

SIMULATIE VAN HET VAASLEVEN VAN SNIJBLOEMEN

L.M.M. Tijskens

Uit een model dat het vaasleven van snijbloemen beschrijft en voorspelt, zijn twee aspecten nader uitgewerkt, om een indruk te geven van de technieken en methoden die hiervoor bruikbaar zijn. Tevens wordt benadrukt dat analogieën met andere takken van de wetenschap zeer verrassende en fraaie toepassingen kunnen opleveren. Zo wordt de kieming en groei van bacteriën en schimmels beschreven door middel van chemische kinetika. Ook de typische warmtegevoeligheid (versnelling van de groei resp. afdoding) wordt naar analogie met de kinetika behandeld.

Inleiding

Het verwachte vaasleven van snijbloemen is voor de consument een zeer belangrijk kwaliteitskenmerk. Ook in de gehele afzetketen, van teler tot detaillist, wordt dit als één van de belangrijkste kwaliteitsaspecten beschouwd. Daarom is op het toenmalige Sprenger Instituut (nu ATO Agrotechnologie) gepoogd het vaasleven van verschillende soorten en cultivars snijbloemen in een computermodel te beschrijven, om hiermee te kunnen achterhalen waar en door welke ingreep het vaasleven extra verminderd, of door welke (technische) ingreep het vaasleven verbeterd zou kunnen worden. Het gehele model is beschreven door van Doorn en Tijskens [1], en is uitgewerkt met behulp van CSMP op een Personal Computer. In dit artikel zal de aandacht hoofdzakelijk gericht worden op een aantal onderdelen die voor modellenbouwers op zich interessant zijn.

Zoals bij ieder model is ook hier de ontwikkeling van het model volgens bepaalde stadia verlopen:

- het vormen c.q. aanpassen van een logisch concept;
- formuleren van het concept in mathematische termen;
- schatten van de benodigde parameters;
- verifiëren van formulering;
- validatie van het model.

Op ieder willekeurig moment kan in dit cyclische proces teruggesprongen worden naar een voorgaande fase.

Gedurende de bouw en ontwikkeling van een model wordt deze cyclus herhaaldelijk doorlopen, tot een concept en formulering bereikt zijn, die aanvaardbaar zijn voor het beoogde doel.

Dit gehele proces is niet essentieel verschillend van het proces dat al eeuwen voorkomt bij wetenschappelijk onderzoek, nl. de interpretatie van onderzoeksresultaten en het formuleren van wetmatigheden. Het enige nieuwe in de moderne modelbouw, is de mogelijkheid de formuleringen met behulp van een computer snel en doeltreffend te simuleren.

Overzicht totale model

In het model wordt het verwachte vaasleven van snijbloemen geacht te zijn opgebouwd uit 7 vrij onafhankelijke deelprocessen namelijk:

- tijd en temperatuur;
- droog liggen;
- infectie door schimmels (Botrytis);
- infectie door bacteriën in de stengel;
- invloed van (te) lage temperatuur;
- invloed van afwezigheid van snijbloemenvoedsel;
- invloed van ethyleen.

Het vaasleven is gedefinieerd als de tijd die een bloem (ras, cultivar) op de vaas kan staan in gestandaardiseerde omstandigheden van temperatuur, licht, bloemenvoedsel enz. Het aantal dagen dat de bloem houdbaar is, wordt met het oog bepaald, en is dus tamelijk onnauwkeurig. Dit heeft directe gevolgen voor het te bouwen model: een nauwkeurigheid van 1 dag geschat vaasleven is ruim voldoende.

Bij de bouw van het model is aangenomen dat de voornoemde 7 deelprocessen elkaar niet rechtstreeks beïnvloeden, en dat de resultaten per deelproces optelbaar zijn voor het geheel. Dit neemt niet weg dat de tijd, de temperatuur en de relatieve vochtigheid op meer plaatsen in het model een rol spelen. In het kader van dit artikel zullen we aandacht besteden aan de punten 3 en 4, omdat deze van interesse zijn voor de modelbouw in zijn algemeenheid. De overige deelprocessen zijn voor het merendeel gebaseerd op empirisch/statistische verbanden, die geen inzicht geven in de onderliggende processen. Er is namelijk nog niet voldoende bekend (gegevens noch theorie) om deze onderliggende processen op een theoretisch verantwoorde manier te kunnen beschrijven.

Infectie door schimmels

De meest voorkomende schimmelinfectie bij bloemen wordt veroorzaakt door *Botrytis cinerea*. Ontkieming van de eventueel aanwezige schimmelsporen kan slechts plaatsvinden indien de RV boven 98% uitkomt. Uiteraard zou de RV berekend kunnen worden uit de temperatuur, de hoeveelheid aanwezig vocht, de grootte van de ruimte, de verdamping en opname van vocht door de plant enz., maar deze benadering is voor dit praktijkmodel niet gekozen, omwille van de beperking in programmeer- en reken-tijd: het model zou te groot en te log worden voor deze toepassing. De RV wordt, net als de temperatuur, als een externe parameter meegegeven door de gebruiker.

De totale keten van *Botrytis*-schimmel in bloemen kan als volgt omschreven worden:

- *Depositie*
Sporen, aanwezig in de lucht waar de bloemen behandeld worden (inpakken, snijden, sorteren), zetten zich af op de bladeren van bloem en plant;

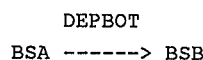
- **Ontkieming**
Sporen, aanwezig op de bladeren van bloem en plant, ontkiemen bij een RV groter dan 98%, met een snelheid afhankelijk van de temperatuur;
- **Groei**
De ontkiemde sporen groeien als draden verder tot een kolonie en kluwen, afhankelijk van de temperatuur, maar onafhankelijk van de RV;
- **Afsterving**
De draden en de sporen zullen bij hogere temperatuur afsterven. Gezien de normale temperatuur in de bloemenketen, komt dit fenomeen hier niet ter sprake. Toch moet met een soortgelijk probleem rekening gehouden worden, in zoverre dat de ontkieming wel degelijk vertraagd kan worden door een temperatuur hoger dan 25 á 30 °C;
- **Vaaslevenverkorting**
Het vaasleven van de bloem zal verminderen vanaf het moment dat de kolonie zichtbaar wordt. De grootte waarbij dit gebeurt is gesteld op 0.5 mm diameter. De grootte van de kolonie wordt dan rechtstreeks gebruikt als maat voor deze verkorting.

Voor alle voornoemde aspecten is bij het modelleren gebruik gemaakt van technieken en formuleringen die bekend zijn vanuit de chemische kinetika. Deze technieken lenen zich per definitie uitstekend voor het beschrijven van omzettingen van één type stof in een ander type.

Depositie

Voor de afzetting van sporen uit de lucht op de bladeren is gekozen voor een pseudo-nulde-orde-reactie: de hoeveelheid sporen in de lucht is in vergelijking met de hoeveelheid afgezette sporen zo groot dat deze niet verandert. Het aantal sporen dat afgezet wordt op blad en bloem is dus alleen afhankelijk van het aantal sporen in de omgevende lucht. De afzetsnelheid is niet afhankelijk van de temperatuur, maar wél van de grootte van de ruimte (luchthoeveelheid), de ventilatie in deze ruimte en het totale bladoppervlak. Laatstgenoemde invloeden worden in het model niet berekend, maar zijn in te stellen door middel van de afzetsnelheid DEPBOT.

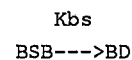
De schematische reactie verloopt dus als volgt:



Met: BSA = Aantal sporen in de lucht
BSB = Aantal sporen op de bloem.

Ontkieming

Uit praktische experimenten is gebleken dat sporen slechts kunnen ontkiemen bij een RV groter dan of gelijk aan 98%. Voor de ontkieming zelf is een eerste-orde-reactie-mechanisme aangenomen: het aantal draden dat ontkiemt, is evenredig met het aantal sporen. Het aantal sporen op zijn beurt wordt evenredig minder.

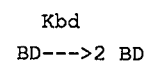


Met: BD = initieel aantal schimmelsporen op de bloem.

De (ongecorrigeerde) kiemsnelheid Kbs is afhankelijk gesteld van de temperatuur, en wel volgens de formule van Arrhenius. Dit houdt dus in dat de kiemsnelheid (exponentieel) toeneemt met toenemende temperatuur.

Groei

De groei van de Botrytis-draden wordt op een soortgelijke wijze benaderd als de ontkieming van de sporen. Ook hier wordt een eerste-orde-reactie-mechanisme is aangenomen: het aantal botrytis draden neemt evenredig toe met het reeds aanwezige aantal.



Ook de ongecorrigeerde groeisnelheid Kbd is afhankelijk van de temperatuur volgens Arrhenius.

Afsterving

Er moet rekening gehouden worden met een verminderende ontkieming en groei bij relatief hoge temperaturen, die eventueel in de praktijk kunnen voorkomen. Dit gebeurt niet in de set formules zoals die tot nu toe gegeven is. Simpele groeisnelheden volgens Arrhenius nemen namelijk continu toe met toenemende temperatuur.

Natuurlijk kunnen we voor de afsterving een aparte stelsel differentiaalvergelijkingen opstellen, maar hiertegen zijn drie argumenten aan te voeren. In de eerste plaats zijn niet voldoende gegevens beschikbaar in de literatuur om de afsterving apart te schatten. In de tweede plaats wordt het model er nodeloos zwaar door belast, in zoverre dat analytische functies sneller uitgerekend worden dan differentiaalvergelijkingen. In de derde plaats wordt het systeem alsnog onoplosbaar, indien de opgestelde reactievergelijking nog ingewikkelder zou worden. Daarom is gekozen voor een benadering van de analytische oplossing.

Om de afsterving (vermindering van groei) te modelleren, is een analogie met een normale chemische evenwichtsreactie toegepast.

Uit de analytische oplossing blijkt dat, in vergelijking met een gewone reactie, er een correctie toegepast moet worden. Deze correctieterm is 1 bij lage temperaturen en 0 bij hoge temperaturen. Wat we nu zoeken is een continue functie die dit gedrag vertoont. Een van de mogelijke functies die aan deze voorwaarden voldoet, is een logistische curve tussen 1 en 0.

Met de zo berekende correctie factor worden de snelheidsconstanten Kbs en Kbd vermenigvuldigd. De beno-

digde parameters voor groei en ontkieming zijn geschat met behulp van niet-lineaire regressie gebaseerd op gegevens uit Hawker [2] en uit Ramsey en Lorbeer [3]. Uit de resultaten blijkt dat een zeer goede verklaring gevonden wordt voor het waargenomen fenomeen van groei- en kiemvertraging bij hogere temperatuur. Binnen één set gegevens is de verklaring zelfs meer dan 95%.

Vaaslevenverkorting

Het totale beeld van de schimmelketen kan nu als volgt omschreven worden:

DEPBOT Kbsc Kbdc
BSA----->BSB----->BD----->2 BD

Met: Kbsc = kiemsnelheid schimmelsporen
gecorrigeerd met correctiefactor
en Kbdc = groeisnelheid schimmelsporen
gecorrigeerd met correctiefactor.

Met behulp van een stelsel differentiaalvergelijkingen wordt nu het gehele systeem van Botrytis-ontkieming en -groei beschreven, en wel zodanig dat op ieder willekeurig tijdstip het geschat aantal sporen en het aantal draden op het blad bekend zijn.

Dit aantal draden wordt nu rechtstreeks gebruikt om de verkorting van het vaasleven te beschrijven. Wel wordt aangenomen dat een aantal draden op de bloem aanwezig mag zijn zonder nadelige gevolgen voor het vaasleven. De respons van een bepaalde bloem wordt nog vermenigvuldigd met zijn specifieke gevoeligheid voor Botrytis-infectie.

Infectie door bacteriën

Het negatieve effect van bacteriën op het vaasleven van snijbloemen wordt veroorzaakt door het blokkeren van de xyleem-vaatbundels door bacteriën in het ondereind van de stengel. Het aantal bacteriën daar aanwezig is dus de beschrijvende factor. De totale keten van bacteriegroei bij snijbloemen kan dan als volgt samengevat worden:

- *Groei in vaaswater*
Bacteriën aanwezig in het vaaswater groeien hierin, met een snelheid die afhankelijk is van de temperatuur;
- *Migratie naar en groei in de stengel*
Door de opname van water door de bloemstengels, komen bacteriën ook in de stengel terecht. De bacteriën in de stengel groeien met dezelfde snelheid als in vaaswater, en blokkeren daar allengs de vaatbundels;
- *Snijden van de stengel*
Soms kort de teler, detaillist of consument de stengels iets in. Hierdoor worden alle bacteriën uit de stengel verwijderd (zeer discontinu). Het aantal bacteriën in het vaaswater verandert hierdoor niet;
- *Verversen vaaswater*
Door het verversen van vaaswater worden alle bacteriën daarin verwijderd, en start de hele keten opnieuw. Het aantal bacteriën in de stengel verandert hierdoor echter niet. Ook dit is een zeer discontinu proces.

In tegenstelling met de schimmelinfectie, wordt bij de bacterieinfectie geen rekening gehouden met ontkieming van sporen (deze zijn namelijk reeds ontkiemd). Aangezien de bacteriegroei minder gevoelig is voor een negatieve invloed van hogere temperaturen, is ook geen rekening gehouden met de verminderende toename bij deze hogere temperaturen.

Wel moet in dit geval rekening gehouden worden met invloed van overbevolking: in bepaalde gevallen treedt de beïnvloeding van het vaasleven door bacteriegroei namelijk pas op bij een zeer grote aantal bacteriën. Tevens zijn het verversen van het vaaswater, en het snijden van de stengel acties waardoor het verwachte vaasleven weer kan toenemen. Om deze reden is het nodig de populatie niet zuiver exponentieel te laten groeien, maar rekening te houden met de overbevolking: de groei van de populatie wordt afgeremd door de aanwezige populatie, indien deze te groot wordt. Dit wordt algemeen beschreven met een logistische (of soortgelijke) functie.

Groei bacteriën in vaaswater

In het verse vaaswater zijn (bijna) altijd een aantal bacteriën aanwezig. Deze gaan daar groeien volgens een logistische of S-vormige curve.

De groeisnelheid is afhankelijk van de temperatuur, aangenomen volgens Arrhenius.

Met behulp van niet-lineaire regressie-analyse is deze formule, inclusief Arrhenius, getest op eigen metingen [4], en zijn de parameters geschat. Het % verklaard is bij deze schatting uitstekend (99.8%). Het concept en de functie is dus bruikbaar.

In het model wordt dit concept gebruikt in de gedifferentieerde vorm om te kunnen inspelen op actuele veranderingen in omstandigheden, zoals bijvoorbeeld de omgevingstemperatuur.

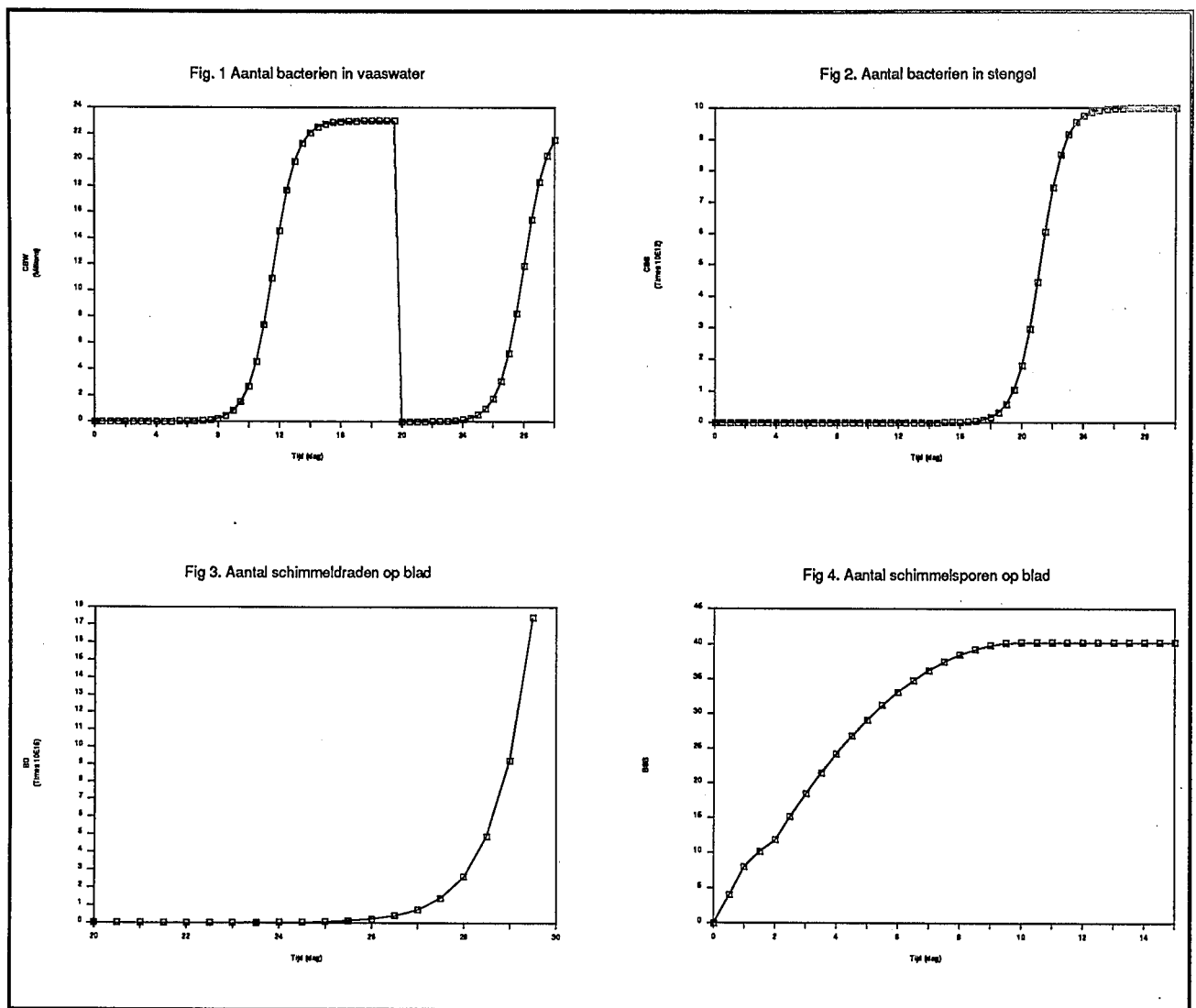
Migratie naar en groei in de stengel

Voor de migratie naar de stengel wordt aangenomen dat het aantal bacteriën dat per tijdseenheid van het vaaswater naar de stengel wordt getransporteerd, evenredig is met het aantal bacteriën in het vaaswater. De hoeveelheid getransporteerde bacteriën is echter zo gering dat de concentratie in het vaaswater hierdoor niet vermindert (pseudo-eerste-orde-reactie).

De groei van de bacteriën in de stengel wordt op exact dezelfde wijze beschreven als in het vaaswater. Aangezien geen gegevens beschikbaar zijn betreffende de groei in de stengel, worden dezelfde parameters gehanteerd.

Snijden van de stengel

Wanneer de stengel afgeknipt wordt, verandert het hele patroon en het evenwicht in de populatie. Het aantal bacteriën in de stengel wordt discontinu naar 0 gebracht. Dit is zeer moeilijk te bewerkstelligen binnen CSMP. Indien men zeer grondig thuis is in de structuur van dit modelleerpakket, kan men dit enigszins elegant oplossen. Binnen het kader van dit model is uitsluitend gebruik gemaakt van de zeer drastische (en dus vrij onnauwkeurige) techniek om alleen de rechthoekige (Euler) integratie toe te passen. De



integratie-algoritmen met variabele stapgrootte lopen alle stuk op deze discontinuïteit.

Verversen vaaswater

Ook bij het verversen van vaaswater treedt een soortgelijke discontinuïteit op: het aantal bacteriën in het vaaswater wordt op 0 gezet.

Vaaslevenverkorting

Het aantal bacteriën in de stengel wordt gebruikt als maat voor de vaatverstopping. Ook hier wordt aangenomen dat er een aantal bacteriën in de stengel aanwezig mag zijn zonder dat dit nadelige gevolgen heeft voor de bloem. Het aantal bacteriën in de stengel wordt niet rechtstreeks gebruikt maar via een decimale log.

Afsluiting

Uit de gehele behandeling van het probleem blijkt dat zeer nuttig gebruik kan worden gemaakt van analogieën in chemie en fysica. Tevens wordt duidelijk dat waar mogelijk gebruik gemaakt moet worden van balansen of analytisch opgeloste differentiaalvergelijkingen, dit met het oog op programmeergemak en runtijd. Eveneens wordt duidelijk dat niet altijd exact bekend hoeft te zijn hoe een variabele verandert door randvoorwaarden of proces, maar dat

een goed begrijpelijk model kan worden gebouwd, zonder al te veel empirische benaderingen. Hoe meer er echter bekend is over een bepaald verloop hoe beter. Het is natuurlijk niet altijd opportuun om dit in extenso te programmeren.

Tot slot wordt in figuur 1 en 2 een voorbeeld gegeven van de groei van bacteriën in vaas en stengel, en in figuur 3 en 4 van de groei van Botrytis-draden en -sporen op het blad.

Literatuur

W.G. van Doorn, L.M.M. Tijskens, 1990, *FLORES: A model on the keeping quality of cut flowers*, Agricultural Systems (submitted).

L.E. Hawker, S. Mayak, 1950, *Physiology of fungi*, Univ. London Press.

G.R. Ramsey and J.W. Lorbeer, 1986, *The role of temperature and free moisture in onion flower blight*, Phytopathology 76, pp. 612-616.

Y. De Witte, personal communication. □

Drs. L.M.M. Tijskens is werkzaam bij het ATO-Agrotechnologie, Haagsteeg 6, Postbus 17, 6700 AA Wageningen.