



Effecten van etheen op de vruchtontwikkeling van aardbei

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



© 2010 Wageningen, Wageningen UR Glastuinbouw

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enige andere manier zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Wageningen UR Glastuinbouw

Wageningen UR Glastuinbouw

Adres : Violierenweg 1, 2665 MV Bleiswijk
: Postbus 20, 2665 ZG Bleiswijk
Tel. : 0317 - 48 56 06
Fax : 010 - 522 51 93
E-mail : glastuinbouw@wur.nl
Internet : www.glastuinbouw.wur.nl

Inhoudsopgave

| | pagina |
|---|--------|
| Voorwoord | 1 |
| Samenvatting | 2 |
| 1 Inleiding | 4 |
| 2 Proefopzet | 6 |
| 2.1 Meten op locatie | 6 |
| 2.2 Begassingsfaciliteit | 6 |
| 2.3 Klimaatinstellingen | 7 |
| 2.4 Plantverzorging | 8 |
| 2.5 Etheen behandelingen | 9 |
| 2.6 Metingen | 10 |
| 3 Resultaten | 11 |
| 3.1 Metingen op locatie | 11 |
| 3.2 Etheen experiment | 11 |
| 3.2.1 Visuele beoordeling | 11 |
| 3.2.2 Destructieve oogst | 14 |
| 4 Evaluatie | 17 |
| 4.1 Effecten van etheen | 17 |
| 4.2 Toetsing aan Effectgrenswaarde | 18 |
| 5 Conclusies | 20 |
| 6 Referenties | 21 |
| Bijlage I. Voedingsoplossing aardbei | 23 |
| Bijlage II. Verwerking van gegevens | 24 |
| Bijlage III. Gerealiseerde etheenconcentraties en klimaatomstandigheden | 26 |

Voorwoord

Op verzoek van de Landelijke Aardbei commissie en gefinancierd door het Productschap Tuinbouw (project nr. 13858) is door Wageningen UR Glastuinbouw voorliggend onderzoek uitgevoerd naar de effecten van etheen op de (vrucht)ontwikkeling van aardbei. Binnen de sector bestond de behoefte aan meer inzicht in de gevoeligheid van aardbei vanwege de met enige regelmaat optredende problemen met de vruchtzetting.

Het project is begeleid door aardbeienteler Arno Loos uit Moerstraten, teeltadviseur Bart Vromans van Hortinova, Loon op Zand, en Joan Bus van LTO Groeiservice. Hun adviezen met betrekking tot de groei en ontwikkeling van de aardbeienplanten, klimaatinstellingen etc. zijn als zeer waardevol ervaren en hebben bijgedragen aan de succesvolle uitvoering van het onderzoek. De beoordeling van de groeipunten is uitgevoerd door Bert Meurs van Plantalogica BV, Wageningen.

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

Wageningen UR Glastuinbouw

Februari 2010

Kennisoverdracht:

WUR onderzoekt oorzaak kromme vruchten. www.degroentenenfruit.nl, platform voor de hele AGF keten, december 2009. Effecten van etheen op aardbei, Onder Glas, nr 13, februari 2010.

Invloed van etheen op vruchtzetting van aardbei. Landelijke Aardbeiendag, 21 januari 2010.

Is etheen van invloed op het ontstaan van “kromme vruchten” bij aardbei? Nieuwsbrief LTO Vollegrondsgroente.net. Maart 2010, 2 pp.

Aardbei houdt bij etheen bloem vast. Groente & Fruit, maart 2010, p 13.

Samenvatting

Toepassing van (gereinigde) rookgassen uit ketels en installaties voor warmtekrachtkoppeling (WKK) is gemeengoed in de Nederlandse Glastuinbouw. Er zijn echter aanwijzingen dat er ook negatieve effecten op groei en productkwaliteit kunnen optreden vooral bij gebruik van rookgassen uit WKK installaties. Een belangrijke component die hierbij een rol speelt is, voor zover nu bekend, etheen (C_2H_4). Er zijn aanwijzingen uit de praktijk dat etheen mogelijk negatieve effecten op groei en productkwaliteit van in kassen geteelde aardbeien kan veroorzaken. In de afgelopen jaren zijn herhaaldelijk problemen met de vruchtzetting geconstateerd, variërend van het volledig achterwege blijven van vruchtzetting tot een gedeeltelijke zetting met zogenoemde 'kromme vruchten' als gevolg. Om die reden was er binnen de aardbei sector de behoefte meer inzicht te hebben in de gevoeligheid van aardbei voor etheen en hoe die gevoeligheid zich verhoudt tot de bestaande effectgrenswaarde van 11 ppb als 8-uursgemiddelde ter bescherming van planten in het algemeen.

Voor dit onderzoek zijn aardbeienplanten van twee rassen, Sonata en Elsanta, langdurend blootgesteld aan verschillende etheenconcentraties waarbij de eventuele effecten op groei, bloem- en vruchtontwikkeling werden vastgesteld. Er is gekozen voor een reeks behandelingen met verschillende concentraties met als doel dosis-respons-relaties te bepalen en aansluitend *No Observable Effect Concentrations* (NOEC) te berekenen. Door de grote mate van variatie in respons tussen individuele planten binnen één behandeling bleek het niet mogelijk voor de verschillende kwantitatieve effectparameters een dosis-respons-relatie af te leiden met als gevolg dat ook geen NOEC waarden konden worden berekend. Voor enkele effectparameters bleek het wel mogelijk een EC_{10} waarde te bepalen. Dit is de concentratie waarbij het effect 10% afwijkt van de controle maar de waarde geeft geen uitsluitsel of het om een significant effect gaat. De heterogeniteit met betrekking tot de gevoeligheid voor etheen van het uitgangsmateriaal is blijkbaar groot, zowel voor Sonata als Elsanta.

Etheen veroorzaakt bij de aardbeienrassen Sonata en Elsanta geen bloem- en/of vruchtabortie. Hoewel niet significant was er wel sprake van een tendens van een verminderde vruchtzetting en meer 'kromme vruchten' bij hogere etheenconcentraties. Voor Sonata lag het omslagpunt naar meer 'kromme vruchten' rond 50 ppb en voor Elsanta rond 70 ppb. Meer 'kromme vruchten' zou een gevolg kunnen zijn van de kortere trossen bij hogere etheenconcentraties. De trossen zaten meer tussen het blad waar een vochtiger microklimaat heerst waardoor het stuifmeel minder goed los komt met als gevolg een minder goede bestuiving en zetting.

De resultaten uit dit onderzoek tonen aan dat met de etheen effectgrenswaarde van 11 ppb als 8-uursgemiddelde voor bescherming van planten in het algemeen het risico voor aardbei wordt overschat. Het is dus niet noodzakelijk om de algemene effectgrenswaarde aan te scherpen om negatieve effecten bij aardbei te voorkomen. Indien de etheenconcentraties in een kas de algemene effectgrenswaarde niet overschrijden wordt aardbei daarmee voldoende beschermd.

Belangrijkste conclusies:

1. Bij CO_2 doseren kan de etheenconcentratie in de kas oplopen tot ca. 29 ppb en indien de ramen gesloten blijven kan het gas relatief lang in de kas blijven hangen. Toepassing van apparatuur met verbrandingsmotoren zoals fog apparatuur versterkt dit effect;
2. In tegenstelling tot veel andere plantensoorten veroorzaakt etheen bij de aardbeienrassen Sonata en Elsanta geen bloem- en/of vruchtabortie;
3. Bij zowel Sonata als Elsanta was de bladstand van de jongste bladeren meer naar beneden gericht en de bloem bodems meer bruin van kleur na een blootstelling aan 57 ppb etheen gedurende vier dagen. Blootstelling aan 33 ppb gedurende zeven dagen gaf dezelfde effecten;
4. Bij zowel Sonata als Elsanta waren bruin verkleuringen op het blad te zien na een blootstelling aan 57 ppb etheen gedurende 14 dagen. Blootstelling aan 19 ppb gedurende 21 dagen gaf dezelfde effecten;
5. Na blootstelling aan 19 ppb gedurende 35 dagen waren de bloemen minder goed zichtbaar en zaten de trossen meer tussen het blad;
6. Voor beide rassen was er sprake van een tendens naar compactere trossen en kleinere vruchten vanaf 40 ppb (EC_{10});

7. Voor Sonata was er sprake van een tendens naar meer 'kromme vruchten' vanaf 50 ppb (EC_{10}), voor Elsanta lag het omslagpunt op 70 ppb (EC_{10}).
8. Blootstelling aan etheen leidt bij beide rassen niet tot een verminderde plantontwikkeling (vorming nieuwe neuzen), van belang voor een volgende oogstfase;
9. De etheen effectgrenswaarde ter bescherming van plantensoorten in het algemeen biedt voldoende bescherming voor aardbei;
10. De heterogeniteit met betrekking tot de gevoeligheid voor etheen van het uitgangsmateriaal is relatief groot. Dit betekent dat aardbei in het algemeen niet erg gevoelig is voor etheen maar dat individuele planten wel sterk kunnen reageren;
11. Indien er behoefte bestaat aan meer inzicht in de mogelijke risico's van etheen is het bewaken van de etheenconcentratie op plantniveau aan te bevelen. Er zijn systemen in ontwikkeling waarbij een gevoelige etheen monitor (tot < 2 ppb) direct wordt gekoppeld aan de klimaatcomputer.

1 Inleiding

CO₂ dosering in kassen is al meer dan 25 jaar gemeengoed in de glastuinbouw. Gangbare praktijk in de Nederlandse Glastuinbouw is dat CO₂ wordt gedoseerd d.m.v. (gereinigde) rookgassen van ketels en installaties voor warmtekrachtkoppeling (WKK). De positieve effecten van het doseren van CO₂ met behulp van rookgassen zijn algemeen bekend: hogere productie en/of betere kwaliteit. Er zijn echter aanwijzingen dat er bij de teelt van aardbeien onder glas ook negatieve effecten op groei en productkwaliteit kunnen optreden. Deze worden vooral toegeschreven aan de effecten van rookgassen uit ketels of WKK installaties.

In de afgelopen jaren zijn bij de teelt van aardbeien herhaaldelijk problemen met de vruchtzetting geconstateerd, variërend van het volledig achterwege blijven van vruchtzetting tot een gedeeltelijke zetting met zogenoemde 'kromme vruchten' als gevolg. Afhankelijk van de omstandigheden is vijf tot soms 15% van de vruchten 'krom' en niet meer verkoopbaar als klasse 1. Analyse van aspecten met betrekking tot de teelt zoals temperatuur, vocht, belichting, plantmateriaal ed. hebben geen aanwijzingen opgeleverd dat de oorzaak in die richting moet worden gezocht (Evenhuis *et al.*, 2003; Kruistum *et al.*, 2005). De effecten traden met name op in koude perioden met veel licht als het gewas actief en de CO₂ vraag hoog was en de kassen dicht bleven (januari-maart). Vanwege die specifieke omstandigheden werden de effecten toegeschreven aan het gebruik van rookgassen voor CO₂ dosering. De belangrijkste componenten die hierbij een rol spelen zijn, voor zover nu bekend, stikstofoxiden (NO_x) en etheen (C₂H₄). Op grond van de waargenomen effecten is het meest aannemelijk dat etheen hierbij een rol speelt. Het is echter niet uitgesloten dat er nog andere componenten een rol spelen waarvan het risico voor het gewas nog onvoldoende onderkend is.

Etheen kan beschouwd worden als een voor planten 'ongewone' luchtverontreinigingscomponent aangezien het een plant-eigen groeiregulator is. Etheen wordt door planten ook in versterkte mate gevormd onder invloed van een groot scala van stressfactoren inclusief blootstellingen aan etheen zelf. Etheen wordt continu in zeer kleine hoeveelheden gevormd door alle plantorganen en weefsels en heeft voornamelijk invloed op de eindfase van de plantontwikkeling zoals het afrijpen van fruit, veroudering en bladval. Daarnaast kan weefselbeschadiging aanleiding geven tot een versnelde productie van etheen (stress etheen) door planten.

Van etheen zijn in de literatuur een groot aantal negatieve effecten beschreven voor verschillende plantensoorten na zowel kort- als langdurende blootstellingen aan verschillende concentraties. De reacties van planten op blootstellingen aan etheen blijken zeer divers te zijn. Effecten kunnen hierbij variëren van het afsterven van plantendelen tot zeer subtiele veranderingen op fysiologisch en biochemisch niveau en betreffen onder meer veranderingen van de fotosynthese, epinastie (schuin neerwaarts buigen van de bladsteel, omkeerbaar), afwijkingen en reductie van de groei, bloemafwijkingen, veroudering en abortie van blad, bloemen of vruchten.

Uit de tuinbouw zijn vele incidenten bekend waarbij het plotseling afvallen van bloemknoppen en/of vruchten en groei-afwijkingen bij vruchtgroenten vaak is toegeschreven aan een kortdurende blootstelling aan een relatief hoge concentratie etheen. Van dergelijke schadegevallen is echter niet bekend wat de concentratie en blootstellingsduur is geweest. In het licht van deze problematiek is in 2007 alle relevante informatie over effecten van 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. Voor etheen werden effectgrenswaarden afgeleid van 11 ppb als 8-uursgemiddelde en 5 ppb als gemiddelde voor een lange termijn blootstelling. Specifieke informatie over negatieve effecten van etheen op aardbei zijn voor zover wij weten niet bekend.

Binnen de aardbeien sector bestaat de behoefte meer inzicht te hebben in de gevoeligheid van aardbei voor etheen en hoe die gevoeligheid zich verhoudt tot de bestaande effectgrenswaarden ter bescherming van planten in het algemeen. Doel van het onderzoek dat in dit rapport wordt gepresenteerd is het vaststellen van de gevoeligheid van aardbei voor etheen.

Het onderzoek is in twee fases uitgevoerd. Voor Fase 1 zijn op een tuinbouwbedrijf waar effecten zijn waargenomen etheen metingen verricht om een indruk te krijgen in de blootstellingsniveaus die in een kas kunnen optreden. De uitkomsten hiervan vormen de basis voor het vaststellen van de concentratiereeks voor het begassingsonderzoek. In Fase 2 is door middel van begassingsonderzoek aan aardbeienplanten van de rassen Elsanta en Sonata bepaald of blootstelling aan etheen leidt tot verminderde vruchtzetting en meer 'kromme vruchten' zoals in de praktijk is waargenomen.

Specifiek voor aardbei werden *No Observable Effect Concentrations* (NOEC) voor etheen bepaald. Hiervoor werden aardbeiplanten langdurend blootgesteld aan verschillende etheen concentraties en de eventuele effecten op groei, bloem- en vruchtontwikkeling vastgesteld. Op grond van de resultaten is aangegeven hoe de NOEC's voor aardbei zich verhouden tot de bestaande effectgrenswaarden voor planten in het algemeen en of bijstelling specifiek voor aardbei noodzakelijk is.

Op grond van de uitkomsten van dit onderzoeks kunnen eisen worden geformuleerd waaraan de luchtkwaliteit in kassen waar aardbeien worden geteeld minimaal moet voldoen. Telers kunnen dan de risico's van etheen beter inschatten en eventuele schade aan het gewas voorkomen.

2 Proefopzet

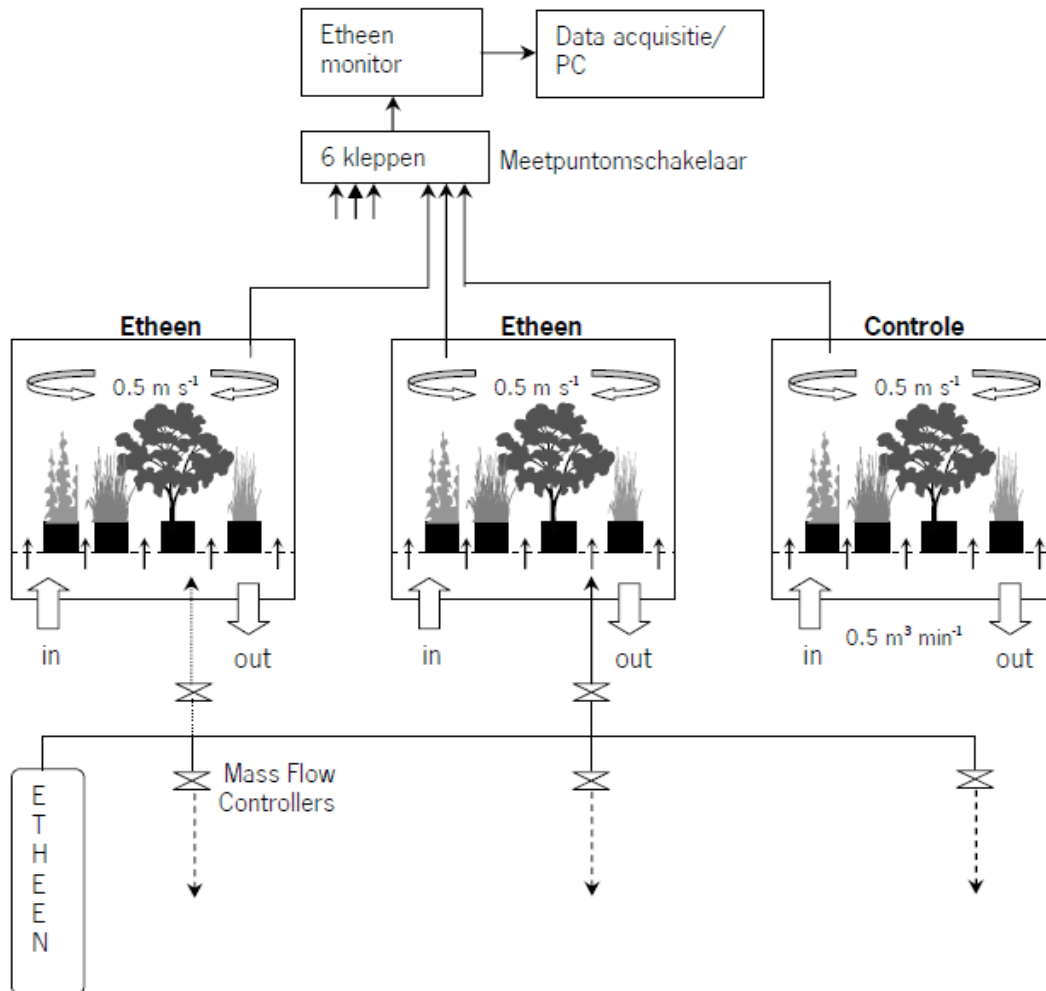
2.1 Meten op locatie

In een nieuwe, nog lege kas (1,3 ha) van aardbeiteler Loos in Moerstraten zijn gedurende enkele dagen etheenmetingen uitgevoerd. Tijdens de metingen werd CO₂ gedoseerd vanaf de ketel tot een niveau van ca. 750 ppm, de ramen bleven gesloten. Etheen werd gemeten met behulp van laser technology (ETD-300, Sensor Sense, Nijmegen).

2.2 Begassingsfaciliteit

Voor het vaststellen van de gevoeligheid van aardbei voor etheen werden aardbeienplanten van twee rassen gedurende vijf weken blootgesteld aan verschillende etheenconcentraties. Het begassingsexperiment vond plaats van 1 december 2009 tot 4 januari 2010.

De planten werden blootgesteld in zes onafhankelijk van elkaar werkende begassingskasjes die stonden opgesteld in een geconditioneerde klimaatkamer (zie 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 (etheen) vanuit een gascylinder in de juiste hoeveelheid continu toe te dienen aan de ingaande luchtstroom onder de geperforeerde bodemplaat door middel van thermische *Mass Flow Regulators* (Brooks 5850 TR, Veenendaal). Etheen werd gemeten met behulp van laser technology (ETD-300, Sensor Sense, Nijmegen)



Figuur 1. Schematische weergave van een deel van de proefopstelling voor blootstelling van planten aan etheen.

2.3 Klimaatinstellingen

Tijdens het experiment werd een daglengte aangehouden van 12 uur (6.00-18.00 uur). De lichtintensiteit op planthoogte werd ingesteld op ca. $270 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (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 aanvang van de teelt was de temperatuur overdag 18 tot 19°C en 's nachts 10°C (etmaaltemperatuur 14°C). Na 2 weken werd de etmaaltemperatuur verhoogd naar 15°C door de temperatuur overdag te verhogen naar 20°C . Vier uur voor de lampen gaan branden werd de temperatuur al geleidelijk verhoogd. Opbouw van de temperatuur vond plaats gedurende 8 uur (van 2:00 tot 10:00 uur). Afbouw van temperatuur vond plaats gedurende 4 uur (van 18:00 tot 22:00 uur). De RV was gemiddeld rond 75%; overdag was de RV 60 tot 70% en 's nachts was de RV 80 tot 90%.

2.4 Plantverzorging

Jonge aardbeienplanten van de rassen 'Elsanta' en 'Sonata' werden geleverd door aarbeienkwekerij Loos uit Moerstraten. De planten waren gestekt in juli 2008 en in december 2008 ingepakt en bewaard. Op 20 oktober 2009 werden de stekken uit de koeling gehaald en geplant in veenbalen (Bas van Buuren B.V uit De Lier) in 50 cm lange bakken. In elke bak werden 3 stekken geplant. Daarnaast werden er 6 Elsanta stekken in potten geplant en 6 Sonata stekken (1 plant per pot). De aardbeienplanten werden in een klimaatkamer geplaatst en dagelijks gebroesd met leidingwater. Na 1 week werden de planten voor verdere opkweek in de begassingskasjes geplaatst zonder dat er met etheen werd begast. In elk kasje werden vier bakken geplaatst in een libra goot met drain; twee bakken met Elsanta en twee met Sonata. In elk kasje werd een pot met Elsanta en een met Sonata extra geplaatst die werden gebruikt voor de eerste destructieve oogst bij de start van de begassing. In elk kasje stonden van beide rassen zeven planten in een dichtheid van 11.5 planten/m². Elke plant had een druppelaar waarmee door middel van een automatisch doseersysteem de plant naar behoefte werd voorzien van voedingsoplossing (Bijlage I). Bestuiving vond plaats door de bakken met de planten elke 2-3 dagen handmatig te schudden zodat het stuifmeel vrij kwam. Uitlopers werden wekelijks weggehaald.

In enkele kasjes werd tijdens het experiment meeldauw waargenomen; alle planten in alle kasjes zijn in totaal driekeer gespoten met Nimrod. Tijdens de teelt werd in alle kasjes enige mate van bladverbranding waargenomen. Op dat moment was waarschijnlijk het aantal druppelbeurten per etmaal te weinig en is het aantal beurten verhoogd.



Aardbeienplanten 'Elsanta' en 'Sonata' op het moment van inzetten in de begassingskasjes (27 oktober 2009).

Op 1 december 2009 (6 weken na planten) werd de etheen begassing gestart. Uit elk kasje werden de extra potten met Elsanta en Sonata planten verwijderd voor een destructieve oogst waardoor de plantdichtheid in de kasjes 10 planten/m² werd. Op het moment van de start van de begassing hadden de Elsanta planten gemiddeld 1 bloeiende tros, 5 open bloemen en 10 bladeren. Sonata planten hadden gemiddeld 2 bloeiende trossen, 6 open bloemen en 15 bladeren.



Aardbeienplanten 'Elsanta' en 'Sonata' op het moment van starten van de begassing (1 december 2009).

2.5 Etheen behandelingen

Gedurende het etheen (C_2H_4) experiment werden de aardbeiplanten continu blootgesteld aan zes verschillende concentraties, inclusief een controle behandeling. De behandelingen van 0 (controle), 10, 19, 33, 57 en 100 ppb etheen werden random toegewezen aan de verschillende kasjes.

Er is gekozen voor een concentratiereeks omdat een dergelijke opzet het mogelijk maakt dosis-respons-relaties vast te stellen en daaruit NOECs te berekenen (zie ook Bijlage II). De concentratieniveaus zijn op basis van de metingen in een kas en *expert judgement* gekozen met als uitgangspunt dat in de controle behandeling geen effecten waarneembaar mogen zijn en in de behandeling met de hoogste concentratie juist duidelijke effecten waarneembaar moeten zijn. De tussenvolgende concentratieniveaus zijn volgens een vaste verhouding vastgesteld.



Opstelling zes begassingskasjes.

2.6 Metingen

Tijdens de begassing werden de planten dagelijks gecontroleerd op zichtbare symptomen (chlorose, bladbeschadiging, blad/bloem of vrucht abortie, etc.). Gedurende de begassing werd ook dagelijks gecontroleerd op epinastie. Epinastie is een specifiek en relatief snel optredend, reversibel, effect van etheen van het schuin naar beneden gaan staan van bladeren. Wekelijks werd aan elke plant het aantal open bloemen en vruchten geteld. Na afloop van de begassingsperiode werden de belangrijkste groeiparameters bepaald: drooggewicht van blad en vruchten, bladoppervlak, aantal vruchten en vruchtkwaliteit. Tevens werd de ontwikkeling van de nieuw gevormde vegetatiepunten ('neuzen') beoordeeld. Bij deze methode werden per plant de neuzen onder een binoculair beoordeeld op bladaanleg en bloemontwikkeling. Het morfologisch stadium van de vegetatiepunten werd vastgelegd volgens een beschrijving van Taylor *et al.* (1997).

De klasse-indeling (Figuur 2) voor het beoordelen van de kwaliteit van de vruchten is in overleg met de begeleidende telers en adviseurs opgesteld en bestaat uit vier klassen, namelijk:

- Klasse 1: vruchten zonder enige misvorming;
- Klasse 2: vruchten met geringe misvorming;
- Klasse 3: vruchten met misvorming;
- Klasse 4: vruchten zware misvorming.



Klasse 1



Klasse 2



Klasse 3



Klasse 4

Figuur 2. Klasse-indeling voor de kwaliteitsbeoordeling van aardbeien.

3 Resultaten

3.1 Metingen op locatie

In de periode 9-23 september 2009 zijn gedurende enkele etmalen etheenmetingen in een (lege) kas verricht. Tijdens de metingen bleven de ramen gesloten. De resultaten laten zien dat tijdens CO₂ doseren de etheenconcentraties kunnen oplopen tot circa 15-16 ppb. Voorafgaande aan een van de meetsessies is aan het begin van de avond enkele uren met een door een benzinemotor aangedreven fog apparaat door de kas gereden. De metingen lieten zien dat de etheenconcentratie dan oploopt tot ca. 29 ppb. Opvallend was dat de concentratie gedurende de daarop volgende nacht niet of nauwelijks afnam. Bij gesloten ramen is de betreffende kas dus vrij dicht, in de zin dat er weinig uitwisseling is met de buitenlucht. Twaalf uur later lag de concentratie in de kas nog rond de 20 ppb. Op het moment dat de ramen iets werden opgestuurd zakte de concentratie to achtergrondwaarde van 2-3 ppb.

3.2 Etheen experiment

De tijdens het begassingsexperiment gerealiseerde etheenconcentraties, gemiddelde etmaaltemperatuur en relatieve luchtvochtigheid zijn weergegeven in Bijlage III. In de controle behandeling was de gemiddelde etheenconcentratie circa 2 ppb. Deze concentratie komt overeen met de gebruikelijke achtergrondwaarden zoals die in de buitenlucht voorkomen. De gerealiseerde concentraties kwamen redelijk overeen met de gewenste concentraties.

3.2.1 Visuele beoordeling

Vier dagen na het starten van de begassing waren de eerste effecten van etheen zichtbaar. Bij de twee hoogste etheenconcentraties (57 en 100 ppb) was bij beide rassen de bladstand van het jongste blad meer naar beneden gericht ten opzichte van de planten in de controlebehandeling zonder etheen. Bovendien waren de bloembodems iets bruinig van kleur in plaats van frisgroen zoals bij de andere behandelingen het geval was. Na zeven dagen waren dezelfde effecten ook zichtbaar in de 33 ppb behandeling. De bloemen leken minder ver open te gaan en de kroonblaadjes bleven langer aan de gezette vruchten zitten in vergelijking met de controle. In de behandelingen van 10 en 19 ppb waren op dat moment geen effecten zichtbaar. Na een week waren in de behandelingen met 57 en 100 ppb etheen de uitlopers roder van kleur dan bij de andere behandelingen.

Na twee weken waren bruinige vlekken op het blad te zien bij de hoogste concentraties (57 en 100 ppb). Nog een week later waren de zelfde symptomen ook te zien op enkele bladeren van planten in de 19 en 33 ppb behandeling, maar in mindere mate. Bij 19 ppb waren de bloemen kleiner vergeleken met de controle. Bij de hoogste 2 concentraties kwamen nieuwe bloemen niet goed open, bleven klein, maar zetten wel. De vruchten leken kleiner vanaf 33 ppb.



Eerste symptomen na 4 dagen begassen: jong blad is naar beneden gericht.



Symptomen na 10 dagen begassen: bruine plekken op het blad en kroonblaadjes die aan de bloemen blijven zitten na zetting bij 100 ppb etheen.



Controle



100 ppb

Overzicht na 3 weken begassen; controle en 100 ppb etheen.

Na vijf weken (eindoogst) waren de planten die blootgesteld waren aan 10 ppb op basis van een visuele beoordeling niet afwijkend ten opzichte van de controle planten. De bloemen waren goed zichtbaar en hadden helderwitte kroonbladeren. Bij de behandelingen van 19 ppb en hoger waren de bloemen op het oog kleiner en minder goed zichtbaar; de trossen zaten meer tussen het blad. Ook de bladeren leken bij de visuele beoordeling kleiner. De trossen werden steeds compacter en de vruchten kleiner bij oplopende etheenconcentraties. Vanaf 33 ppb waren de gezette vruchten bruinig van kleur.

Vanaf de start van de begassing is wekelijks de toename van het aantal open bloemen bepaald (Figuur 3). De bloemontwikkeling nam toe in de tijd en de mate van toename was voor beide rassen vrijwel gelijk. Zowel bij Elsanta als Sonata was geen etheen effect aantoonbaar op het aantal bloemen dat tot ontwikkeling kwam.

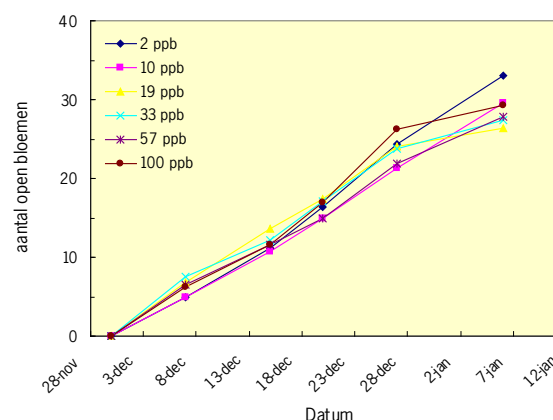
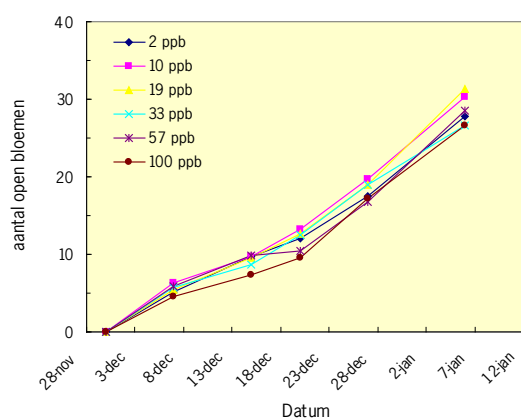


Controle



57 ppb

Symptomen na 5 weken begassen: bij 57 ppb etheen zijn de trossen kleiner en bruinig van kleur.

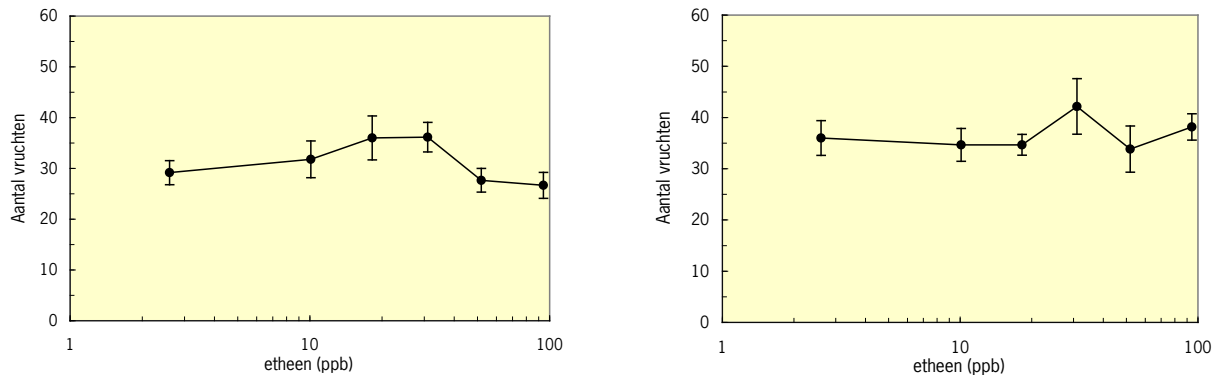


Figuur 3. Gemiddelde toename van het aantal open bloemen per behandeling van Elsanta (links) en Sonata (rechts) gedurende de blootstelling van vijf weken aan verschillende etheen concentraties (NB. x-as op log-schaal).

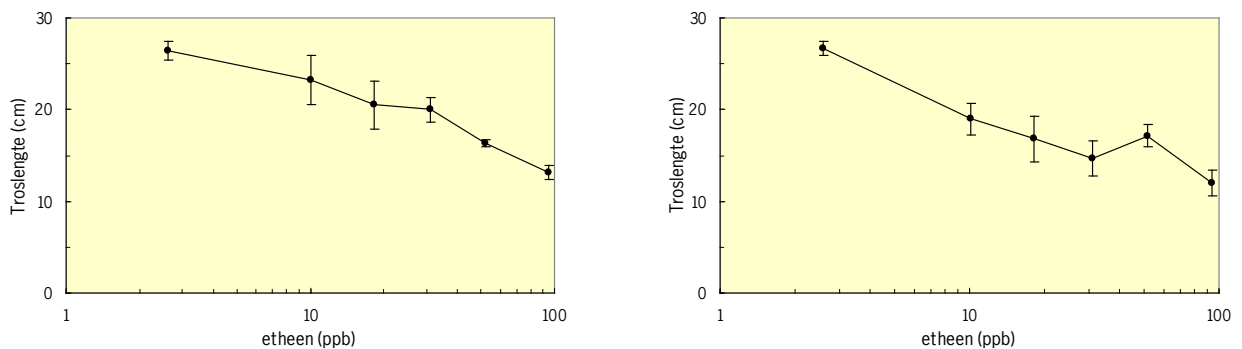
3.2.2 Destructieve oogst

Na vijf weken werd de begassing beëindigd waarna het aantal en de biomassa van alle vruchten werd bepaald. Ook de kwaliteit van de vruchten werd beoordeeld. Bij Elsanta kwamen in elke behandeling gemiddeld ca. 3 trossen per plant tot ontwikkeling met ca. 27-36 vruchten. Sonata ontwikkelde ca. 4 tot 5 trossen per plant met ca. 34 tot 42 vruchten (Figuur 4). Op basis van gemiddelden was er een trend waarneembaar waarbij de lengte van de trossen afnam bij hogere etheenconcentraties (Figuur 5). Uit de gemiddelde biomassa van de vruchten blijkt dat de vruchten in de twee hoogste behandelingen (57 en 100 ppb) enigszins kleiner waren ten opzichte van de overige behandelingen (Figuur 6). Dit effect komt

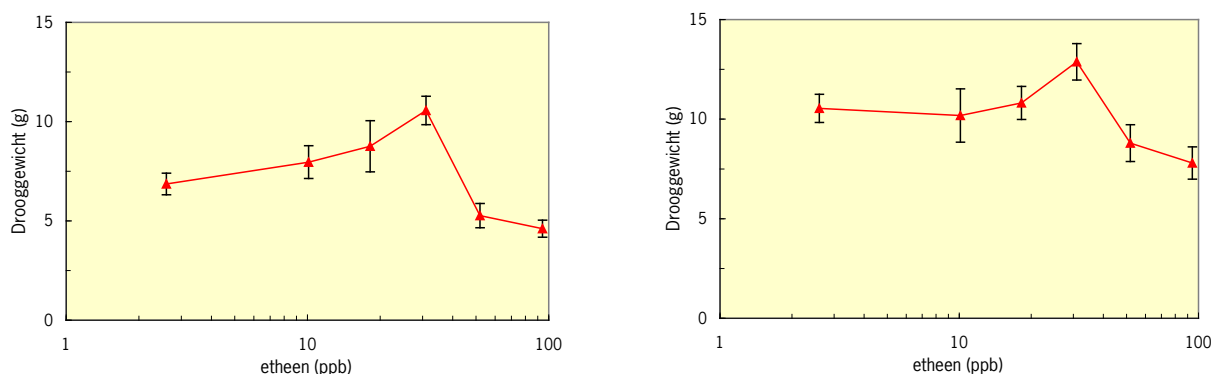
bij Elsanta sterker naar voren dan bij Sonata. Dat de planten in de '33 ppb behandeling' iets beter scoorden wat aantal en biomassa van de vruchten betreft kan het gevolg zijn van het feit dat de temperatuur in het betreffende begassingskasje iets hoger was ten opzichte van de overige kasjes waardoor de planten wat verder in ontwikkeling waren.



Figuur 4. Gemiddeld aantal vruchten per behandeling van Elsanta (links) en Sonata (rechts) na 4 weken blootstelling aan verschillende etheen concentraties (NB. x-as op log-schaal).

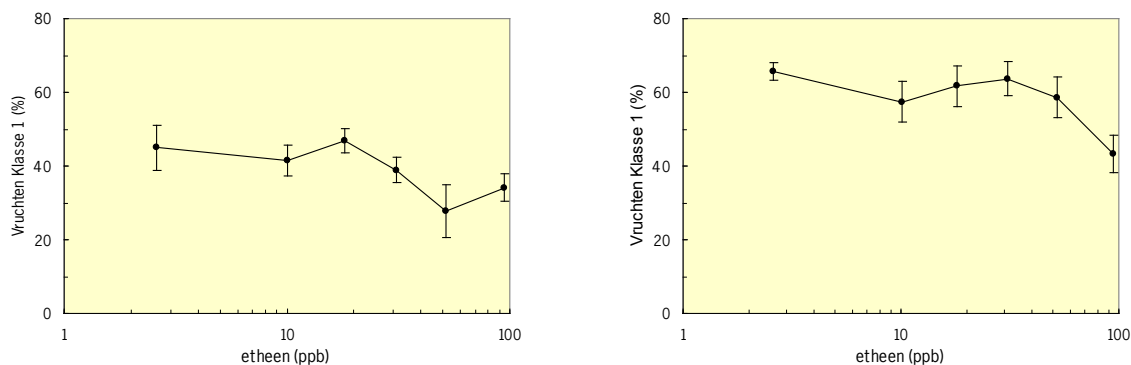


Figuur 5. Gemiddelde tros lengte (cm) van Elsanta (links) en Sonata (rechts) na 4 weken blootstelling aan verschillende etheen concentraties (NB. x-as op log-schaal).

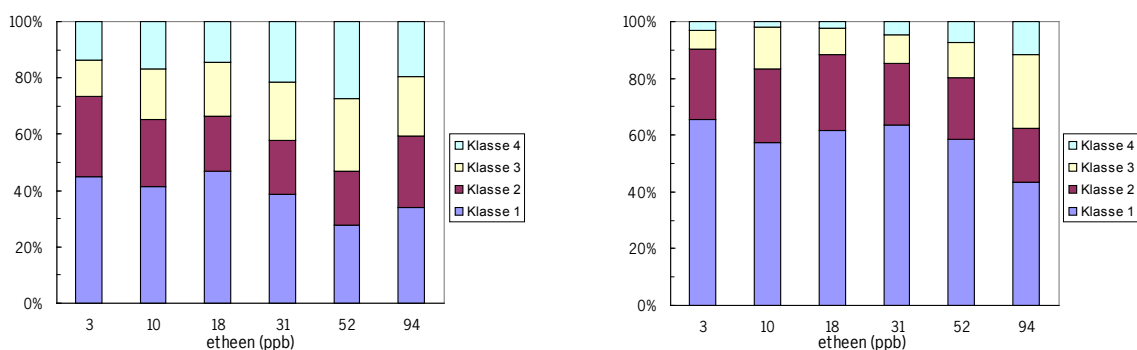


Figuur 6. Gemiddelde biomassa productie (g) van de vruchten van Elsanta (links) en Sonata (rechts) na 5 weken blootstelling aan verschillende etheen concentraties (NB. x-as op log-schaal).

De beoordeling van de vruchtkwaliteit laat zien dat ook in de controle behandeling niet alle vruchten van klasse 1 kwaliteit waren. Daarbij valt op dat er een duidelijk rasverschil bestaat, Sonata heeft in de controle behandeling ca. 20% meer klasse 1 vruchten dan Elsanta (Figuur 7). Het totaal aantal afwijkende vruchten in de klassen 2, 3 en 4, de zogenoemde 'kromme vruchten', lijkt toe te nemen bij de hogere etheenconcentraties, waarbij het effect bij Elsanta sterker lijkt dan bij Sonata (Figuur 8).

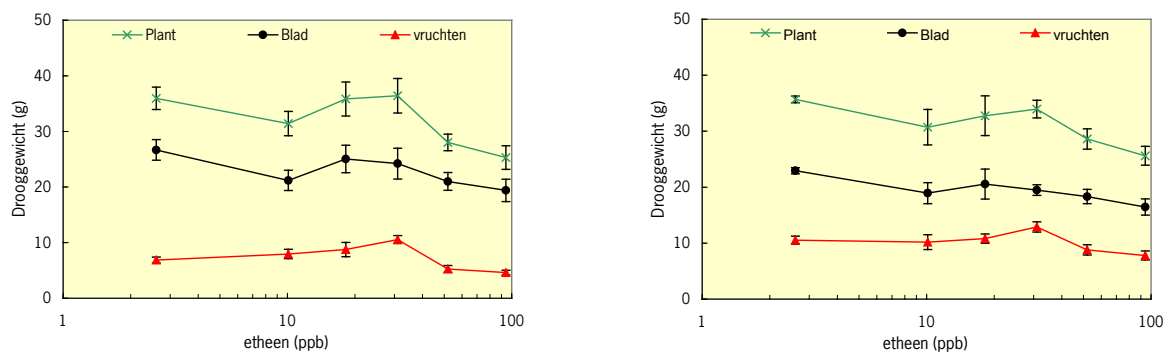


Figuur 7. Gemiddeld percentage vruchten in kwaliteitsklasse 1 van Elsanta (links) en Sonata (rechts) na 4 weken blootstelling aan verschillende etheen concentraties (NB. x-as op log-schaal).

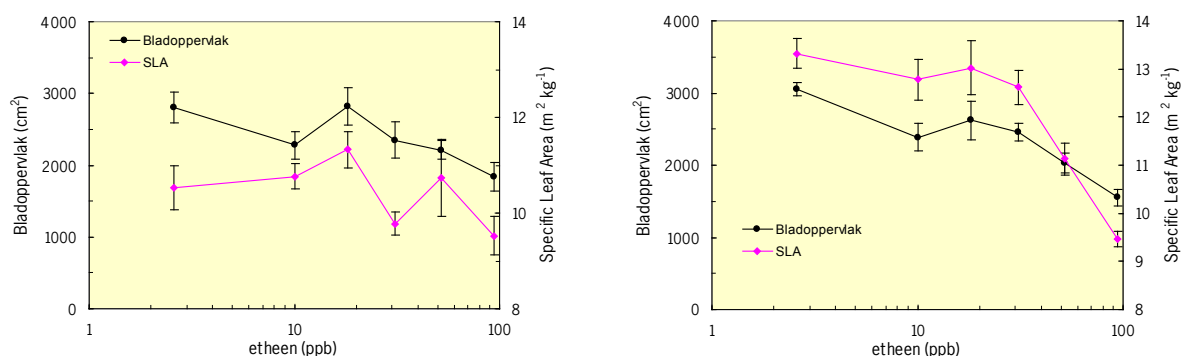


Figuur 8. Percentage vruchten per kwaliteitsklasse van Elsanta (links) en Sonata (rechts) na 4 weken blootstelling aan verschillende etheen concentraties (NB. x-as op log-schaal).

De totale biomassa productie in de verschillende behandelingen was voor beide rassen nagenoeg gelijk. De hoeveelheid bladbiomassa nam licht af bij toenemende etheenconcentraties. De totale biomassaproductie (blad plus vruchten) lijkt sterker af te nemen als gevolg van kleinere vruchten bij hogere etheenconcentraties (Figuur 9). Het aantal bladeren dat tot ontwikkeling kwam werd niet beïnvloed door etheen. Echter, etheen had wel invloed op de grootte en de dikte van de bladeren. Bladeren leken kleiner bij hogere etheen concentraties en dat bladeren dikker waren blijkt uit een afname van het bladoppervlak per oppervlakte eenheid (*Specific Leaf Area* ; Figuur 10).



Figuur 9. Gemiddelde biomassa productie (g) van blad, vruchten en gehele plant (bovengronds; inclusief vruchten) van Elsanta (links) en Sonata (rechts) na 5 weken blootstelling aan verschillende etheen concentraties (NB. x-as op log-schaal).



Figuur 10. Gemiddeld bladoppervlak (cm²) en Specific Leaf Area (m² kg⁻¹) van Elsanta (links) en Sonata (rechts) na 4 weken blootstelling aan verschillende etheen concentraties (NB. x-as op log-schaal).

Uit de beoordeling van de nieuw gevormde vegetatiepunten ('neuzen') bleek dat het aantal neuzen per plant niet werd beïnvloed door etheen (Tabel 00). Wel was er sprake van een verschil tussen de twee rassen. Elsanta ontwikkelde gemiddeld 2,8 neuzen per plant terwijl bij Sonata gemiddeld 4,4 neuzen per plant tot ontwikkeling kwamen. Per neus is het aantal bladposities bepaald (inclusief uitgroeiende bladprimordia net boven de top van het vegetatiepunt). Hieruit bleek dat ook het aantal bladposities niet werd beïnvloed door etheen. De rasverschillen waren minimaal, gemiddeld ruim negen bladposities bij Elsanta versus ruim acht bij Sonata. De zijknoppen in de oksels van de onderste bladeren groeiden uit tot vegetatieve uitlopers, stolonen genoemd. De knoppen hierboven, evenals de top, waren in alle behandelingen nog vegetatief. Van alle behandelingen waren alle neuzen volledig vegetatief, dus zowel de top als de zijknoppen. Er had nog geen zichtbare bloemontwikkeling plaatsgevonden.

Tabel 1. Gemiddeld aantal neuzen per plant en gemiddeld aantal bladposities per neus voor de aardbeienrassen Elsanta en Sonata na 4 weken blootstelling aan verschillende etheen concentraties

| Etheen | Aantal neuzen per plant | | Aantal bladposities per neus | |
|----------|-------------------------|--------|------------------------------|--------|
| | Elsanta | Sonata | Elsanta | Sonata |
| controle | 3,0 | 4,3 | 9,3 | 8,3 |
| 10 | 2,2 | 4,8 | 9,2 | 8,0 |
| 19 | 2,8 | 4,3 | 9,7 | 8,8 |
| 33 | 2,7 | 4,2 | 9,2 | 8,2 |
| 57 | 2,8 | 4,7 | 9,1 | 8,4 |
| 100 | 3,2 | 4,3 | 9,5 | 8,2 |

4 Evaluatie

4.1 Effecten van etheen

Beoordeling van de experimentele gegevens vindt plaats langs de volgende lijn. Tijdens het begassingsexperiment vindt er een kwalitatieve boordeling plaats van eventuele zichtbare effecten. Na afloop werden kwantitatieve gegevens verzameld zoals vers- en drooggewicht van blad en vruchten, bladoppervlak, aantal vruchten en vruchtkwaliteit. Op grond van deze kwantitatieve gegevens en de eventuele verschillen tussen behandelingen kunnen met de gekozen proefopzet dosis-respons berekeningen worden uitgevoerd met als doel NOEC's af te leiden (voor methodiek, zie Bijlage II). Een NOEC is gedefinieerd als de concentratie waarbij het behandelingseffect significant afwijkt van de controle. NOEC's dienen als basis voor het vaststellen van een effectgrenswaarde. Indien geen dosis respons relaties kan worden berekend is het soms mogelijk om een EC_{10} waarde te bepalen. Een EC_{10} is de concentratie waarbij het effect 10% afwijkt van de controle maar geeft geen uitsluitsel of het om een significant effect gaat.

Door de grote mate van variatie in respons tussen individuele planten binnen één behandeling bleek het niet mogelijk voor de verschillende kwantitatieve effectparameters een dosis-respons-relatie af te leiden met als gevolg dat ook geen NOEC waarden kon worden berekend. Met andere woorden, er kon voor de bepaalde effectparameters geen significant behandelingseffect worden aangetoond. Echter, voor enkele effectparameters bleek het wel mogelijk een EC_{10} waarde te bepalen (Tabel 2). De heterogeniteit van het uitgangsmateriaal met betrekking tot de gevoeligheid voor etheen is blijkbaar groot, zowel voor Sonata als Elsanta.

Tabel 2. EC_{10} (ppb) voor verschillende effecten van etheen op Elsanta en Sonata aardbeienplanten.

| | Elsanta | Sonata |
|---------------------------------------|---------|--------|
| Biomassa vruchten (excl duimvruchten) | 47,7 | 47,7 |
| Biomassa vruchten (incl duimvruchten) | 48,7 | 46,6 |
| Percentage vruchten klasse 1 | 69,0 | 51,2 |
| SLA ('Specific Leaf Area') | 52,2 | 40,8 |

Blootstelling van aardbeienplanten aan etheenconcentraties van 57 ppb of hoger leidt bij beide rassen al na vier dagen tot zichtbare effecten aan de bladstand en de kleur van de bloembodems. Drie dagen later waren dezelfde effecten ook zichtbaar bij concentraties vanaf 33 ppb. Na twee weken ontstonden bruine vlekken op het blad van de planten in de twee hoogste concentraties, en een week later waren de symptomen ook zichtbaar bij concentraties vanaf 19 ppb. Blootstelling gedurende vijf weken aan concentraties van 19 ppb of hoger leidt tot kleinere bloemen en de bloemen en trossen zaten meer tussen het blad.

De resultaten van dit onderzoek tonen aan dat blootstelling aan etheen van Elsanta en Sonata aardbeienplanten bij beide rassen geen effect heeft op het aantal bloemen en vruchten dat tot ontwikkeling komt. Er is geen bloem- en vruchtabortie waargenomen tijdens de gehele blootstellingsperiode. Dit in tegenstelling tot veel andere plantensoorten waarbij etheen al bij relatief lage concentraties leidt tot bloem- en/of vruchtabortie. Dit is ook onlangs nog aangetoond voor paprika in een vergelijkbaar experiment (van Dijk *et al.*, 2010).

Met betrekking tot de vruchtkwaliteit lijkt er sprake te zijn van een rasverschil, onbehandelde Sonata planten hadden ca. 20% meer klasse 1 vruchten dan Elsanta. Het feit dat onbehandelde planten relatief weinig klasse 1 vruchten hadden (Elsanta 40%; Sonata 60%) kan het gevolg zijn van de specifieke omstandigheden in de begassingskasjes wat betreft klimaat en de luchtsnelheden of een gevolg van de handmatige bestuiving. In de praktijk worden de bloemen namelijk door bijen bestoven. Het aantal afwijkende vruchten, de zogenoemde 'kromme vruchten', lijkt toe te nemen bij de hogere ethe-

enconcentraties, waarbij Sonata gevoeliger lijkt dan Elsanta. Het omslagpunt naar meer afwijkende vruchten ligt op basis van de EC₁₀ waarde rond de 50 ppb voor Sonata en rond 70 ppb voor Elsanta, maar het effect was niet significant. Meer 'kromme vruchten' zou een gevolg kunnen zijn van de reductie in tros lengte bij hogere etheenconcentraties. De trossen zaten meer tussen het blad waar een vochtiger microklimaat heerst waardoor het stuifmeel minder goed los komt met als gevolg een minder goede bestuiving en zetting. Tijdens het experiment was op basis van een kwalitatieve beoordeling al te zien dat er sprake was van kleinere vruchten bij hogere etheenconcentraties, maar dat de variatie binnen behandelingen groot was. Een significant effect was niet aantoonbaar maar de EC₁₀ waarde voor de biomassa productie van het totaal aantal vruchten lag voor beide rassen rond de 47 ppb.

Hoewel niet significant lijkt etheen wel invloed te hebben op de grootte en de dikte van de bladeren. Het bladoppervlak was kleiner bij hogere etheen concentraties en de bladeren waren dikker. Het omslagpunt naar meer dikker blad ligt op basis van de EC₁₀ waarde rond de 40 ppb voor Sonata en rond 52 ppb voor Elsanta.

De 'neuzen', die de trossen moeten leveren voor een volgende oogstperiode, hebben in vegetatieve toestand een ongedifferentieerde top met bladaanlegsels en bladeren. In de oksels van die bladeren worden ook weer knoppen aangelegd. Bij de overgang naar de generatieve fase wordt eerst de top generatief en levert de eerste bloemtros (hoofdbloemtros). Daarna kunnen zijknoppen ook aanlegsels voor bloemtrossen ontwikkelen. De vegetatieve uitlopers uit zijknoppen vormen de stolonen. Blootstelling aan verschillende etheenconcentraties gedurende vier weken had geen effect op het aantal en de ontwikkeling van de neuzen. Dit betekent dat blootstelling aan etheen niet heeft geleid tot een slechtere plantontwikkeling, van belang voor een volgende oogstfase.

4.2 Toetsing aan Effectgrenswaarde

In de studie van Dieleman *et al.* (2007) zijn ter bescherming van planten in het algemeen op basis van de meest recente informatie effectgrenswaarden voor en etheen en NO_x afgeleid (Tabel 3). Hierbij werd onderscheid gemaakt tussen lange- en korte-termijn blootstellingen. NB. In deze studie is geen onderzoek gedaan naar eventuele effecten van NO_x op aardbei.

Tabel 3. Effectgrenswaarden (ppb) ter voorkoming van negatieve effecten op planten als gevolg van blootstelling aan NO_x en etheen (Dieleman *et al.*, 2007).

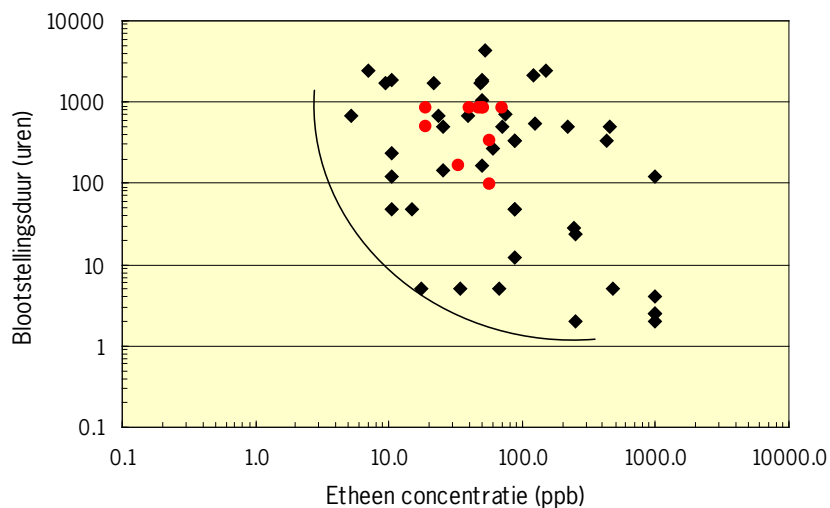
| Gas | Concentratie (ppb) | Tijdsduur |
|---|--------------------|-----------|
| Stikstofoxiden (NO _x) | 40 | 24-uur |
| | 16 | Jaar |
| Etheen (C ₂ H ₄) | 11 | 8 uur |
| | 5 | 4 weken |

Een effectgrenswaarde is de concentratie van een gas waarbij een risico voor het gewas bestaat. Een verhoogd risico wil niet zeggen dat er per definitie negatieve effecten aan het gewas zullen optreden. Dit hangt namelijk niet alleen af van het concentratieniveau maar ook van factoren zoals de gevoeligheid van de plantensoort voor de betreffende component, de klimaatsomstandigheden in de kas en eventuele andere stressoren (andere luchtverontreinigingscomponenten, ziekten en plagen).

De experimentele gegevens waarop de effectgrenswaarden zijn gebaseerd hebben betrekking op verschillende plantensoorten. In de onderliggende onderzoeken zijn algemene fysiologische en biochemische effecten geconstateerd zoals reductie van groei en opbrengst, remming van de fotosynthese, remming enzymatische processen, verwelking, chlorose en afwijkende groei. Voor het feitelijk vaststellen van effectgrenswaarden is gebruik gemaakt van de zogenaamde envelopbenadering. Alle effectieve blootstellingen uit de verschillende onderzoeken zijn grafisch weergegeven waarna de

effectgrenslijn is getrokken net onder de laagste effectieve blootstellingen. De effectgrenslijn kan worden beschouwd als een verzameling van blootstellingen, gedefinieerd naar concentratie en tijd, waarboven planten wel en waaronder planten geen risico lopen beschadigd te worden. Deze benadering is de tot nu toe meest gebruikte methode bij de afleiding van effectgrenswaarden voor de effecten van luchtverontreinigingscomponenten op planten (McCune, 1969; Jacobson, 1977; Posthumus *et al.*, 1989; Tonneijck, 1989; Van der Eerden & Van Dijk, 1993). De effectgrenswaarden worden bepaald door de gevoeligste plantensoorten en zijn bedoeld voor bescherming van planten in het algemeen.

De effectieve blootstellingsniveaus die betrekking hebben op aardbei (zichtbare effecten en berekende EC_{10} waarden uit dit onderzoek) zijn weergegeven in combinatie met de effectieve blootstellingsniveaus voor andere plantensoorten en de algemene effectgrenslijn (Figuur 11). Hieruit blijkt dat de aardbeienrassen Sonata en Elsanta minder gevoelig zijn voor etheen dan een aantal andere plantensoorten, met de algemene effectgrenswaarde wordt het risico voor aardbei overschat. Het is dus niet noodzakelijk om de algemene effectgrenswaarde aan te scherpen om negatieve effecten bij aardbei te voorkomen. Indien de etheenconcentraties in een kas de algemene effectgrenswaarde niet overschrijdt wordt aardbei daarmee voldoende beschermd.



Figuur 11. Effectieve blootstellingsniveaus van etheen met de effectgrenslijn voor het 100% beschermingsniveau. Ruitvormige symbolen (zwart): diverse plantensoorten (Uit: Van Dijk *et al.*, 2010; Tonneijck & Van Dijk, 2000; Beaudry & Kays, 1988). Ronde symbolen (rood): effecten op aardbeiplanten van de rassen Sonata en Elsanta (dit onderzoek).

5 Conclusies

Op grond van het onderzoek worden de volgende conclusies getrokken:

1. Bij CO₂ doseren kan de etheenconcentratie in de kas oplopen en indien de ramen gesloten blijven kan het gas relatief lang in de kas blijven hangen. Toepassing van apparatuur met verbrandingsmotoren zoals fog apparatuur versterkt dit effect;
2. In tegenstelling tot veel andere plantensoorten veroorzaakt etheen bij de aardbeienrassen Sonata en Elsanta geen bloem- en/of vruchtabortie;
3. Bij zowel Sonata als Elsanta was de bladstand van de jongste bladeren meer naar beneden gericht en de bloem bodems meer bruin van kleur na een blootstelling aan 57 ppb etheen gedurende vier dagen. Blootstelling aan 33 ppb gedurende zeven dagen gaf dezelfde effecten;
4. Bij zowel Sonata als Elsanta waren bruin verkleuringen op het blad te zien na een blootstelling aan 57 ppb etheen gedurende 14 dagen. Blootstelling aan 19 ppb gedurende 21 dagen gaf dezelfde effecten;
5. Na blootstelling aan 19 ppb gedurende 35 dagen waren de bloemen minder goed zichtbaar en zaten de trossen meer tussen het blad;
6. Voor beide rassen was er sprake van een tendens naar compactere trossen en kleinere vruchten vanaf 40 ppb (EC₁₀);
7. Voor Sonata was er sprake van een tendens naar meer 'kromme vruchten' vanaf 50 ppb (EC₁₀), voor Elsanta lag het omslagpunt op 70 ppb (EC₁₀);
8. Blootstelling aan etheen leidt bij beide rassen niet tot een verminderde plantontwikkeling (vorming nieuwe neuzen), van belang voor een volgende oogstfase;
9. De etheen effectgrenswaarde ter bescherming van plantensoorten in het algemeen biedt voldoende bescherming voor aardbei;
10. De heterogeniteit met betrekking tot de gevoeligheid voor etheen van het uitgangsmateriaal is relatief groot. Dit betekent dat aardbei in het algemeen niet erg gevoelig is voor etheen maar dat individuele planten wel sterk kunnen reageren;
11. Indien er behoefte bestaat aan meer inzicht in de mogelijke risico's van etheen is het bewaken van de etheenconcentratie op plantniveau aan te bevelen. Er zijn systemen in ontwikkeling waarbij een gevoelige etheen monitor (tot < 2 ppb) direct wordt gekoppeld aan de klimaatcomputer.

6 Referenties

- Anon., 2001.
Air Quality Guidelines for Europe 2000, second edition. World Health Organization, Regional Publications, European Series No. 91. Regional Office for Europe, Copenhagen.
- Beaudry, R.M. & Kays, S.J. 1988.
Effect of ethylene source on abscission of pepper plant organs.
HortScience 23:743-744.
- Blom, M., A.H. Eenink, 1986.
Nitrate concentration and reduction in different genotypes of Lettuce.
J. Amer. Hort. Sci 111 (6): 908-911.
- Dieleman, Anja, Jeroen Zwinkels, Arie de Gelder, Ingrid Kuiper, Feije de Zwart, Chris van Dijk & Tom Dueck (2007)
CO₂ bij parika: 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.
- Dueck, Th.A., C.J. van Dijk, F. David, N. Scholz & F. Vanwalleghem, 2003.
Chronic effects of di-n-butyl phthalate (DBP) on six plant species.
Chemosphere 53: 911-920.
- Evenhuis, B., R. Booij & B. Meurs, 2003.
Onderzoek naar de oorzaak van kromme vruchten bij glasaardbeien 2002-2003.
Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, Sector AGV, Lelystad,
PPO 510011.
- Jacobson, J.S. 1977.
The effects of photochemical oxidants on vegetation.
Verein Deutscher Ingenieure - Berichte 270: 163-173.
- Kruistum, G. van, B. Evenhuis, J. Wilms, B. Meurs & G. Blom, 2005.
Onderzoek naar de oorzaak van kromme vruchten bij glasaardbeien Rapportage 2003-2004.
Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, Sector AGV, Lelystad,
PPO 510011.
- McCune, D.C. 1969.
On the establishment of air quality criteria, with reference to the effects of atmospheric fluorine on vegetation.
Air Quality Monograph 69-3, American Petroleum Institute, New York, 33pp.
- Posthumus, A.C., Tonnejck A.E.G. & Van der Eerden, L.J. 1989.
Exposure-effect relationships for plants in relation to several air pollutants.
In: L. Brasser & W. Mulder (Eds.), Proceedings of the 8th World Clean Air Congress,
The Hague. Elsevier, Amsterdam, 13-18.
- Taylor, D.R., P.T. Atkey, M.F. Wickenden and C.M. Crisp, 1997.
A morphological study of flower initiation and development in strawberry (*Fragaria x ananassa*) using
cryo-scanning electron microscopy.
Ann. Appl. Biol., 130:141-152.
- Tonnejck, A.E.G. 1989.
Evaluation of ozone effects on vegetation in The Netherlands.
In: T Schneider, S.D. Lee, G.J.R. Wolters & L.D. Grant (Eds.),
Atmospheric ozone research and its policy implications.
Studies in Environmental Science 35. Elsevier, Amsterdam, 251-260.

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 der Eerden, L.J. & Van Dijk, C.J. 1993.

Effecten van atmosferische fluoriden op planten. Evaluatie van de wetenschappelijke basis voor normstelling.

CABO-DLO rapport 185, CABO-DLO, Wageningen, 45 pp.

Wellburn, A.R. 1990.

Why are atmospheric oxides of nitrogen usually phytotoxic and not alternative fertilizers?

Tansley Review 24.

New Phytologist 115:395–429.

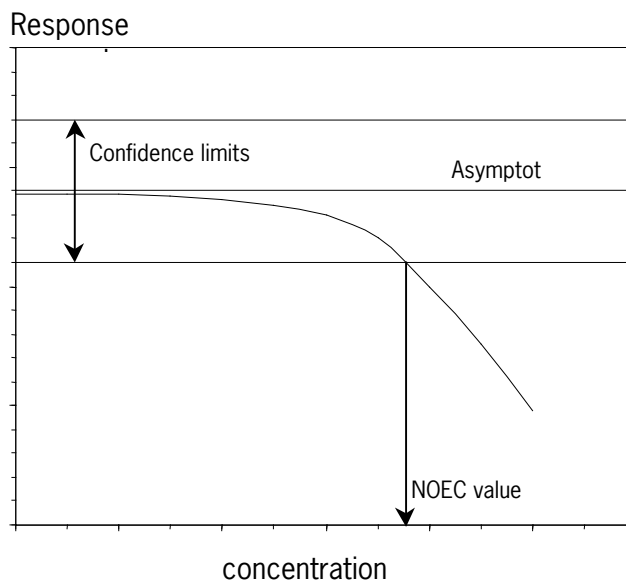
Bijlage I. Voedingsoplossing aardbei

| Hoofdelementen | mmol/liter | Spoorelementen | µmol/liter |
|-------------------------------|------------|------------------|------------|
| NH ⁴⁺ | 1,00 | Fe ²⁺ | 35 |
| K ⁺ | 5,15 | Mn ²⁺ | 15 |
| Ca ²⁺ | 3,05 | Zn ²⁺ | 10 |
| Mg ²⁺ | 1,17 | B ³⁺ | 15 |
| NO ₃ ⁻ | 10,84 | Cu ²⁺ | 0,85 |
| SO ₄ ²⁻ | 1,41 | Mo ⁴⁺ | 0,75 |
| P ³⁻ | 0,94 | | |

EC 1,6
pH 5,9

Bijlage II. Verwerking van gegevens

Voor de proefopzet is gekozen voor een reeks verschillende behandelingen zonder herhaling. Een dergelijke opzet maakt het mogelijk dosis-response-relaties te bepalen en aansluitend *No Observable Effect Concentrations* (NOEC) te berekenen (Dueck *et al.*, 2003). Dit impliceert het gebruik van regressie analyse voor het analyseren van de gegevens in plaats van variantie analyse om te toetsen op verschillen tussen behandelingen.



Formule 1:

$$y = \frac{C}{1 + e^{-B(\ln(x) - \ln(M))}}$$

Formule 2:

$$NOEC = M - \frac{\ln(C/y_c - 1)}{B}$$

*Figuur A. Grafische weergave voor het afleiden van NOECs. Na berekening van de dosis-response relatie (formule 1) en bepaling van het 95% betrouwbaarheidsinterval van de asymptoot (representant van geen effect), werd de concentratie bepaald overeenkomend met de ondergrens van het betrouwbaarheidsinterval (formule 2). Uit: Dueck *et al.*, 2003.*

Voorafgaande aan de regressie analyse werd voor elke effectparameter het gemiddelde per behandeling (begassingskasje) bepaald. Per effectparameter werd op basis van de gemiddelde waarde per behandeling de dosis-response-relatie bepaald door middel van regressie analyse met een logistisch model (Genstat, 1993). De beste *fit* van de non-lineaire regressie is gebruikt voor het berekenen van regressie-vergelijkingen met de formule:

$$y = C / \{1 + \exp[-B(\ln(x) - \ln(M))]\} \quad (\text{Formule 1, Figuur A})$$

waarin C is de berekende response als $x=0$, waarbij x is de gemiddelde concentratie (ppb) van de betreffende luchtverontreinigingscomponent gedurende de gehele expositieperiode.

Na schatting van parameter M (de concentratie die overeenkomt met het 50% effect ten opzichte van de controle) en B (schaal parameter), kan de Effectieve Concentratie worden berekend (EC10) die overeenkomt met een 10% lager effect ten opzichte van de controle (onder C). Vervolgens kan de NOEC worden berekend met behulp van de formule:

$$\text{NOEC} = M - \{\ln(C/y_c - 1)\}/B \quad (\text{Formule 2, Figuur A})$$

waarin y_c de ondergrens is van het 95% betrouwbaarheidsinterval van de asymptoot (C). De NOECs en EC10 werden berekend met de module *Fitnonlinear* van het statistisch software pakket Genstat.

Bijlage III. Gerealiseerde etheenconcentraties en klimaatomstandigheden

| Parameter | Behandeling | | | | | |
|---------------------------------------|-------------|------|------|------|------|------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| <i>Etheen experiment</i> | | | | | | |
| <i>(december 2009 – januari 2010)</i> | | | | | | |
| Etmaaltemp. (°C) | 14,2 | 15,0 | 15,5 | 16,1 | 15,0 | 14,8 |
| RV (%) | 78,5 | 75,3 | 71,3 | 75,6 | 71,6 | 74,9 |
| Etheen setpoint (ppb) | 0 | 10 | 19 | 33 | 57 | 100 |
| Etheen gerealiseerd (ppb) | 2,6 | 10,1 | 18,2 | 31,0 | 51,9 | 94,2 |
| st.afw. | 1,3 | 2,1 | 3,6 | 5,3 | 9,1 | 15,8 |

