperiode van 24 uur werden de begassing gestart. Op het moment van starten van een begassing was de eerste bloem in de splitsing open en net gezet. De knoppen in de tweede splitsing waren nog gesloten of nét open. De knoppen in de derde splitsing waren nog klein en gesloten. In totaal waren er dus zeven goed zichtbare bloemen en knoppen aanwezig. In het groeipunt van de planten waren de knopjes van de 4^e, 5^e en 6^e als speldeknoopjes zichtbaar. De planten werden wekelijks gedieft, waarbij per gediefde stengel steeds één blad en één knop werd aangehouden.



Figuur 3. Paprikaplanten 'Derby' op het moment van inzetten.

Tijdens een begassing werden de planten regelmatig gecontroleerd op zichtbare symptomen (epinastie, chlorose, bladbeschadiging, blad/bloem of vrucht abortie, etc.). Epinastie is een specifiek en relatief snel optredend, reversibel, effect van etheen van het schuin naar beneden gaan staan van bladeren.

Na afloop van elke begassingsperiode werden de volgende parameters bepaald: aantal bloemen, aantal knoppen (diameter > 2 mm), aantal vruchten (diameter > 1 cm), aantal internodia (> 1 cm). De biomassa en bladoppervlakte werd gemeten van het deel van de plant boven de 2e splitsing; dit deel van het gewas was nog in ontwikkeling op het moment dat de begassing gestart werd. Voor de biomassa bepaling werd het drooggewicht gemeten van stengel, blad en vruchten samen.

2.4 Experimentele opzet

In het kader van dit project werden tussen oktober 2010 en april 2011 in totaal vier begassingsexperimenten uitgevoerd waarvan drie in duplo (Tabel 1.). In alle experimenten werden paprikaplanten blootgesteld aan etheen (C₂H₄) met verschillende doseringsstrategieën, met of zonder toevoeging van NO_x of CO₂. Voorafgaande aan de vier experimenten is een proefbegassing uitgevoerd voor het inschatten van de meest geschikte concentratie range. Paprikaplanten zijn gedurende circa drie weken blootgesteld aan verschillende discontinue etheen concentraties en na afloop beoordeeld. De waarnemingen zijn niet gekwantificeerd maar duidelijk was wel dat er verschillen te zien waren tussen de behandelde en onbehandelde planten. Zichtbare effecten waren minder bloemen/knoppen en kleiner blad. Op grond van deze resultaten zijn de concentratieniveaus vastgesteld. In alle experimenten werden twee 'referentie behandelingen' aangehouden, namelijk een controle behandeling, waar geen etheen werd toegediend en een continue begassing met 40 ppb etheen. Behandelingen werden *random* verdeeld over de zes kasjes.

Tabel 1. Chronologisch overzicht van de begassingsexperimenten

Experiment	Begassing	Periode	
		Herhaling 1	Herhaling 2
<i>Continu versus discontinu</i>			
1	Etheen: licht- en donkerperiode	1 okt – 20 okt 2010	*
2	Etheen: discontinu 'pieken'	22 okt – 10 nov 2010	28 jan – 16 feb 2011
<i>Combinatiebegassing</i>			
3	Etheen i.c.m. NO _x	2 dec – 22 dec 2010	28 dec – 19 jan 2011
4	Etheen i.c.m. CO ₂	24 feb – 15 mrt 2011 **	25 mrt – 13 apr 2011

* *Experiment 1 is in enkelvoud uitgevoerd*

** *geen Derby, maar E413704*

2.4.1 Continu versus discontinu

De huidige effectgrenswaarden zijn gebaseerd op continue (chronische) blootstellingen. In de praktijk komen echter ook kortdurende piekconcentraties regelmatig voor. Om aan te tonen of er verschillen zijn in plantgevoeligheid tussen blootstellingen aan sterk variërende concentraties (pieken) en gelijkblijvende (continue) concentraties zijn planten blootgesteld aan verschillende blootstellingregimes. Planten werden blootgesteld aan een vooraf gedefinieerd patroon en niveau van etheen en de effecten werden vergeleken met de referentie behandelingen.

2.4.1.1 Experiment 1

In het eerste experiment werd onderzocht of er verschillen in effect optraden na blootstelling aan etheen gedurende de licht- of donkerperiode. Naast de twee referentie behandelingen werden planten blootgesteld aan 40 of 80 ppb gedurende de 12 uur licht- of donkerperiode.

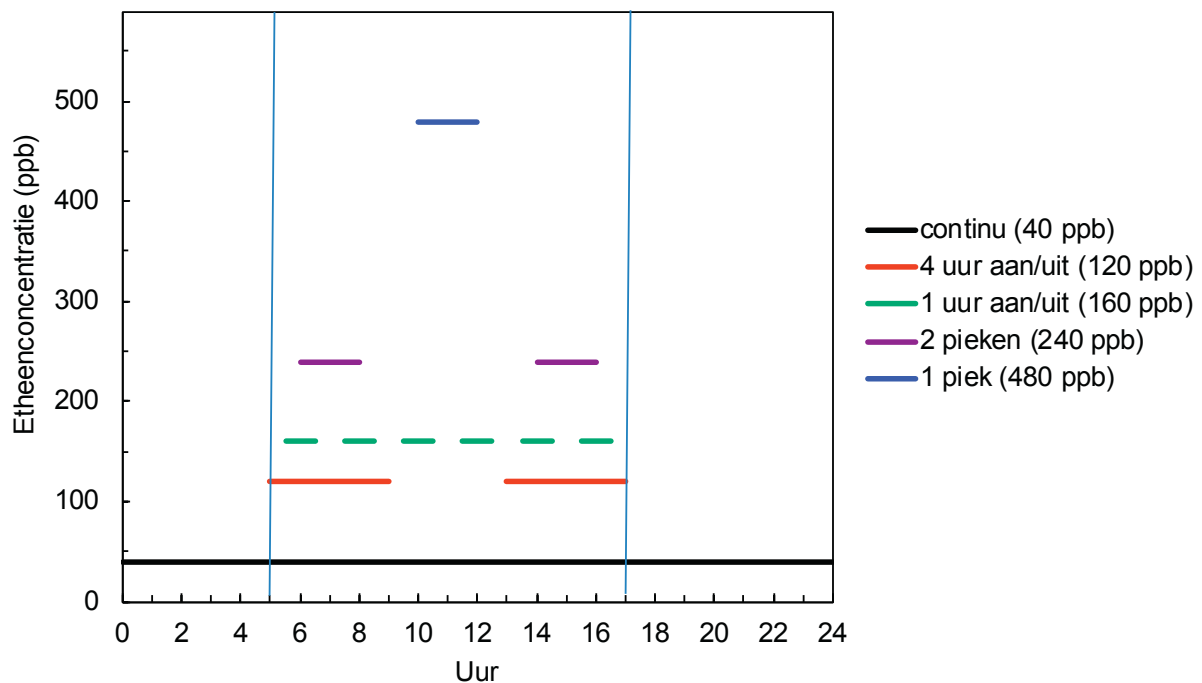
- | | |
|-----|---|
| Nr. | Behandeling |
| 1. | Controle (geen toevoeging van etheen) |
| 2. | 40 ppb continu |
| 3. | 40 ppb gedurende de lichtperiode van 12 uur (5:00 – 17:00 uur) |
| 4. | 40 ppb gedurende de donkerperiode van 12 uur (17:00 – 5:00 uur) |
| 5. | 80 ppb gedurende de lichtperiode van 12 uur (5:00 – 17:00 uur) |
| 6. | 80 ppb gedurende de donkerperiode van 12 uur (17:00 – 5:00 uur) |

2.4.1.2 Experiment 2

Op grond van de resultaten van het eerste experiment zijn de behandelingen van experiment 2 vastgesteld. Naast de twee referentie behandelingen werden planten blootgesteld aan verschillende concentratieniveaus (pieken) gedurende de lichtperiode (Figuur 4.). De blootstellingregimes waren gedefinieerd als concentratie vermenigvuldigd met de duur (ppb. uur). Het niveau van de blootstellingen was 960 ppb.uur en was gelijk in alle behandelingen.

Nr. Behandeling

1. Controle (geen toevoeging van etheen)
2. 40 ppb continu
3. 120 ppb gedurende twee perioden van vier uur tijdens de lichtperiode (totaal 8 uur blootstelling)
4. 160 ppb gedurende zes perioden van een uur tijdens de lichtperiode (totaal 6 uur blootstelling)
5. 240 ppb gedurende twee perioden van twee uur tijdens de lichtperiode (totaal 4 uur blootstelling)
6. 480 ppb gedurende een periode van twee uur midden in de lichtperiode (totaal 2 uur blootstelling)



Figuur 4. Overzicht van de blootstellingsperioden tijdens de lichtperiode (experiment 2).

2.4.2 Combinatiebegassing

De huidige effectgrenswaarden zijn gebaseerd op continue (chronische) blootstellingen aan één component. Uit de literatuur is bekend dat combinaties van componenten elkaars effect kunnen versterken (meer dan additief) of afzwakken (minder dan additief). Planten werden blootgesteld aan etheen in combinatie met voor de glastuinbouw realistische concentraties NO_x of CO_2 .

2.4.2.1 Experiment 3

In het derde experiment werd het effect van een combinatie van componenten begassing onderzocht. NO_x bestaat uit een mengsel van stikstofoxide (NO) en stikstofdioxide (NO_2). Rookgassen van WKK's bestaan hoofdzakelijk uit NO. De verhouding tussen NO en NO_2 is voor dit experiment bepaald op basis van eerdere metingen op verschillende bedrijven met een WKK installatie (Dueck *et al.* 2008). Op grond van deze metingen is gekozen voor een vaste verhouding tussen NO en NO_2 van 80:20. Naast de twee referentie behandelingen werden planten blootgesteld aan etheen zowel afzonderlijk als in combinatie met NO_x .

Nr. Behandeling

1. Controle (geen begassing)
2. 40 ppb etheen continu
3. 40 ppb etheen continu + 200 ppb NO_x continu
4. 80 ppb etheen in de lichtperiode + 600 ppb NO_x continu
5. 40 ppb etheen continu + 600 ppb NO_x continu
6. 80 ppb etheen in de lichtperiode + 200 ppb NO_x continu

2.4.2.2 Experiment 4

Onderzoeken naar de effecten van rookgassen zijn/worden in de meeste gevallen uitgevoerd bij atmosferische CO_2 concentraties van circa 400 ppm. Nederlandse glastuinbouwbedrijven worden echter veelal gekenmerkt door een (energie-)intensieve teelt en hoge doseerconcentraties van CO_2 , oplopend tot 1000-1200 ppm. Experiment vier moet inzicht geven of effecten van etheen worden beïnvloed door de heersende CO_2 concentratie. In het vierde experiment werd planten blootgesteld aan verschillende etheenconcentraties al dan niet in combinatie met 800 ppm CO_2 (continu). In de behandelingen waar geen additioneel CO_2 werd toegediend was de atmosferische CO_2 concentratie circa 435 ppm.

Nr. Behandeling

1. Controle (geen etheen begassing)
2. Controle (geen etheen begassing) + 800 ppm CO_2 continu
3. 40 ppb etheen continu
4. 40 ppb etheen continu + 800 ppm CO_2 continu
5. 160 ppb gedurende zes perioden van een uur tijdens de lichtperiode
6. 160 ppb gedurende zes perioden van een uur tijdens de lichtperiode + 800 ppm CO_2 continu

2.4.3 Fotosynthesemetingen

Voor het krijgen van meer inzicht in het effect van de volledige cocktail aan componenten die in rookgassen kunnen voorkomen op de fotosynthese zijn een aantal fotosynthesemetingen uitgevoerd. Fotosynthesemetingen zijn uitgevoerd met een fotosynthesemeter (Licor 1800-14, USA) met een bladkamer van 2.0 cm^2 onder vaste klimaatcondities (21 °C, en circa 85% RV in de bladkamer), en bij 2 lichtintensiteiten, 242 en 432 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Hiervoor is een hoeveelheid rookgas uit de CO_2 darm bij SO Natural opgevangen in een kunststof monsterzak. Fotosynthese werd gemeten aan blad van *Spatiphyllum* planten met 'controle' lucht (verhoogd CO_2 zonder additionele rookgascomponenten) en met 'rookgas' afkomstig van de WKK (verhoogd CO_2 met additionele rookgascomponenten). De CO_2 concentratie in het 'rookgas' was 880 ppm, de CO_2 concentratie in de 'controle' lucht werd het zelfde niveau ingesteld. De NO_x concentratie in het 'rookgas' was 75 ppb.

2.4.4 Phalaenopsis

Bij Phalaenopsis kwekerij SO Natural uit Moerkapelle (projectpartner) zijn symptomen geconstateerd aan bloembladeren waarbij het vermoeden bestond dat hoge NO_x en/of etheenconcentraties in de verwerkingsruimte hierbij een rol zouden hebben gespeeld. In januari 2011 zijn 18 Phalaenopsis planten geleverd door SO Natural. Deze planten (zonder symptomen) werden blootgesteld aan verschillende etheen en NO_x concentraties van het lopende begassingsexperiment (Experiment 3, zie paragraaf 2.4.2). In elk begassingskasje werden drie Phalaenopsisplanten geplaatst. Doel hiervan was na te gaan of er een verband is tussen blootstelling aan etheen en/of NO_x en de waargenomen symptomen. De potten van de planten werden om de dag gedompeld in leidingwater om de planten van voldoende vocht te voorzien.

2.5 Statistiek

Experiment 1 is in enkelvoud uitgevoerd; voor de verschillende effectparameters zijn de gemiddelde waarden van acht planten gepresenteerd met de standaardfout.

Experimenten 2, 3 en 4 zijn in duplo uitgevoerd. Data zijn geanalyseerd met een variantieanalyse (Genstat 13th edition), waarbij de twee herhalingen als blokstructuur zijn gedefinieerd. De LSD (least significant difference) is berekend met een onbetrouwbaarheid van 5%. Bij deze analyse is aangenomen dat er geen systematische effecten van de kasjes zijn. Deze aanname is onderbouwd met experiment 2, waarbij de kasjes bij de 2 herhalingen volledig zijn geloot. De residuen van de factor 'kasjes' lieten geen systematisch verschil zien. Deze aanname is verder onderbouwd doordat in alle experimenten 2 behandelingen kwamen altijd terug (controle en continue begassing met 40 ppb etheen). Het etheeneffect t.o.v. de controle was in alle experimenten redelijk gelijk ondanks dat de behandelingen in andere kasjes werden uitgevoerd.

Bij experimenten 3 en 4 waren de behandelingen opnieuw volledig geloot over de kasjes, maar werden om technische redenen de herhalingen in dezelfde kasjes uitgevoerd. Voor experimenten 2, 3 en 4 zijn de gemiddelde waarden van de verschillende effectparameters van de twee herhalingen gepresenteerd met de LSD-waarde ($p < 0.05$).

3 Resultaten

3.1 Concentraties en klimaatomstandigheden

Een overzicht van de gerealiseerde etheen, NO_x en CO₂ concentraties, gemiddelde etmaaltemperatuur en relatieve luchtvochtigheid tijdens de verschillende experimenten is weergegeven in Bijlage II. In de behandelingen met een continue blootstelling aan etheen, NO_x en/of CO₂ kwamen de gerealiseerde concentraties goed overeen met de gewenste concentratieniveaus. Ook bij de discontinue blootstellingen aan etheen van vier uur of langer per etmaal was dat het geval. Echter, bij discontinue behandelingen van een of twee uur werden de gewenste concentratieniveaus wel gehaald in het betreffende tijdsbestek maar waren de gemiddelde concentraties iets lager dan het gewenste niveau. Dit kwam doordat bij deze kortdurende blootstellingsperioden een deel van de concentratiemetingen als gevolg van een vaste meetfrequentie plaatsvonden in de periode net voor en na het te bereiken concentratieniveau. De achtergrondconcentraties van etheen, NO_x en CO₂ kwamen overeen met de gebruikelijke achtergrondwaarden zoals die in de buitenlucht voorkomen.

3.2 Referentiebehandelingen

In alle experimenten werden twee 'referentie behandelingen' aangehouden, namelijk een controle behandeling, waar geen etheen werd toegediend en een continue begassing met 40 ppb etheen, waarvan bekend was dat bloemabortie optrad (Van Dijk *et al.*, 2010). De resultaten van deze behandelingen waren voor alle experimenten vrijwel gelijk, namelijk geen effecten in de controlebehandeling en het sterkste effect in de 40 ppb continue behandeling. Onderstaand een beschrijving van de effecten zoals die 40 ppb continu behandelingen zijn waargenomen.

Twee tot vijf dagen na het starten van de etheenbegassing was het eerste effect zichtbaar in de kop van de plant: de bladpunten van de jongste bladeren waren naar beneden gericht, het blad stond een beetje bol en was wat bobbelig. Nog een paar dagen later was duidelijk te zien dat het blad van de aan etheen blootgestelde planten in de kop kleiner bleef ten opzichte van de controle behandeling. Ongeveer 7 tot 10 dagen na start van de begassing waren er minder open bloemen en de bloemen waren kleiner en minder wit van kleur. Er werden nog wel knoppen gevormd in de kop van de plant maar voordat deze tot bloei konden komen vielen ze af (abortie). Na 10 tot 15 dagen waren er geen open bloemen meer aanwezig en waren de meeste splitsingen leeg door knopabortie. Bij beëindiging van de begassing na circa drie weken waren de planten ieler (blad in de kop kleiner) en meer gedrongen (kortere internodia). Het oudste blad was enigszins vergeeld. Er was na drie weken één internodium meer gevormd bij continue begassing met etheen.

Controle



Na 2 tot 5 dagen



Na 10 dagen: bloemen en zetting



Na 3 weken

40 ppb continu



Na 2 tot 5 dagen: andere bladstand in de kop



Na 10 dagen: lege splitsingen; geen bloemen



Na 3 weken: andere morfologie en ieler gewas

Figuur 5. Overzicht van de paprikaplanten van de twee 'referentie behandelingen' op verschillende tijdstippen tijdens de behandeling. Links: controle behandeling (geen etheen). Rechts: continue begassing met 40 ppb etheen.

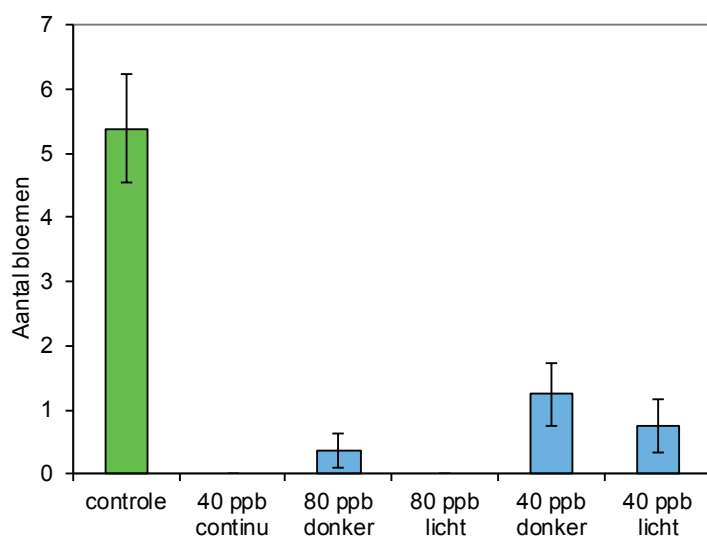
3.3 Etheen: blootstellingen tijdens de licht- en donkerperiode

Ongeveer vijf dagen na begin van het experiment was er een effect te zien aan de bladstand van alle aan etheen blootgestelde planten. De bladranden kromden naar beneden waardoor enigszins bolstaande bladeren te zien waren ('getrokken bladstand'), niet te verwarren met epinastie. De mate van kromming van de bladranden was het sterkste in de behandeling met een continue blootstelling aan 40 ppb etheen.

Blootstelling aan etheen had geen effect op de (verdere) ontwikkeling van de gezette vruchten (1^e splitsing), bloemen (2^e splitsing) en knoppen (3^e splitsing) die bij de start van de begassing al aanwezig waren. In alle behandelingen ontwikkelden deze zich verder tot vruchten. In alle behandelingen, met en zonder etheen, waren na de blootstellingsperiode van circa drie weken nog een vergelijkbaar aantal knoppen aanwezig (Tabel 2.). Echter, blootstelling aan etheen, zowel continu als discontinu had bij de gegeven concentraties een relatief groot effect op de knoppen die tijdens de blootstellingsperiode werden gevormd. Veel nog kleine knoppen kwamen niet meer tot ontwikkeling en vielen van de plant met als gevolg ook minder bloeiende bloemen en gezette vruchten per plant. Gedurende het experiment kwamen in de behandeling zonder etheen nog gemiddeld 5 à 6 'nieuwe' bloemen tot bloei. In de etheenbehandeling van 40 ppb en 80 ppb gedurende de donkerperiode was dat slechts 1 à 2 en in de overige behandelingen (40 ppb continu en 80 ppb in de lichtperiode) kwam geen enkele bloem nog tot bloei (Figuur 6.). Planten blootgesteld aan etheen hadden na drie weken één tot twee internodia meer dan de planten in de controle.

Tabel 2. Aantal knoppen en de verhouding tussen het aantal bloemen en het aantal knoppen per plant na 19 dagen begassen met etheen (gemiddelde van één experiment en se, n=8)

Begassingsduur	Etheen (ppb)	Aantal knoppen	Aantal bloemen/aantal knoppen
Controle (niet begast)	0	18.4 ± 2.3	0.31 ± 0.03
24 uur	40	18.3 ± 3.4	0.00 ± 0.00
12 uur donker	80	22.9 ± 2.3	0.01 ± 0.01
12 uur licht	80	20.9 ± 1.7	0.00 ± 0.00
12 uur donker	40	13.5 ± 3.1	0.08 ± 0.03
12 uur licht	40	18.4 ± 2.2	0.05 ± 0.03



Figuur 6. Gemiddeld aantal open bloemen per plant na blootstelling aan verschillende etheenbehandelingen gedurende 19 dagen (n=8 met se).

Bij beëindiging van de begassing na circa drie weken was het bladoppervlak van de aan etheen blootgestelde planten ten opzichte van de controle, het sterkste effect die waargenomen werd bij continue blootstelling aan 40 ppb. Bij de discontinue blootstellingen aan 40 of 80 ppb was het effect op het bladoppervlak onderling vergelijkbaar. Ook met betrekking tot de biomassa van blad, stengel en vruchten (totale bovengrondse productie) werd het sterkste effect gevonden bij de continue blootstelling aan 40 ppb etheen en waren de effecten van de discontinue blootstellingen vergelijkbaar.

Tabel 3. Drooggewicht van de kop van de plant (g/plant), het bladoppervlak van de kop van de plant (cm²/plant), het aantal vruchten en het aantal internodia per plant na 19 dagen begassen met etheen (gemiddelde van één experiment en se, n=8)

Begassings-duur	Etheen (ppb)	Drooggewicht (g/plant)	Bladoppervlakte (cm ² /plant)	Aantal vruchten	Aantal internodia
Controle	0	19.0 ± 1.6	2291 ± 154	7.1 ± 0.6	13.3 ± 0.4
24 uur	40	14.1 ± 0.8	1570 ± 67	5.6 ± 0.3	15.5 ± 0.3
12 uur donker	80	17.2 ± 1.2	1763 ± 128	7.0 ± 0.5	15.0 ± 0.4
12 uur licht	80	16.7 ± 1.8	1925 ± 82	5.8 ± 0.4	15.3 ± 0.4
12 uur donker	40	17.8 ± 2.4	1836 ± 153	6.1 ± 0.4	14.5 ± 0.5
12 uur licht	40	16.1 ± 1.9	1700 ± 91	6.1 ± 0.4	14.5 ± 0.3

Op grond van de resultaten van experiment 1 kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- Blootstelling aan zowel continue als discontinue etheenconcentraties van 40 ppb of hoger leiden al na enkele dagen tot zichtbare effecten. De bladranden kromden naar beneden waardoor enigszins bolstaande bladeren te zien waren ('getrokken bladstand');
- Etheen had geen effect op de verdere ontwikkeling van knoppen, bloemen en vruchten die al aanwezig waren bij aanvang van het experiment;
- Etheen had een sterk negatief effect op de knoppen die tijdens de blootstellingsperiode werden gevormd of welke als speldeknooppunten zichtbaar waren, deze vielen grotendeels af waardoor ook geen bloemen en vruchten tot ontwikkeling kwamen;
- Blootstelling aan etheen leidt tot een kleiner bladoppervlak en lagere biomassa-productie;
- Het etheeneffect op de knopontwikkeling, bladoppervlak en biomassa-productie is bij continue blootstelling groter dan bij discontinue blootstellingen;
- Er zijn geen eenduidige verschillen in effect gevonden tussen blootstelling aan etheen gedurende de licht of donkerperiode;
- Het concentratieniveau (40 of 80 ppb) tijdens een discontinue blootstelling lijkt minder relevant, er zijn tussen deze behandelingen geen verschillen in effectintensiteit gevonden;
- Blootstelling aan etheen leidt tot snellere splitsing van de stengel in de kop van de plant.

3.4 Etheen: discontinue blootstellingen ('pieken')

Uit het voorgaande experiment (paragraaf 3.3) is gebleken dat bij paprika een discontinue blootstelling aan etheen gedurende 12 uur per etmaal tot minder negatieve effecten leidt dan een continue blootstelling en dat er geen verschil is in effectintensiteit tussen blootstelling in de licht- of donkerperiode. Op grond van deze resultaten is besloten het tweede experiment te richten op verschillende kortdurende blootstellingen gedurende de lichtperiode.

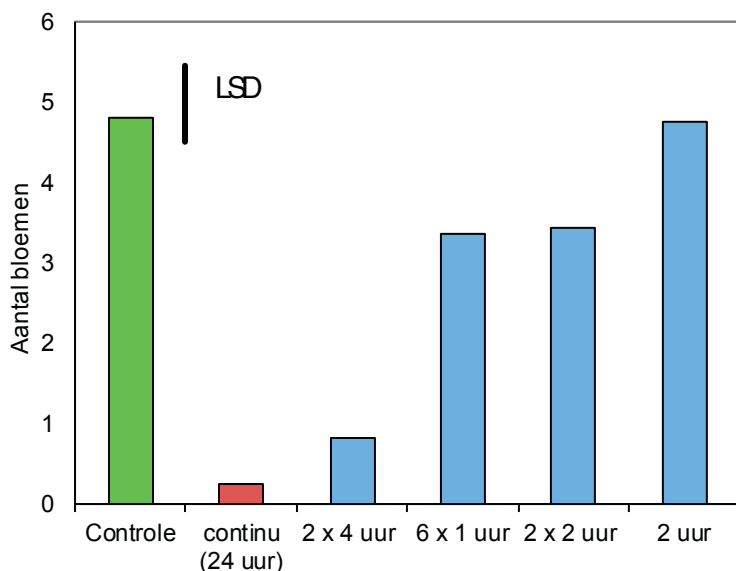
Drie dagen na begin van de begassing was de bladstand van alle aan etheen blootgestelde planten anders: de bladranden kromden naar beneden waardoor enigszins bolstaande bladeren te zien waren ('getrokken bladstand') en de jongste bladeren waren kleiner. Dit effect komt overeen met de effecten zoals die in het eerste experiment zijn geconstateerd. Ook in dit experiment was de mate van kromming het sterkste in de behandeling met een continue blootstelling aan 40 ppb etheen.

Blootstelling aan etheen had bij de gegeven concentraties en blootstellingsduur een relatief groot negatief effect op het aantal bloemknoppen dat tijdens de blootstellingsperiode werd gevormd. Veel bloemknoppen kwamen niet meer tot (volledige) ontwikkeling en vielen van de plant waardoor het aantal bloeiende bloemen en gezette vruchten per plant aan het einde van het experiment lager was ten opzichte van de controle (Tabel 4.). Dit effect was het sterkste bij de continue blootstelling aan 40 ppb en de blootstelling aan 120 ppb gedurende twee perioden van vier uur (Figuur 7.). Bij de overige behandelingen was het effect minder prominent. Alleen de behandeling met 480 ppb etheen gedurende een periode van twee uur per etmaal had geen significant effect op het aantal open bloemen. Planten blootgesteld aan 40 ppb etheen continu hadden na bij het einde van het experiment een internodium meer dan de planten in de controle.

Het bladoppervlak van de aan etheen blootgestelde planten was kleiner ten opzichte van de controle met uitzondering van de 6x 1 uur en 1x 2 uur blootstellingen (Tabel 4.). Het sterkste effect werd hierbij waargenomen bij continue blootstelling aan 40 ppb. Bij de overige behandelingen was dit effect minder prominent. Met betrekking tot de biomassa productie werd een vergelijkbaar patroon gevonden, alleen de biomassa bij continue blootstelling was significant lager ten opzichte van de overige behandelingen en de controle.

Tabel 4. Aantal knoppen en de verhouding tussen het aantal bloemen en het aantal knoppen per plant na 19 dagen begassen met etheen (gemiddelde van 2 herhalingen; LSD resp. 2.76 en 0.11). Data met een verschillende letter (per parameter) zijn significant verschillend van elkaar.

Begassingsduur	Concentratie (ppb)	Aantal knoppen		Aantal bloemen/aantal knoppen	
Controle (niet begast)	0	10.9	bc	0.48	a
24 uur	40	14.6	a	0.01	c
2 x 4 uur	120	9.5	c	0.10	c
6 x 1 uur	160	10.0	bc	0.36	b
2 x 2 uur	240	12.3	ab	0.28	b
1 x 2 uur	480	10.5	bc	0.47	a



Figuur 7. Gemiddeld aantal open bloemen per plant na blootstelling aan verschillende etheenbehandelingen gedurende 19 dagen (LSD = 0.948).

Tabel 5. Drooggewicht van de kop van de plant (g/plant), het bladoppervlak van de kop van de plant (cm²/plant), het aantal vruchten en internodia per plant na 19 dagen begassen met etheen (gemiddelde van 2 herhalingen; LSD resp. 2.0, 167, 1.27 en 0.8). Data met een verschillende letter (per parameter) zijn significant verschillend van elkaar.

Begassingsduur	Concentratie (ppb)	Drooggewicht (g/plant)		Bladoppervlakte (cm ² /plant)		Aantal vruchten		Aantal internodia	
Controle (niet begast)	0	12.9	a	1736	a	7.13	ab	12.8	c
24 uur	40	10.2	b	1363	bc	4.63	c	14.9	a
2 x 4 uur	120	12.6	a	1529	b	4.75	c	13.3	bc
6 x 1 uur	160	12.9	a	1577	ab	6.56	b	13.6	b
2 x 2 uur	240	12.8	a	1543	b	7.88	a	13.1	c
1 x 2 uur	480	12.9	a	1681	ab	6.63	ab	12.9	bc

Op grond van de resultaten van experiment 2 kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- In tegenstelling tot experiment 1 had de continue blootstelling wel effect op de knoppen, bloemen en vrucht die al aanwezig waren bij aanvang van het experiment. Ook bij de 2 x 4 uur blootstelling zijn vruchtjes geaborteerd;
- Alle etheenbehandelingen m.u.v. de behandeling met 480 ppb etheen gedurende één periode van twee uur per etmaal hadden een significant negatief effect op de knoppen die tijdens de blootstellingsperiode werden gevormd of als speldeknoepjes aanwezig waren, deze vielen grotendeels af waardoor ook minder bloemen en gezette vruchten tot ontwikkeling kwamen;
- Het effect op het aantal bloemen, aantal vruchten en het blad oppervlak zijn bij de continue blootstelling en 120 ppb gedurende twee keer vier uur groter dan bij de overige discontinue blootstellingen;
- De biomassaproductie is alleen significant lager bij continue blootstelling;
- Dagelijks 2 uur begassen met 480 ppm etheen heeft geen invloed op de paprikaplanten;
- De lengte van het tijdsinterval waarin geen etheen wordt gedoseerd lijkt belangrijker in termen van effecten dan de absolute hoogte van de etheenconcentraties, ofwel kortdurende blootstellingen aan relatief hoge concentraties (acute blootstelling) leidt tot minder negatieve effecten ten opzichte van langere blootstelling aan lagere concentraties (chronische blootstelling)
- Continue blootstelling aan etheen en 6 x 1 uur leidt tot snellere splitsing van de stengel in de kop van de plant.

3.5 Etheen in combinatie met NO_x

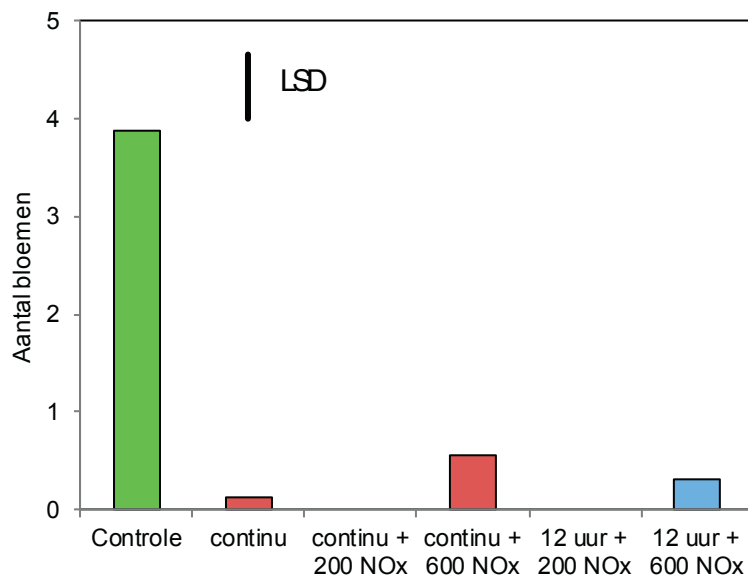
Bij de etheen-NO_x combinatiebegassing zijn zowel continue (40 ppb) als discontinue (80 ppb gedurende de lichtperiode) etheen blootstellingen toegepast, beide in combinatie met een continue blootstellingen aan 200 of 600 ppb NO_x. In lijn met de resultaten uit de eerdere experimenten werd al na drie dagen na begin van de begassing een verandering in de bladstand van alle aan etheen blootgestelde planten geconstateerd. De bladranden kromden naar beneden waardoor enigszins bolstaande bladeren te zien waren ('getrokken bladstand') en de jongste bladeren waren kleiner. Ook in dit experiment was de mate van kromming het sterkste in de behandeling met een continue blootstelling aan 40 ppb etheen.

De blootstelling aan etheen (met en zonder NO_x) had bij de gegeven concentraties en blootstellingsduur een significant effect op het aantal knoppen en open bloemen die tijdens de blootstellingsperiode tot ontwikkeling kwamen (Tabel 6.). Na circa drie weken was het aantal open bloemen van de blootgestelde planten significant lager ten opzichte van de controle, het aantal nog gesloten knoppen was daardoor hoger. In de etheen behandeling zonder toevoeging van NO_x en de behandelingen met 200 ppb NO_x waren geen open bloemen meer aanwezig bij beëindiging van het experiment (Figuur 6.). In combinatie met 600 ppb NO_x lijkt het effect iets minder sterk, hoewel niet significant verschillend. Het effect op het aantal knoppen en open bloemen zijn met name het gevolg van de blootstelling aan etheen, toevoeging van NO_x had geen wezenlijke invloed op het effect, ongeacht het concentratieniveau (Figuur 6.).

Bij de behandelingen met 40 ppb etheen continu waren minder zettingen waarneembaar dan bij de 80 ppb etheen discontinue blootstellingen in de lichtperiode. Toevoeging van NO_x speelde hierbij geen rol. Met betrekking tot de biomassaproductie en het bladoppervlak werd alleen een significante reductie gevonden in de 40 ppb etheen behandeling zonder en met 200 ppb NO_x (Tabel 7.). In de 40 ppb continue etheen behandeling met 600 ppb NO_x was geen sprake van een significant effect.

Tabel 6. Aantal knoppen en de verhouding tussen het aantal bloemen en het aantal knoppen per plant na 21 dagen begassen met etheen met of zonder continue NO_x dosering (gemiddelde van 2 herhalingen; LSD resp. 3.3 en 0.1). Data met een verschillende letter (per parameter) zijn significant verschillend van elkaar.

Begassingsduur etheen	Etheen (ppb)	NO _x (ppb)	Aantal knoppen	Aantal bloemen/aantal knoppen
Controle	0	0	10.2	0.50
24 uur	40	0	14.3	0.01
24 uur	40	200	15.1	0.00
24 uur	40	600	19.4	0.02
12 uur licht	80	200	15.9	0.00
12 uur licht	80	600	14.0	0.02



Figuur 8. Gemiddeld aantal open bloemen per plant na 21 dagen blootstelling aan verschillende etheenbehandelingen met en zonder continue dosering met NO_x (LSD = 0.67).

Tabel 7. Drooggewicht van de kop van de plant (g/plant) en het bladoppervlak van de kop van de plant (cm²/plant), het aantal vruchten en internodia per plant na 21 dagen begassen met etheen (gemiddelde van 2 herhalingen; LSD resp. 3.4, 222, 1.1 en 1.1). Data met een verschillende letter (per parameter) zijn significant verschillend van elkaar.

Begassingsduur etheen	Etheen (ppb)	NO _x (ppb)	Drooggewicht (g/plant)		Bladoppervlakte (cm ² /plant)		Aantal vruchten		Aantal internodia	
Controle	0	0	11.6	a	1667	ab	6.6	a	15.0	d
24 uur	40	0	9.9	ab	1483	b	2.3	c	19.9	a
24 uur	40	200	7.8	b	1234	c	2.6	c	16.6	c
24 uur	40	600	10.4	ab	1693	ab	2.4	c	19.8	a
12 uur licht	80	200	13.0	a	1875	a	2.1	c	14.3	d
12 uur licht	80	600	10.6	ab	1655	ab	4.0	b	18.5	b

Op grond van de resultaten van experiment 3 kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- Blootstelling van paprikaplanten aan etheen had een significant negatief effect op het aantal open bloemen dat tot ontwikkeling kwam, het aantal gesloten knoppen was daardoor hoger;
- De negatieve effecten zijn voornamelijk het gevolg van etheen, toevoeging van NO_x had hierop geen invloed;
- Er waren minder zettingen bij 40 ppb continu dan bij 80 ppb discontinu. NO_x had hierop geen invloed.

3.6 Etheen in combinatie met CO₂

Nederlandse glastuinbouwbedrijven worden gekenmerkt door een (energie-)intensieve teelt en hoge doseerconcentraties van CO₂, oplopend tot 1000-1200 ppm. Onderzoeken naar de effecten van rookgassen zijn/worden in de meeste gevallen uitgevoerd bij atmosferische CO₂ concentraties van circa 350-400 ppm. Blootstelling van paprika aan verschillende combinaties van etheen en CO₂ moet inzicht geven of effecten van etheen worden beïnvloed door de heersende CO₂ concentratie.

In lijn met de resultaten uit de eerdere experimenten werd al na drie dagen na begin van de begassing een verandering in de bladstand van alle aan etheen blootgestelde planten geconstateerd. Ook in dit experiment was de mate van kromming het sterkste in de behandeling met een continue blootstelling aan 40 ppb etheen.

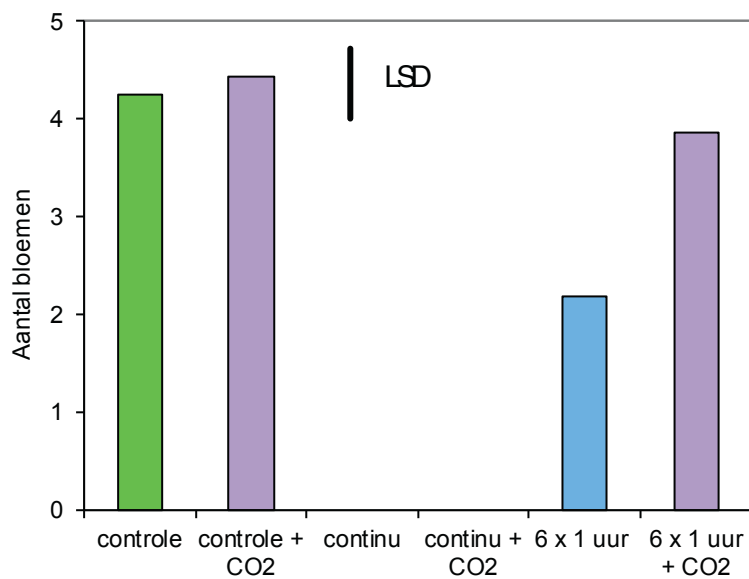
Ten opzichte van de controle met alleen atmosferische CO₂ concentratie had toevoeging van additioneel CO₂ aan het einde van het experiment geen significant effect op het gemiddelde aantal open bloemen (Tabel 8.). In de etheenbehandelingen van 40 ppb continu kwamen geen bloemen nog tot bloei (Figuur 7.), ongeacht toevoeging van extra CO₂. In lijn met de resultaten van de eerdere experimenten had een discontinue blootstelling aan etheen een minder sterk negatief effect op het aantal bloemen ten opzichte van een continue blootstelling. Door toevoeging van additioneel CO₂ aan de discontinue blootstelling van etheen was het effect op het aantal bloemen kleiner.

Blootstelling aan 40 ppb continu bij atmosferische CO₂ concentratie had een vermindering van het drooggewicht, bladoppervlak en het aantal vruchten tot gevolg ten opzichte van de controle behandeling (Tabel 9.). Echter, er werden wel meer internodia gevormd bij 40 ppb etheen continu behandelingen. Deze negatieve effecten op de groei en ontwikkeling van de planten waren minder prominent bij toevoeging van additioneel CO₂. In vergelijking met de controle waren de verschillen met de discontinue blootstelling aan etheen (6 x 1 uur 160 ppb) erg klein.

Tabel 8. Aantal knoppen en de verhouding tussen het aantal bloemen en het aantal knoppen per plant na 19 dagen begassen met etheen met (24 uur) of zonder continue dosering van CO₂ (LSD resp. 3.2 en 0.07). Data met een verschillende letter (per parameter) zijn significant verschillend van elkaar.

Begassingsduur etheen	Etheen (ppb)	CO ₂ (ppm)	Aantal knoppen		Aantal bloemen/aantal knoppen	
Controle	0	400*	11.2	c	0.42	a
Controle	0	800	16.6	b	0.30	b
24 uur	40	400*	18.0	ab	0.00	d
24 uur	40	800	20.1	a	0.00	d
6 x 1 uur	160	400*	16.2	b	0.16	c
6 x 1 uur	160	800	17.8	ab	0.23	bc

* achtergrondconcentratie.



Figuur 7. Gemiddeld aantal open bloemen per plant na 19 dagen blootstelling aan verschillende etheenbehandelingen met of zonder 800 ppm CO₂ dosering (LSD = 0.73).

Tabel 9. Drooggewicht van de kop van de plant (g/plant) en het bladoppervlak van de kop van de plant (cm²/plant), het aantal vruchten en internodia per plant na 21 dagen begassen met etheen (gemiddelde van 2 herhalingen; LSD resp. 1.5, 177, 0.95 en 0.72). Data met een verschillende letter (per parameter) zijn significant verschillend van elkaar.

Begassingsduur etheen	Etheen (ppb)	CO ₂ (ppm)	Drooggewicht (g/plant)		Bladoppervlakte (cm ² /plant)		Aantal vruchten		Aantal internodia	
Controle	0	400	11.1	b	1791	b	6.4	c	12.8	e
Controle	0	800	14.3	a	1890	ab	8.1	b	13.6	d
24 uur	40	400	9.1	c	1408	c	4.0	e	15.8	b
24 uur	40	800	12.1	b	1542	c	4.6	de	16.7	a
6 x 1 uur	160	400	13.3	ab	2040	a	5.4	d	14.7	c
6 x 1 uur	160	800	11.8	b	1559	c	9.3	a	13.5	de

Op grond van de resultaten van experiment 4 kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- toevoeging van additioneel CO₂ alleen had een positief effect op de biomassaproductie maar niet op het gemiddelde aantal open bloemen;
- na blootstelling van paprikaplanten aan 40 ppb etheen continue kwamen geen bloemen meer tot bloei, ongeacht de toevoeging van additioneel CO₂;
- discontinue blootstelling aan etheen had een kleiner negatief effect op het aantal bloemen ten opzichte van een continue blootstelling. Door toevoeging van additioneel CO₂ aan de discontinue blootstelling van etheen was het effect op het aantal bloemen nog kleiner;
- Blootstelling aan 40 ppb continu bij atmosferische CO₂ concentratie had een negatief effect op de biomassaproductie, de effecten waren minder prominent bij toevoeging van additioneel CO₂.

3.7 Fotosynthesemetingen

De fotosyntheseactiviteit van individuele *Spatiphyllum* planten tijdens blootstelling aan CO₂ met additionele rookgascomponenten ('rookgas') zijn vergeleken met de fotosynthese bij CO₂ zonder additionele rookgascomponenten ('controle'). Deze metingen zijn lastig om in de kas uit te voeren omdat de CO₂ concentratie in de rookgassen op het niveau van een individueel blad onder die omstandigheden zeer variabel kan zijn. Daarom zijn gasmonsters uit de CO₂-darm genomen en gebruikt als 'CO₂-bron' voor de fotosynthesemetingen. De gemeten concentratie aan NO_x in de rookgassen was 75 ppb. De huidmondjesgeleidbaarheid was voldoende hoog, waarmee is aangetoond dat de gevolgde methodiek in principe werkt.

Uit de oriënterende metingen blijkt dat de fotosynthese geremd kan worden door rookgassen maar de verschillen in fotosynthese (CO₂ opname) zijn relatief gering (Tabel 10). Bij een lichtintensiteit van 242 μmol m⁻² s⁻¹ PAR werd een gemiddelde afname van de fotosynthese geconstateerd van 4,5%, bij 432 μmol m⁻² s⁻¹ was de afname 0,4%. Verwacht werd dat 75 ppb NO_x een groter effect op de fotosynthese zou hebben, maar er zijn meerdere componenten in rookgassen dan alleen NO_x die hierbij mogelijk een rol spelen, b.v. de potentiële toxische componenten etheen en formaldehyde, en specifiek nadelig voor de fotosynthese, benzeen. Daarnaast zijn de bladeren bij deze metingen gedurende ca. 10 min blootgesteld aan het rookgas, dat is relatief kort en mogelijk té kort om een significant effect te veroorzaken. Om een effect van rookgassen op de fotosynthese aan te kunnen tonen is het aan te bevelen om de planten voor een langere tijd aan de rookgassen bloot te stellen, conform de praktijksituatie.

Tabel 10. Net fotosynthese van *Spatiphyllum* bij twee lichtintensiteiten o.i.v. verhoogd CO₂ met en zonder rookgassen. Metingen zijn in drievoud (bij 242 μmol m⁻² s⁻¹) en tweevoud (bij 432 μmol m⁻² s⁻¹) uitgevoerd.

Lichtintensiteit (μmol m ⁻² s ⁻¹)	Controle (μmol CO ₂ m ⁻² s ⁻¹)	Rookgas (μmol CO ₂ m ⁻² s ⁻¹)	Verskil t.o.v. controle
Laag (242)	12.71	11.44	-10%
	11.53	11.73	+1.7%
	11.40	10.79	-5.3%
Gemiddeld			-4.5%
Hoog (432)	13.36	13.58	+1.6%
	13.00	12.68	-2.3%
Gemiddeld			-0.4%

3.8 Phalaenopsis

Phalaenopsis planten zonder symptomen zijn gedurende zeven dagen blootgesteld aan verschillende etheen en NO_x concentraties van het lopende begassingsexperiment (Experiment 3, zie paragraaf 2.4.2). Symptomen aan de bloembladeren zoals die op de kwekerij in Moerkapelle zijn geconstateerd zijn niet waargenomen. Wel bleek na drie dagen blootstelling aan 40 of 80 ppb etheen ongeacht de aanwezigheid van NO_x de steeltjes van de knoppen te vergelen waarna de knoppen na zeven dagen begonnen af te vallen. In de controlebehandeling is bij geen van de planten vergeling van de knopsteeltjes waargenomen.



Figuur 9. Phalaenopsis planten na zeven dagen blootstelling. Links: controle behandeling (geen etheen). Rechts: continue begassing met 40 ppb etheen.

4 Evaluatie

Verhoogde concentraties aan etheen (C_2H_4) dat door diverse soorten bronnen wordt geëmitteerd zoals verkeer, huishoudens en industrie is voor planten toxisch. In kassen is CO_2 doseren met rookgassen de belangrijkste bron. Etheen wordt ook door planten zelf geproduceerd als verouderingshormoon dat vooral effectief is in de generatieve eindfase van de groei en de ontwikkeling van planten zoals het afrijpen van fruit, veroudering en bladval. Etheen heeft negatieve effecten op planten al bij lage concentraties (Abeles *et al.* 1985). In deze zin wijkt etheen af van andere luchtverontreinigingscomponenten zoals ozon, zwaveldioxide en ammoniak die vooral effectief zijn in de vegetatieve fase van de plant en soms positieve effecten kunnen veroorzaken bij lage concentraties maar altijd toxisch zijn bij hogere niveaus.

Vanwege de speciale rol van etheen bij de groei en ontwikkeling van planten, zijn planten in het algemeen relatief gevoelig voor etheen in de buitenlucht. Blootstellingen aan verhoogde concentraties kunnen een grote verscheidenheid aan effecten veroorzaken. Effecten kunnen variëren van het volledig afsterven van plantendelen tot zeer subtiele veranderingen op fysiologisch en biochemisch niveau en betreffen onder meer veranderingen van de fotosynthese, epinastie (schuin naar beneden staan van bladeren), afwijkingen en reductie van de groei, bloemafwijkingen, veroudering en bladval. De aard en intensiteit van de effecten zijn behalve van de blootstellingsvariabelen zoals concentratie en duur van de blootstelling ook afhankelijk van planteigenschappen en omgevingscondities.

Eerder onderzoek (Van Dijk, *et al.*, 2010) naar de gevoeligheid van paprika voor etheen en NO_x , dat in opdracht van PT is uitgevoerd, heeft aangetoond dat paprika relatief gevoelig is voor etheen. Etheen heeft het grootste effect op de bloem- en vruchtontwikkeling. Bij blootstellingen van paprikaplanten aan concentraties van circa 10 ppb of hoger gaat de biomassaproductie significant afwijken van de niet blootgestelde planten als gevolg van knopabortie waardoor geen vruchtontwikkeling meer plaatsvindt.

Uit het zelfde onderzoek is ook gebleken dat paprikaplanten relatief ongevoelig zijn voor NO_x ten opzichte van veel andere plantensoorten. Negatieve effecten bij paprika zijn pas te verwachten bij chronische blootstelling aan concentraties boven 600 ppb. Bij welke concentratie daadwerkelijk effecten gaan optreden kon in het onderzoek niet worden vastgesteld. Deze uitkomsten zijn gebaseerd op onderzoek waarbij paprikaplanten continue werden blootgesteld aan etheen of NO_x , terwijl 'rookgassen' in de praktijk bestaan uit een cocktail van componenten die in de kas worden gedoseerd afhankelijk van het ventilatieregime. Een cocktail aan rookgassen bestaat, naast NO_x en etheen, uit componenten zoals ammoniak, methaan, benzeen, toluen, ethanol, formaldehyde, ethyl acetaat en verschillende sulfide verbindingen. Dit maakt het aannemelijk dat planten in kassen aan discontinue (piek)concentraties van meerdere componenten tegelijk worden blootgesteld.

In het onderzoek waarvan de resultaten in dit rapport worden gepresenteerd is nader ingegaan op de eventuele verschillen in gevoeligheid van paprikaplanten voor continue en discontinue blootstellingen en combinaties van componenten.

Continue versus discontinue blootstellingen

De resultaten tonen aan dat blootstelling aan zowel continue als discontinue etheenconcentraties van 40 ppb of hoger al na enkele dagen tot zichtbare effecten leiden. De bladranden van de paprikaplanten kromden naar beneden waardoor enigszins bolstaande bladeren te zien waren ('getrokken bladstand'). Etheen had ook een sterk onomkeerbaar negatief effect op de knoppen die tijdens de blootstellingsperiode werden gevormd, deze vielen grotendeels af waardoor ook geen bloemen en vruchten tot ontwikkeling kwamen. De effecten waren bij continue blootstelling groter dan bij discontinue blootstellingen. Er zijn geen eenduidige verschillen gevonden tussen blootstelling aan etheen gedurende de licht- of donkerperiode. De lengte van het tijdsinterval waarin geen etheen wordt gedoseerd lijkt belangrijker in termen van effecten dan de absolute hoogte van de etheenconcentraties, ofwel kortdurende blootstellingen aan relatief hoge concentraties (acute blootstelling) leidt tot minder negatieve effecten ten opzichte van langere blootstelling aan lagere concentraties (chronische blootstelling). Het uitblijven van negatieve effecten bij discontinue, hogere concentraties kan mogelijk een gevolg zijn van het onvermogen van een plant om de betreffende component in korte tijd op te nemen, of aan een herstel vermogen van de plant bij voldoende tijd tussen (discontinue) blootstellingen (Tonneijck & Van Dijk, 2000).

Het onderzoek van Van Dijk, *et al.* (2010) gaf geen aanleiding de algemene effectgrenswaarde te herzien specifiek voor paprika. Om negatieve effecten bij paprika te voorkomen mogen de etheen concentraties in de kas de effectgrenswaarde niet overschrijden. Dit onderzoek toont echter aan dat paprikaplanten minder sterk reageren op een discontinue blootstelling dan op een continue. Op grond van die conclusie is toetsing aan de bestaande effectgrenswaarde een *worst case* benadering omdat in de praktijk blootstelling van planten aan rookgassen als gevolg van CO₂ dosering over het algemeen een discontinu karakter heeft.

Combinatie begassing

De resultaten van deze studie bevestigen de resultaten uit eerder onderzoek van Van Dijk *et al.* (2010) namelijk, paprika is relatief ongevoelig voor NO_x ten opzichte van andere gewassen. Blootstelling aan verschillende NO_x concentraties hadden geen negatief effect op de bloemvorming van paprika. Het lijkt er zelfs op dat hoge NO_x concentraties eerder een positieve dan een negatieve invloed hebben op paprika; zowel het aantal nieuwe internodia als het aantal bloemen was hoger bij 600 dan bij 200 ppb NO_x. De negatieve effecten op bloemvorming en biomassaproductie zijn vooral het gevolg van blootstelling aan etheen, toevoeging van NO_x draagt daar relatief weinig aan bij. Hiermee wordt weer bevestigd dat paprika zeer gevoelig is voor etheen.

Zoals was te verwachten had blootstelling van paprikaplanten aan verhoogd CO₂ alleen, dus zonder additionele rookgascomponenten, een positief effect op de biomassaproductie maar niet op het gemiddelde aantal open bloemen. Bij 40 ppb etheen continue kwamen geen bloemen meer tot bloei, ongeacht de toevoeging van additioneel CO₂. Bij discontinue blootstelling aan etheen met additioneel CO₂ was het effect op het aantal bloemen iets kleiner ten opzichte van de continue blootstelling. Het hoge CO₂ niveau lijkt hier een enigszins dempend effect te hebben. De resultaten tonen ook aan dat eerder onderzoek bij atmosferische CO₂ concentraties waarop de effectgrenswaarden van etheen zijn gebaseerd geen onder- of overschatting is geweest. Ook eventueel vervolgonderzoek naar de effecten van etheen hoeft niet noodzakelijkerwijs plaats te vinden bij verhoogde CO₂ concentraties.

Relevantie voor de Glastuinbouw

- Paprika is gevoelig voor etheen, effecten worden enkele dagen na blootstelling zichtbaar. De aanwezigheid van NO_x speelt tot concentraties van 600 ppb geen rol van betekenis (hogere concentratieniveaus zijn niet onderzocht omdat ze niet voorkomen in de praktijk);
- kortdurende discontinue blootstellingen aan relatief hoge etheenconcentraties (acute blootstelling) leiden tot minder negatieve effecten dan een continue blootstelling aan lagere concentraties (chronische blootstelling);
- Het discontinue karakter van CO₂ dosering in kassen biedt mogelijkheden om meer CO₂ te doseren dan op basis van de bestaande effectgrenswaarden voor mogelijk werd gehouden. Indien men de concentraties in de kas kan monitoren, lijkt het mogelijk om de bovengrens van CO₂ dosering verder te verkennen. Voorzichtigheid blijft echter geboden!
- De positieve effecten van CO₂ doseren op de gewasontwikkeling leiden nauwelijks tot vermindering van de etheengevoeligheid. Vertaald naar de praktijk betekent dit dat tuinders die CO₂ doseren met rookgassen geen vermindering van de etheeneffecten hoeven te verwachten mochten de etheenconcentraties te hoog oplopen.

5 Referenties

Abeles, F.B., 1985.

Sources of ethylene of horticultural significance. In: J.A. Roberts & G.A. Tucker (Eds.), Ethylene and plant development. Butterworths, London, 287-296.

Dieleman, Anja, Jeroen Zwinkels, Arie de Gelder, Ingrid Kuiper, Feije de Zwart, Chris van Dijk & Tom Dueck, 2007.

CO₂ bij paprika: meerwaarde en beperkingen. Wageningen UR Glastuinbouw, Nota 494. 80 pp.

Dueck, Th., C.J. van Dijk, F. Kemkes & T. van der Zalm, 2008.

Emissies uit WKK installaties in de glastuinbouw. Wageningen UR, Nota 505, 46 pp.

Heistek, J., 2010.

AirQ Luchtkwaliteit in de kas voor mens, dier en gewas. Stichting Cropeye, Bleiswijk.

Tonneijck, A.E.G. & Van Dijk, C.J. 2000.

Effecten van etheen op planten rond lokale bronnen. Een risico-evaluatie. Plant Research International Nota 42, Wageningen, 22 pp.

Van Dijk, C.J., J.P. van der Knaap, T.J. Dijkstra, J.J. Hanemaaijer & A.E.G. Tonneijck, 2003.

Rookgasschade in beeld? Risico's van NO_x en etheen bij CO₂ dosering uit WKK-installaties. Plant Research International/DLV-Facet Nota 255, Wageningen. 28 pp.

Van Dijk, C.J., Meinen, E. & Th.A. Dueck. 2010.

Effecten van stikstofoxiden en etheen op paprika. Wageningen UR Glastuinbouw, Rapport 317. 28 pp.

Bijlage I Voedingsoplossing paprika

Hoofdelementen	mmol/liter	Spoorelementen	μmol/liter
NH ₄ ⁺	0.5	Fe ²⁺	25
K ⁺	7.7	Mn ²⁺	10
Ca ²⁺	5.7	Zn ²⁺	5
Mg ²⁺	1.7	B ³⁺	30
NO ₃ ⁻	17.7	Cu ²⁺	0.75
SO ₄ ²⁻	2.1	Mo ⁴⁺	0.50
P ³⁻	1.4		
EC 2.4			
pH 5.8			

Bijlage II Gerealiseerde etheen, NO_x en CO₂ concentraties en klimaatomstandigheden

Exp (herh)	Behandeling	Setpoint			Gerealiseerd						Klimaat	
		Etheen (ppb)	NO _x (ppb)	CO ₂ (ppm)	Etheen (ppb)		NO _x (ppb)		CO ₂ (ppm)		Temp (°C)	RV (%)
					Gemid	St. afw	Gemid	St. afw	Gemid	St. afw		
1 (1)	controle	0	-	-	1,1	1,3	-	-	435	39,0	24,2	79
	40_continue	40	-	-	39,3	4,8	-	-	436	39,6	23,2	73
	40_licht (5-17 uur)	40	-	-	40,5	9,0	-	-	437	39,3	23,7	75
	40_donker (5-17 uur)	40	-	-	40,9	2,0	-	-	436	39,7	24,1	71
	80_licht (5-17 uur)	80	-	-	77,1	10,4	-	-	438	40,1	24,2	71
	80_donker (5-17 uur)	80	-	-	81,1	7,1	-	-	434	38,5	21,7	79
2 (1)	Controle	0	-	-	1,4	1,5	-	-	433	29,9	22,8	74
	40_continue	40	-	-	41,2	8,5	-	-	435	28,4	21,5	78
	120_licht (2x 4 uur)	120	-	-	119,0	15,9	-	-	436	27,4	24,4	68
	160_licht (6x 1 uur)	160	-	-	116,6	42,5	-	-	436	28,6	24,1	70
	240_licht (2x 2 uur)	240	-	-	233,9	42,8	-	-	434	28,7	23,4	77
	480_licht (1x 2 uur)	480	-	-	417,3	124,6	-	-	434	27,4	23,9	71
2(2)	Controle	0	-	-	3,4	2,2	12,7	11,8	-	-	23,8	65
	40_continue	40	-	-	34,7	11,4	12,7	12,2	-	-	22,2	67
	120_licht (2x 4 uur)	120	-	-	112,7	19,5	11,9	11,3	-	-	22,8	71
	160_licht (6x 1 uur)	160	-	-	161,7	23,8	12,2	11,5	-	-	23,7	64
	240_licht (2x 2 uur)	240	-	-	207,7	48,7	11,7	12,7	-	-	20,6	75
	480_licht (1x 2 uur)	480	-	-	419,5	119,3	12,8	11,7	-	-	23,6	65
3(1)	Controle	0	-	-	4,7	2,7	21,5	20,8	-	-	23,4	68
	40_continue	40	-	-	36,8	6,6	22,4	21,1	-	-	24,3	60
	40_continue_200	40	200	-	38,1	7,5	194,8	27,3	-	-	21,7	63
	40_continue_600	40	600	-	36,1	9,9	584,1	61,5	-	-	24,6	60
	80_licht_200	80	200	-	79,6	10,4	187,9	27,5	-	-	24,5	59
	80_licht_600	80	600	-	81,4	8,2	591,0	52,6	-	-	23,1	63
3(2)	Controle	0	-	-	3,4	3,3	19,6	20,9	-	-	22,9	71
	40_continue	40	-	-	36,0	4,3	20,3	21,5	-	-	24,0	64
	40_continue_200	40	200	-	37,0	11,4	203,7	31,1	-	-	21,1	73
	40_continue_600	40	600	-	35,7	4,4	593,1	76,7	-	-	23,9	64
	80_licht_200	80	200	-	77,8	13,5	204,1	31,1	-	-	23,9	65
	80_licht_600	80	600	-	79,8	10,7	605,3	79,4	-	-	22,7	67
4(1)	Controle	0	-	-	2,9	1,0	-	-	397,1	28,7	23,8	64
	Controle_800	0	-	800	2,9	1,0	-	-	765,9	48,7	23,0	70
	40_continue	40	-	-	37,3	4,3	-	-	396,4	28,8	22,8	68

Exp (herh)	Behandeling	Setpoint			Gerealiseerd						Klimaat	
		Etheen (ppb)	NO _x (ppb)	CO ₂ (ppm)	Etheen (ppb)		NO _x (ppb)		CO ₂ (ppm)		Temp (°C)	RV (%)
					Gemid	St. afw	Gemid	St. afw	Gemid	St. afw		
	40_continue_800	40	-	800	38,4	5,3	-	-	765,0	55,8	24,0	63
	160_licht(6x 1 uur)	160	-	-	146,5	6,4	-	-	395,3	29,0	24,0	64
	160_licht(6x 1 uur)_800	160	-	800	123,5	44,4	-	-	761,9	46,4	20,6	71
4(2)	Controle	0	-	-	2,2	0,8	-	-	454,6	33,7	24,0	62
	Controle_800	0	-	800	2,3	0,7	-	-	781,0	48,6	23,1	69
	40_continue	40	-	-	37,2	6,0	-	-	453,2	34,2	22,3	67
	40_continue_800	40	-	800	37,9	6,1	-	-	758,1	63,2	23,9	61
	160_licht(6x 1 uur)	160	-	-	145,4	23,0	-	-	453,2	34,8	23,8	63
	160_licht(6x 1 uur)_800	160	-	800	143,0	20,5	-	-	800,0	50,8	21,1	70

