

Sturing kasklimaat op basis van modellering van *Botrytis*

Oliver Körner¹ en Pieter de Visser²

¹ AgroTech

² Wageningen UR

Schade aan kasgewassen door Botrytisaantasting (smet) is één van de belangrijkste knelpunten in de kasteelt. Te hoge luchtvochtigheid en lokale koude plekken met condensvorming zijn de belangrijkste oorzaken van smet. Het instellen van een droog kasklimaat kost veel energie, maar door het gebruik van een waarschuwing- of sturingsmodel is het mogelijk om naast het vermijden van besmetting straks ook energiewinst te behalen ten opzichte van telen zonder model. Met verklarende computermodellen kunnen plantengroei, -kwaliteit en schimmelinfectie berekend worden. De modellen kunnen *Botrytis* helpen voorkomen door de juiste klimaatinstellingen en de inrichting van de kas.

Als een model tot doel heeft om als waarschuwingssysteem of als klimaatregelaar direct in de sturing in te grijpen, zullen tijdens de ontwikkeling van het model alle relevante processen gesimuleerd moeten worden. De bestaande computermodellen die *Botrytis*-infectie berekenen beperken zich meestal tot klimaatgerelateerde processen. Het hier gepresenteerde *Botrytis*-model voor kasgewassen bevat zowel berekeningen van het microklimaat, gewasspecifieke simulatie van o.a. bloemopeningstijden, gewasopbouw, gevoeligheid voor *Botrytis*, alsmede de hele ontwikkelingscyclus van de schimmel. Hieronder wordt kort de kern van het *Botrytis*-probleem en de mogelijke oplossing door inzet van een simulatiemodel toegelicht, waarna een operationeel model wordt beschreven en gedemonstreerd.

Kasklimaat en *Botrytis*

Een groot aantal aspecten van het kasklimaat heeft een directe invloed op de besmetting van het gewas en de ontwikkeling van *Botrytis*. Een hoge luchtvochtigheid vergroot de kans op *Botrytis*. Het microklimaat is hier van groot belang, waarbij de zogenoemde blatnatduur

één van de belangrijkste indicatoren is voor *Botrytis*besmetting. Sporen worden gevormd op afstervende plantendelen. Om de ontwikkeling van sporen te voorkomen (of te verminderen) is vooral het vochtdeficiet (het verschil tussen de maximale hoeveelheid vocht die de lucht kan bevatten en de werkelijke hoeveelheid vocht die de lucht bevat) tussen de bladeren in de nacht een bepalende factor (Visser *et al.*, 2010). Bijzonder belangrijk is het kasklimaat in de eerste fasen van de schimmelinfectie. Zo wordt sporulatie vooral bevorderd door een fluctuatie van temperatuur en RV (=relatieve luchtvochtigheid), en het landen en vasthechten van de sporen op het weefsel wordt sterk beïnvloed door vochtdeficiet en windsnelheid. Ten slotte is het kiemen van de sporen vooral een functie van de vochtigheid rondom de sporen.

Het werken met simulatiemodellen

De eerste pogingen om verklarende *Botrytis cinerea*-modellen en kasklimaatcontrole te koppelen zijn al in de jaren '90 gedaan (bijv. Löschenkohl, 1998), maar pas later, met de ontwikkeling van personal computers, heeft er een algehele versnelling van onderzoek naar modeltoepassing plaatsgevonden (bijvoorbeeld Körner & Holst, 2005). Deze simulatiemodellen zijn deels gebaseerd op publicaties en basisideeën gebaseerd op andere gewassen en teeltsystemen zoals druiven of aardbeien (bijv. Broome *et al.*, 1995; Ellison *et al.*, 1998), en vollegrondsteelt van bloemen (bijv. Ende *et al.*, 2000).

De huidige simulatiemodellen voor voorspelling van smet door *Botrytis* in kasgewassen bevatten als basis een gedetailleerd, verklarend dynamisch model. Het voordeel van dynamische simulatiemodellen is de nauwkeurige bepaling van bladnatduur. Dit was onmogelijk in eerdere modellen waar slechts een momentopname van de energiebalans berekend werd. Hier staat de

ARTIKEL

kwaliteit van microklimaatgegevens centraal en een microklimaatmeetsysteem is de basis voor de beste/uitgebreidste versie van een huidig, goed werkend DSS (decision support system) voor *Botrytis* in kassen. Maar een goed modelontwerp maakt ook de vrije keuze aan bronnen van inputgegevens mogelijk, dus afhankelijk van toegankelijke gegevens bepaalt het model welke gegevens wel en niet worden gebruikt. Met alleen standaard meetboxen kan dan wel het microklimaat berekend worden en dit maakt het model bruikbaar, maar een betere kwaliteit microklimaatgegevens wordt verkregen als er een (ruime) set aan microsensoren aanwezig is.

Opbouw van een Botrytismodel

Naast bekende relaties tussen infectie en waterdampspanning, temperatuur en licht, zijn in het Botrytismodel ook de sporendruk in de kas, en processen zoals depositie en aanhechting van sporen op de bloemen ingebracht. De berekening van ontwikkeling en aantasting door *Botrytis* is opgedeeld in drie fasen (Fig. 1): (1) het vormen van sporen, (2) het landen en aanhechten van de sporen op de bloemen en bladeren, en (3) het infecteren van het plantenweefsel. Na de infectie begint voor de schimmel *B. cinerea* in veel gewassen een latente periode, zodat een besmetting in de teeltperiode vaak niet herkend kan worden. De modellen moeten dus naast besmetting in de kas ook de kans op het ontstaan en de mate van schade in de naoogst kunnen voorspellen. Hierbij is modelinvoer van een verwacht klimaatverloop in de naoogst noodzakelijk (nabootsing van klimaat in de fasen van verpakking, bewaring, transport, en in de winkel).

Sporenbron

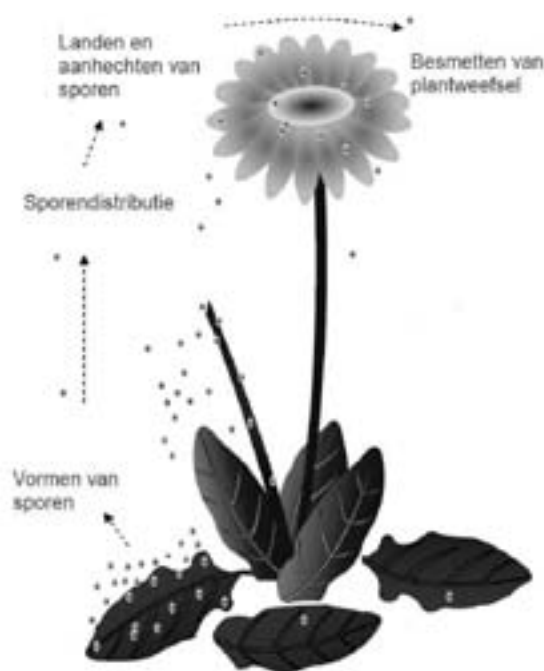
De buitenlucht is de eerste bron van *Botrytis*-sporen. Eénmaal op het gewas, vermeerdert *Botrytis* zich op oude afstervende bladeren en ander plantenmateriaal (Figuur 1). Het mycelium groeit in het oude weefsel en vormt sporen. Omdat het mycelium met suiker en water van het plantenmateriaal zelf verzorgd wordt, is het microklimaat niet direct van invloed op de myceliumgroei, maar de waterpotentiaal van het weefsel wel. Sporulatie, het vrijkomen van sporen vanuit sporendragers, wordt vooral door stress veroorzaakt. Stress kan zowel fysiek (aanraken) als klimaatbepaald (temperatuur, vocht, wind) zijn, zodat windbeweging door ventilatoren, open ramen, werkzaamheden, en/of snelle fluctuaties van RV en/of temperatuur tot sporulatie kunnen leiden.

Sporendistributie

Zonder enige luchtbeweging zullen de sporen binnen een uur of twee op de kasbodem en plantendelen belanden, maar aangenomen wordt dat reeds bij lichte turbulentie de zeer lichte sporen eerst enige tijd zweven alvorens neer te vallen. Afhankelijk van de oppervlakte van de invalsbasis (bloemen, wonden) wordt de waarschijnlijkheid van het vallen en het aantal sporen op het object per tijdstap berekend. Er zijn dan sporen naast elkaar aanwezig welke verschillen in leeftijd en dus geschiedenis (qua vocht, temperatuur, etc.). Voor het berekenen van de hoeveelheid met succes gelande sporen is de windsnelheid op de hoogte van de belangrijke plantendelen belangrijk, zo dat met toenemende windsnelheid de verspreiding van sporen in de kas toeneemt maar de kans op aanhechten afneemt. De binding wordt wel door vocht bevorderd.

Infectie

Bij *Botrytis*-infectie onderscheiden we in het model twee fasen: (1) kieming van sporen en (2) penetratie van de kiembuis in het weefsel (door zacht of beschadigd weefsel). Om kieming te voorspellen moeten vochtdeficiet en temperatuur in het zachte (lintvormige bloembladen van gerbera) of beschadigde weefsel (o.a. tomaat) bekend zijn. Kieming is een functie van condensvorming, temperatuur en vochtdeficiet.



Figuur 1. Schema van het verloop van een *Botrytis*-infectie, geïllustreerd voor snijgerbera (bloemtekening uit Slegers, 2009)

Omdat sporen zowel bij hoog RV als bij vrij water kunnen kiemen en er ook een invloed van temperatuur is (Yunis *et al.*, 1994), zijn er verschillende wiskundige functies in het model aan elkaar gerelateerd. De berekening van het risico voor infectie met sporen kan dan berekend worden door de tijdsintegralen van vochtige en droge perioden met elkaar te verrekenen.

Sporenvitaliteit

De sporenvitaliteit is gedefinieerd als het vermogen van de sporen om het weefsel binnen te dringen (onder optimale omstandigheden). De vitaliteit kan bijvoorbeeld berekend worden bij een gemiddelde RV in de kas in de laatste 24 uur en de stralingsom van de laatste 24 uur (Visser *et al.*, 2010). De kansen van kiemen, overleven (of sterven), en binnendringen in het plantenweefsel kunnen dan met behulp van de modelvergelijkingen bepaald worden. Het proces tussen kieming en binnendringen van de kiembuis in het weefsel duurt, afhankelijk van de vitaliteit van de sporen en de microklimaatomstandigheden, enkele uren. In dit tijdvenster kunnen de sporen afsterven als ze direct na de kieming uitdrogen of door langzaam afnemende vitaliteit door het wisselen van droge en vochtige perioden. Ook zonstraling vermindert de vitaliteit van de sporen.

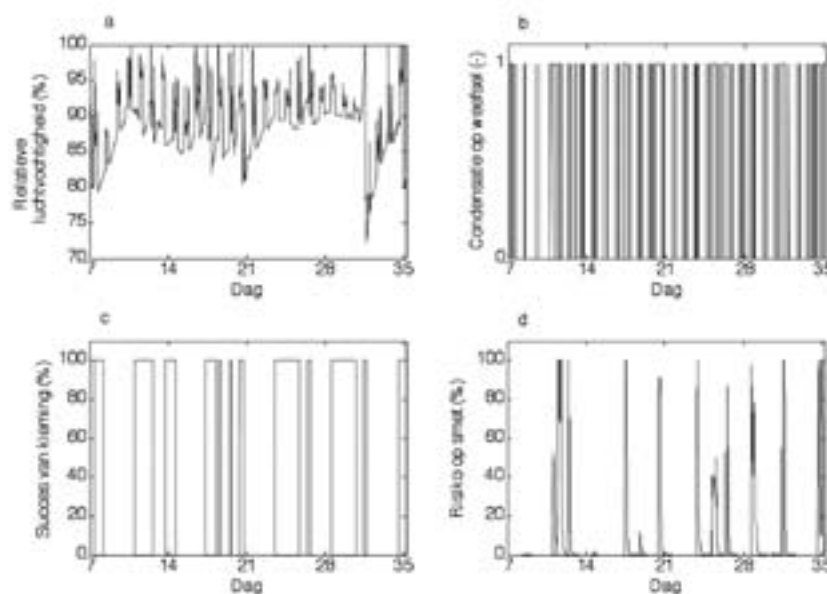
Risico van besmetting

Voor elke rekenstap van sporengroei en sporulatie tot het kiemen van de sporen op het plantenweefsel kan een risico berekend worden. Met behulp van een zgn. *box-car*-simulatietechniek kan zo van

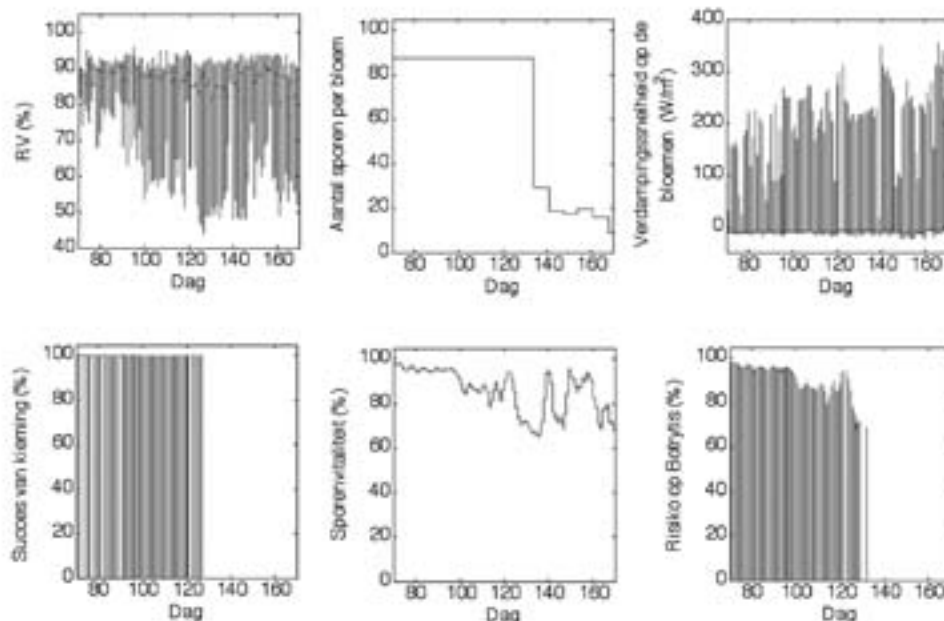
stap tot stap het totale risico van smet en uiteindelijk schade aan de plant of bloem bepaald worden: in elke simulatiestap wordt zo een 'box' met nieuwe sporen en de vitaliteit van de oude 'boxen' met sporen berekend. Startend met het aantal sporen dat per m² kas door het mycelium aangebracht wordt (en van de buitenlucht de kas binnen komt), wordt dan berekend hoe groot het percentage is dat op de verschillende delen van de plant terecht komt. Alleen dat deel van de sporen dat ook daadwerkelijk op het gevoelige plantenmateriaal terecht komt, wordt verder gevolgd (bijvoorbeeld alleen de sporen op de lintblaadjes van de geopende bloemen). Voor een realistische simulatie wordt de met de tijd afnemende vitaliteit van de sporen in de berekening van deze kans opgenomen. Het model berekent in deze modus de kans op smet. Met deze informatie over de relatieve kans op smet en schade kan dan de noodzaak van acties met betrekking tot kasklimaatsturing ingeschat worden door de tuinder of door de computer. Zo kan bijvoorbeeld voor een komende nacht in de teelt het risico op infectie berekend worden en enkele regelstrategieën worden bijgesteld: streefwaarde RV, raamstand, schermstand, of ventilators aan/uit.

Case study

Op basis van de bovengenoemde relaties zijn er modules voor een algemeen Botrytismodel ontwikkeld. Voor een gemiddelde situatie in januari is de infectie gesimuleerd (Figuur 2). Het *box-car*-model is hier essentieel voor simulatie van het effect van verloop van RV in de kaslucht, condensatiekans op het plantenmateriaal en de daaruit volgende kieming van de op de plantendelen terechtgekomen sporen.



Figuur 2. Gesimuleerde waarden voor de periode 7 januari t/m 4 februari voor a: relatieve luchtvochtigheid; b: condensatie op weefsel; c: kiemingssnelheid; en d: risico op smet.



Figuur 3. Gesimuleerde RV, sporen per bloem, verdampingsnelheid bloem, kiemsnelheid, sporenvitaliteit en kans op smet in gerbera in het voorjaar van 2008. De gebruikte waarden van kasklimaat en kasklimaatregelingen zijn afkomstig van een bedrijf met veel smet.

Het Botrytismodel is verder aangepast (gekalibreerd en gevalideerd) voor de kasteelt van snijgerbera en is getest door de Botrytisontwikkeling te simuleren voor het gegeven klimaat van een bedrijf met veel smet in winter en voorjaar (Figuur 3). Deze resultaten laten duidelijk het verband van kasklimaat, microklimaat en sporendruk zien. Dit verband is geïkht m.b.v. de gegevens van sporendruk gedurende twaalf maanden op twaalf gerberabedrijven (zie het artikel van Os *et al.* in deze uitgave van gewasbescherming).

Het voorspellings- en sturingsmodel geeft voor een specifiek bedrijf direct een inzichtelijk beeld hoe *Botrytis* en gerberagroei gerelateerd zijn aan het kasklimaat en hoe hier mee te sturen is. Het model bevat de gangbare basisrelaties tussen licht, temperatuur, vocht en schimmelgroei. De modelonzekerheid betreft vooral de heterogeniteit van het microklimaat in de kas, zoals lokale koude plekken. Omdat deze variatie voor elke kas weer anders is, wordt bepleit om een serie microsensoren in te zetten voor microklimaatmonitoring en voor input in het model. Ook de sporenverspreiding is lastig

te voorspellen vanwege de onbekende invloed van telersactiviteiten en van lokale luchtstromen. Monitoring van de sporendruk is dan een belangrijke aanvulling op de simulatie. Dit onderzoek is gefinancierd door het Productschap Tuinbouw en ministerie LNV.

Literatuur

- Broome JC, English JT, Marois JJ, Latorre BA & Aviles JC (1995) Development of an infection model for Botrytis Bunch Rot of grapes based on wetness duration and temperature. *Phytopathology* 85:97-102
- Ellison P, Ash G & McDonald C (1998) An expert system for the management of Botrytis cinerea in Australian vineyards. I. Development. *Agricultural Systems* 56:185-207
- Ende JE van den, Pennock-Vos MG, Bastiaansen C, Koster ATHJ & Meer LJ van der (2000) BoWaS: a weather based warning system for the control of Botrytis blight in lily. *Acta Horticulturae* 519:215-220
- Körner O & Holst N (2005) Model-based humidity control of grey-mould in greenhouse cultivation. *Acta Horticulturae* 691:141-148
- Löschenkohl B (1998) Nye strategier for luftfugtighed i vaeksthus i relation til svampeangreb (New strategies for humidity control in greenhouses related to fungal infection), 15. Danske Planteværnskonference, Danish Institute of Agricultural Sciences, Denmark. pp. 211-215
- Slegers J (2009) Model helpt telers om botrytismet te voorkomen. *Vakblad voor de Bloemisterij* 2009 (43): 44-45
- Visser P de, Körner O, Noort F van & Marcelis LFM (2010) Parapluplan Gerbera - Voorspellen en Sturen, Wageningen UR Glastuinbouw
- Yunis H, Shtienberg D, Elad Y & Mahrer Y (1994) Qualitative approach for modelling outbreaks of grey mould epidemics in non-heated cucumber greenhouses. *Crop Protection* 13:99-104

Samenvatting

In dit artikel wordt een model beschreven dat het gevaar voor Botrytisaantasting voorspelt. Op basis van kasklimaatgegevens worden schattingen gedaan van de vorming van sporen en hun verspreiding, landing op gevoelige plantendelen, hechting, kieming, en de infectie van de plant. Koppeling van het model aan de kasklimaatregeling kan aantasting voorkomen.