



Fytosanitaire na-oogst behandel- en detectietechnieken voor plaagorganismen in tuinbouw

Literatuur- en deskstudie

Yu Tong Qiu, Esther Hogeveen, Jan Verschoor, Klaas van Rozen, Jos Ruizendaal, Herman Helsen, Kees Booij, Martin van Dam, Addie van der Sluis, Erik Pekkeriet, Peter Vreeburg, Marcel Vijn en Piet Spoorenberg



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

Fytosanitaire na-oogst behandel- en detectietechnieken voor plaagorganismen in tuinbouw

Literatuur- en deskstudie

Yu Tong Qiu, Esther Hogeveen, Jan Verschoor, Klaas van Rozen, Jos Ruizendaal, Herman Helsen, Kees Booij, Martin van Dam, Addie van der Sluis, Erik Pekkeriet, Peter Vreeburg, Marcel Vijn en Piet Spoorenberg

Wageningen University & Research

‘Ontwikkeling effectieve en duurzame technieken ten behoeve van plaagvrije tuinbouwproducten in internationale handelsketens’ in het kader van beleidsondersteunend onderzoeksthema Fytosanitair Robuuste Ketens (projectnummer KV1505 081). Dit onderzoek wordt in opdracht van TKI Tuinbouw en uitgangsmaterialen uitgevoerd door de Stichting Wageningen Research, onderdeel van Wageningen University & Research.

Wageningen, maart 2018

Rapport WPR-751

Yu Tong Qiu, Esther Hogeveen, Jan Verschoor, Klaas van Rozen, Jos Ruizendaal, Herman Helsen, Kees Booij, Martin van Dam, Addie van der Sluis, Erik Pekkeriet, Peter Vreeburg, Marcel Vijn en Piet Spoorenberg 2018.

Fytosanitaire na-oogst behandel- en detectietechnieken voor plaagorganismen in tuinbouw.

Wageningen Research, Rapport WPR-751

Dit rapport is gratis te downloaden op <https://doi.org/10.18174/432083>

© 2018 Wageningen, Stichting Wageningen Research, Wageningen Plant Research, Business unit P-AGV, Postbus 430, 8200 AK Lelystad; T 0320 291111; www.wur.nl/plant-research/PAGV

KvK: 09098104 te Arnhem

VAT NL no. 8113.83.696.B07

Stichting Wageningen Research. 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 Stichting Wageningen Research.

Stichting Wageningen Research is niet aansprakelijk voor eventuele schadelijke gevolgen die kunnen ontstaan bij gebruik van gegevens uit deze uitgave.

Rapport WPR-751

Foto omslag: Peren worden geïnfecteerd met fruitmotlarven, Stichting Wageningen Research

Inhoud

| | | |
|----------|--|-----------|
| | Woord vooraf | 5 |
| 1 | Bestaande en nieuwe technieken | 7 |
| 1.1 | (High-speed) CATT: Controlled Atmosphere Temperature Treatment | 7 |
| 1.1.1 | Wat is de effectiviteit ? | 8 |
| 1.1.2 | Wat is de toepasbaarheid ? | 11 |
| 1.1.3 | Volwassenheid techniek en toelaatbaarheid | 13 |
| 1.1.4 | Conclusie | 13 |
| 1.2 | Etherische oliën | 14 |
| 1.2.1 | Natuurlijke oorsprong en functies | 14 |
| 1.2.2 | Toepasbaarheid | 14 |
| 1.2.3 | Chemisch samenstelling | 14 |
| 1.2.2 | Effectiviteit | 15 |
| 1.2.3 | Perspectief en volwassenheid | 16 |
| 1.3 | Ioniserende straling | 17 |
| 1.3.1 | Toepasbaarheid (in potentie, waar in de keten) | 18 |
| 1.3.2 | Effectiviteit | 18 |
| 1.3.3 | Volwassenheid techniek | 19 |
| 1.3.4 | Conclusie | 23 |
| 1.4 | Radiofrequentie- en magnetronstraling | 24 |
| 1.4.1 | Effectiviteit | 24 |
| 1.4.2 | Toepasbaarheid | 24 |
| 1.4.3 | Volwassenheid techniek en toelaatbaarheid | 25 |
| 1.4.4 | Conclusie/discussie | 25 |
| 1.5 | Ozon | 26 |
| 1.5.1 | Effectiviteit | 26 |
| 1.5.2 | Toepasbaarheid | 27 |
| 1.5.3 | Volwassenheid techniek en toelaatbaarheid | 27 |
| 1.5.4 | Conclusie/discussie | 27 |
| 1.6 | Stikstofoxide | 29 |
| 1.6.1 | Effectiviteit | 29 |
| 1.6.2 | Toepasbaarheid (waar in de keten) | 29 |
| 1.6.3 | Volwassenheid techniek | 29 |
| 1.6.4 | Conclusie/discussie | 30 |
| 1.7 | (Koud) plasma | 31 |
| 1.7.1 | Effectiviteit | 31 |
| 1.7.2 | Toepasbaarheid | 33 |
| 1.7.3 | Volwassenheid techniek | 34 |
| 1.7.4 | Conclusie/discussie | 35 |
| 1.8 | Gepulseerde elektrische velden (PEF, pulsed electric field) | 36 |
| 1.8.1 | Effectiviteit | 36 |
| 1.8.2 | Toepasbaarheid | 37 |
| 1.8.3 | Volwassenheid techniek | 37 |
| 1.8.4 | Conclusie/discussie | 37 |
| 2 | Vision technieken voor detectie van plagen | 39 |
| 2.1.1 | Toepasbaarheid in de keten | 39 |
| 2.1.2 | Volwassenheid techniek | 40 |
| 2.2 | RGB Camera | 41 |
| 2.2.1 | Volwassenheid | 41 |

| | | |
|-------|-----------------------------|----|
| 2.2.2 | Toepassing en effectiviteit | 41 |
| 2.2.3 | Kosten | 41 |
| 2.3 | Multispectraalcamera | 42 |
| 2.3.1 | Volwassenheid | 42 |
| 2.3.2 | Toepassing en Effectiviteit | 42 |
| 2.3.3 | Kosten | 42 |
| 2.4 | Hyperspectraal camera | 43 |
| 2.4.1 | Volwassenheid | 43 |
| 2.4.2 | Toepassing en Effectiviteit | 43 |
| 2.4.3 | Kosten | 43 |
| 2.5 | X-ray (röntgen) techniek | 44 |
| 2.5.1 | Volwassenheid | 45 |

3 Stand van zaken voor diverse plaag-productcombinaties 47

| | | |
|-------|--|----|
| 3.1 | Fruitmot | 47 |
| 3.1.1 | Probleemstelling | 47 |
| 3.1.2 | Systeemaanpak | 47 |
| 3.1.3 | Biologie van fruitmot | 48 |
| 3.1.4 | Oogst en bewaring van appels en peren in Nederland | 49 |
| 3.1.5 | Fytosanitaire veiligheid | 49 |
| 3.1.6 | Beheersmaatregelen na de oogst | 50 |
| 3.2 | Californische trips – chrysant/paprika | 52 |
| 3.2.1 | Levens cyclus en systeemaanpak | 52 |
| 3.2.2 | Beheers- en quarantainemaatregelen na oogst. | 52 |
| 3.3 | Tuta absoluta – Tomaat | 55 |
| 3.3.1 | Probleem beschrijving | 55 |
| 3.3.2 | Huidige maatregelen | 55 |
| 3.3.3 | Systeemaanpak | 56 |
| 3.3.4 | Ontsmettingstechnieken tegen Tuta absoluta in tomaat | 56 |
| 3.4 | Tulpengalmijt (<i>Aceria tulipae</i>) in tulpenbollen | 59 |
| 3.4.1 | Probleem beschrijving | 59 |
| 3.4.2 | Biologie | 59 |
| 3.4.3 | Ketenaanpak | 61 |
| 3.4.4 | Beheersmaatregelen na oogst bollen (m.n. gericht op tulp) | 62 |
| 3.5 | Bemisia tabaci - groenten/fruit/bloemen/planten | 67 |
| 3.5.1 | Quarantaine status | 67 |
| 3.5.2 | Levenscyclus | 67 |
| 3.5.3 | Gastheergewas en schade | 67 |
| 3.5.4 | Temperatuurgevoeligheid | 67 |
| 3.5.5 | Bestrijding | 68 |

Literatuur 73

Woord vooraf

Deze literatuurstudie is uitgevoerd door Wageningen Research (onderdeel van Wageningen University & Research) in het kader van het Publiek-Private Samenwerkingsproject Phytotec, gefinancierd door GroentenFruit Huis, VBN, KAVB, VGB, Anthos, Stichting Programmafonds Glastuinbouw, LTO Noord Glaskracht, KCB, Ruvoma B.V., Van Acht, NFO en TKI Tuinbouw & Uitgangsmaterialen. De studie geeft een overzicht van de stand van zaken omtrent diverse bekende en minder bekende technieken die mogelijk gebruikt kunnen worden tegen een aantal belangrijke insectplagen voor de internationale handel van plantaardige verse tuinbouwproducten. In Nederland en Europa worden steeds minder chemisch middelen toegelaten om insecten te kunnen bestrijden, hoewel er steeds strengere fyto-sanitaire eisen zijn voor de internationale handel van verse producten. Sinds het volledige verbod op het gebruik van methylbromide in Europa in 2010 zoekt de tuinbouwsector steeds alternatieve technieken waardoor de hardnekkige plagen behandeld kunnen worden en de markttoegang verbetert. Niet alleen vanuit literatuur over technieken die al toegepast worden binnen land- en tuinbouw, maar ook vanuit de voedseltechnologie zijn er mogelijk nieuwe technieken met kansen voor toepassing tegen deze insecten. In deze studie gaan we eerst in op de verschillende technieken die er bestaan, wat ze inhouden, hoe effectief ze kunnen zijn, hoe goed toepasbaar ze zijn als methode tegen insecten of voor detectie en hoe volwassen de techniek is. Daarna bekijken we specifiek vanuit een aantal product-plaagcombinaties de kansen van de (met name na-oogst-) technieken om ze te gebruiken als onderdeel binnen de al bestaande systeem/ketenbenaderingen om deze plaag te bestrijden.

1 Bestaande en nieuwe technieken

1.1 (High-speed) CATT: Controlled Atmosphere Temperature Treatment

(Geschreven door: Jan Verschoor)

CATT technologie combineert hoge temperaturen met Controlled Atmosphere (CA, gewoonlijk verhoogde CO₂ en verlaagde O₂ gehalten t.o.v. normale lucht), om plantaardige verse producten vrij te maken van niet gewenste organismen zoals insecten, mijten of nematoden. De potentie van zowel warmtebehandelingen als CA, als fyto-sanitaire behandelingen zijn uitgebreid onderzocht. Voor beiden zijn behandelingen beschikbaar als plaagbestrijding en voor fyto-sanitaire veiligheid (Paull and Armstrong 1994); (Fields and N.D.G. 2002); (Heather and Hallman 2008a). Het voordeel van het combineren van deze twee behandelwijzen is een vergrote effectiviteit: de tijd om tot 100% afdoding te komen is aanzienlijk korter dan met warmtebehandeling of CA afzonderlijk (Tang et al. 2007). Daardoor kan het risico op schade aan het te behandelen verse plantaardige product mogelijk beperkt worden, en snelheid geeft vaak ook economisch voordeel.

Een CATT behandeling combineert de stress door warmte met stress op ademhaling/fysiologische stress. Als product en ongewenste organismen samen geëvolueerd zijn, liggen de stressniveaus voor hoge temperatuur voor product en insect vaak dicht bij elkaar, omdat beiden blootgesteld werden aan dezelfde temperatuurstress tijdens hun ontwikkeling. Insecten en hun verschillende stadia reageren echter vaak wel eerder op aangepaste concentraties van O₂-CO₂, waardoor de temperatuurstress sneller gevoeld wordt. Reden is dat planten evolutionair beter uitgerust zijn om tijdelijke periodes van zuurstofloosheid (bv door overstroming) te overleven, ze beschikken over noodademhaling (fermentatie) waarbij ook zonder zuurstof energie gemaakt kan worden om te overleven.

De behandelcondities worden geoptimaliseerd om het ongewenste organisme af te doden zonder schade te doen aan het te behandelen product. Voor elke specifieke plaag-product combinatie moet deze behandeling geoptimaliseerd worden om afdoding van het minst gevoelige stadium van het ongewenste organisme te garanderen en schade aan het product te kunnen garanderen.

Een CATT-behandeling heeft dus een aantal parameters:

- Behandeltemperatuur (range 25-50°C)
- Snelheid van opwarmen bij start behandeling (vooral bij kortere behandelduur (uren))
- % CO₂ (typisch 15-75%)
- % O₂ (0-21%)
- Behandeltijd (uren tot dagen)
- Randvoorwaarden (%RV, verpakking)

Na de behandeling volgt een fase waarin de condities gebroken worden en weer naar vervolgcondities gebracht worden, bijvoorbeeld door terugkoelen.

De techniek werd in de jaren 90 ontwikkeld in de USA door onderzoekers K. Shellie, L. Neven, en E. Mitcham als alternatief voor het ozonlaag afbrekende methylbromide. Bij de ontwikkeling vanaf de jaren 90 in de USA werd vooral ingezet op een korte behandelduur bij een hoge behandeltemperatuur, in de literatuur beschreven als CATTs (Controlled Atmosphere Temperature Treatment System) (Neven and Mitcham 1996). Het idee was om ongewenste organismen zo veel mogelijk temperatuurstress te bezorgen, maar net beneden de tolerantiegrens van het plantmateriaal te blijven. Additioneel werd een vaste CA combinatie (1% O₂ + 15% CO₂) gebruikt als extra stressor. Inmiddels weten we dat dit zeker niet bij alle plaag-productcombinaties de optimale CA conditie is. Bij deze CATTs behandelingen werd het temperatuurverschil tussen de kern en de buitenkant van het te behandelen product klein (<2°C) gehouden waardoor er een korte behandelduur (uren) te realiseren is en er minder risico is op schade aan het te behandelen product. Dit vereist echter hoge

luchtsnelheden langs het product voor een snelle, gecontroleerde opwarming. Dat stelt hoge technische eisen aan de behandelafaciliteit, waardoor opschaling naar praktijkniveau een grotere uitdaging is dan bij lagere opwarmingsnelheden en langere behandelduur (dagen).

Doordat in Wageningen uitgebreide faciliteiten zijn om het zuurstof- en CO₂ gehalte te optimaliseren (zie foto 1), echter zonder hoge luchtstroomsnelheden, is de ontwikkeling van CATT in Nederland minder gericht geweest op het lastige maximaliseren van de opwarmingsnelheid en meer op optimalisatie van CA condities. Met name voor producten met wat meer volume, zoals appels, peren, tomaten en mango's, waarbij ook het binnenste van de vrucht moet worden opgewarmd, lijkt een CATT met snelle opwarming en hogere temperaturen echter potentie te hebben. In het Phytotec project zal de potentie van deze aangepaste CATT verkend worden als nieuwe technologie. Ter onderscheid van de al in Nederland gebruikte CATT behandelingen zullen we hiervoor de term "High speed CATT" gebruiken.



Foto 1: In de Controlled Atmosphere Onderzoeksfaciliteit Wageningen Food & Biobased Research kunnen gelijktijdig een reeks gascondities opgelegd worden aan te behandelen product.

De vele mogelijke werkingsmechanismen op insect en product maken het een uitdaging om tot breed toepasbare protocollen te komen. Protocollen zijn niet zo maar te kopiëren. Modellsystemen voor onderzoek helpen om sneller tot een bepaalde kansrijke combinatie van condities te komen. Tijdens protocolontwikkeling wordt dan ook vaak gebruik gemaakt van modellsystemen op labschaal om diverse condities op diverse stadia/producten te kunnen testen. Het hebben van een protocol op labschaal betekent nog niet dat het in de praktijk makkelijk toe te passen is. Bij opschaling moet rekening gehouden worden met de techniek en verpakkingswijze die soms grenzen stelt aan snelheid en uniformiteit waarmee de behandelcondities gerealiseerd kunnen worden.

1.1.1 Wat is de effectiviteit ?

In potentie kunnen CATT behandelingen volledig effectief zijn. In Tabel 1 staan vijf behandelingen die volgens internationale standaarden van de IPPC volledig effectief zijn als quarantainemaatregel voor genoemde producten en ongewenste insecten. Deze behandelingen zijn gevalideerd in grote experimenten. Bij deze "probit 9 tests" met ca. 30.000 organismen per plaagsoort per behandeling, trad geen overleving op (Neven and Rehfield-Ray 2006b). Daarnaast is er nog een overzicht met een heel aantal protocollen ontwikkeld in diverse landen welke niet allemaal de probit 9 tests hebben doorlopen (Tabel 2).

Effectiviteit is sterk afhankelijk van plaagorganisme en product. Bij de ontwikkeling van nieuwe behandelingen zijn er zijn nogal wat opties om effectiviteit (en ook productkwaliteit) te beïnvloeden: temperatuur(stijging), duur, gascondities en randvoorwaarden zoals luchtvochtigheid, verpakkingswijze. Het zal echter niet voor alle plaag-product combinaties tot een effectieve behandeling zonder kwaliteitsverlies kunnen leiden.

Tabel 1: overzicht van door USDA goedgekeurde CATT behandelingen. Uit: (APHIS 2011)

| Treatment Schedule | Commodity | Pest | Ramp-up Rate (per hour) | Final Chamber Temperature | Total Treatment Time | Core Temperature | Time at Core Temperature |
|--------------------|---------------------|--|-------------------------|---------------------------|----------------------|--------------------------------------|---|
| T601-a-1 | Nectarine and Peach | <i>Cydia pomonella</i> (Codling moth) and <i>Grapholita molesta</i> (Oriental fruit moth) | 53.6 °F (12 °C) | 114.8 °F (46 °C) | 3 hours | 109.4 °F (43 °C) within 2.5 hours | 30 minutes |
| T601-a-2 | Nectarine and Peach | <i>Cydia pomonella</i> (Codling moth) and <i>Grapholita molesta</i> (Oriental fruit moth) | 75.2 °F (24 °C) | 114.8 °F (46 °C) | 2.5 hours | 110.3 °F (43.5 °C) within 2.25 hours | 15 minutes |
| T601-b | Apple | <i>Cydia pomonella</i> (Codling moth) and <i>Grapholita molesta</i> (Oriental fruit moth) | 53.6 °F (12 °C) | 114.8 °F (46 °C) | 3 hours | 112.3 °F (44.6 °C) within 2.5 hours | 15 minutes |
| T601-c-1 | Cherry | <i>Cydia pomonella</i> (Codling moth) and <i>Rhagoletis indifferens</i> (Western Cherry Fruit Fly) | None | 113 °F (45 °C) | 45 minutes | 107.6 °F (42 °C) within 9 minutes | 112.1 °F (44.5 °C) within 22-24 minutes |
| T601-c-2 | Cherry | <i>Cydia pomonella</i> (Codling moth) and <i>Rhagoletis indifferens</i> (Western Cherry Fruit Fly) | None | 116.6 °F (47 °C) | 25 minutes | 107.6 °F (42 °C) within 9 minutes | 113.9 °F (45.5 °C) within 12-14 minutes |

Tabel 2 Samenvatting van CATT-behandelingen (Naar: Neven and Johnson, 2017, nog niet gepubliceerd).

| Product | Plaaorganisme | %O ₂ lucht | %CO ₂ lucht | Temperatuur (°C) | Snelheid opwarming (°C/h) | Totale tijd | Referentie |
|--------------------|---|-----------------------|------------------------|------------------|---------------------------|-------------------------|---|
| Appel | <i>Cydia pomonella</i> , <i>Grapholita molesta</i> | 1 | 15 | 46 | 12 | 3 h | (Neven and Rehfield-Ray 2006b) |
| Appel | <i>Grapholita molesta</i> | 1 | 15 | 46 | 7.91 | 2.0 h | (Jung et al. 2014) |
| Appel & Perzik | <i>Carposina sasakii</i> | 1 | 15 | 46 | 16 | 60 min | (Son et al. 2010b) |
| Appel | <i>Tetranychus viennensis</i> | 1 | 15 | 46 | 16 | 30 min | (Son et al. 2012) |
| Appel | <i>Epiphyas postvittana</i> | 1.2 | 1 | 40 | 3.33 | 17 h | (Lay-Yee et al. 1997) |
| Appel | <i>Nysius huttoni</i> | 1.2 | 1 | 40 | 3.33 | 20 h | (Lay-Yee et al. 1997) |
| Appel* | <i>Ctenopseustis obliquana</i> , <i>Epiphyas postvittana</i> | 2 | 5 | 40/0 | 5 | 6 h | (Whiting et al. 1999) |
| Bartlett peren | <i>Cydia pomonella</i> , <i>Grapholita molesta</i> | 1 | 15 | 46 | 12 | 3.0 h | (Mitcham et al. 1999) |
| Bartlett peren | <i>Cydia pomonella</i> , <i>Grapholita molesta</i> | 1 | 15 | 46 | 100 | 2.5 h | (Mitcham et al. 1999) |
| Kersen | <i>Cydia pomonella</i> , <i>Rhagoletis indifferens</i> | 1 | 15 | 47 | >200 | 25 min | (Neven 2005, Neven and Rehfield-Ray 2006a) |
| Kersen | <i>Cydia pomonella</i> , <i>Rhagoletis indifferens</i> | 1 | 15 | 45 | >200 | 45 min | (Neven 2005, Neven and Rehfield-Ray 2006a) |
| Vijgen | <i>Ephesia cautella</i> , <i>Plodia interpunctella</i> , <i>Carpophilus spp.</i> | 1 | 12 | 41 | 1.75 - 2.33 | 16 h | (Sen et al. 2010) |
| Graan | <i>Tribolium castaneum</i> | 1 | 15 | 46 | 16 | 2.0 h | (Son et al. 2010a) |
| Mango | <i>Anastrepha ludens</i> , <i>Anastrepha obliqua</i> | 0 | 50 | 43 | 57 | 160 min | (Yahia 1998, Yahia and Ortega 2000b, a, Yahia and Ortega-Zaleta 2000) |
| Nectarine & Perzik | <i>Cydia pomonella</i> , <i>Grapholita molesta</i> | 1 | 15 | 46 | 24 | 2.5 h | (Neven et al. 2006) |
| Nectarine & Perzik | <i>Cydia pomonella</i> , <i>Grapholita molesta</i> | 1 | 15 | 46 | 12 | 3.0 h | (Neven et al. 2006) |
| Sinaasappel | <i>Ceratitis capitata</i> | 0.05 | NA | 43 | 7.2 | 30 min | (Lurie et al. 2004) |
| Gedroogde bloemen | <i>Plodia interpunctella</i> | < 1 | 80 | 32.2 | ?? | 12 h | (Sauer and Shelton 2002) |
| Aardbei planten | <i>Phytonemus pallidus</i> | X** | 50 | 35 | Ca. 6 uur | 48 h | (Van Kruistum et al. 2012) |
| Aardbei planten | <i>Phytonemus pallidus</i> , <i>Meloidogyne hapla</i> , <i>Pratylenchus penetrans</i> | X** | 50 | 35/40 | Ca. 6 uur | 20 h/20 h (40 h totaal) | (van Kruistum et al. 2014, Verschoor et al. 2015) |

*Combinatie CATT met daarna gekoelde opslag (7 weken @ 0°C).

** De projectgroep die deze behandeling financierde heeft geheimhouding van het gebruikte zuurstofgehalte afgesproken

1.1.1.1 Effect van CA op afdoding ongewenste organismen

Ongewenste organismen zoals insecten, mijten of nematoden blijken niet altijd met een lineaire respons te reageren op verschillende CA condities en hoge temperaturen. Dat wil zeggen: meer CO₂ en minder zuurstof geven niet altijd meer afdoding. Er zijn verschillende hypothesen die beschrijven wat er gebeurt bij hoge temperaturen, laag zuurstof en hoog CO₂. Een tekort aan zuurstof bij hoge temperaturen zou de productie van ATP minder via de normale route van oxidatieve fosforylering laten verlopen en meer via anaerobe glycolyse. Via deze laatste route worden ook toxische stoffen geproduceerd die kunnen ophopen en waardoor het organisme uiteindelijk sterft. De verandering in ATP-route is aangetoond bij diverse mariene insecten, maar bij op het land levende insecten kon het mechanisme niet worden aangetoond. Een ander mogelijk mechanisme is de denaturatie van eiwitten in cel (Verberk et al. 2016).

Een hoog gehalte aan CO₂ (boven 20%) zou de ademhaling verminderen bij insecten (o.a. door het sluiten van ademhalingsopeningen). Er zijn echter ook aanwijzingen dat sommige insecten gevoeliger worden voor hoge temperaturen bij hoge zuurstof percentages (resultaten Phytotec, FBR 2017). Een verklaring hiervoor is er nog niet.

1.1.1.2 Effecten van CATT op productkwaliteit

De tolerantie van het product hangt af van de temperatuur, O₂/CO₂ concentraties, relatieve vochtigheid, de snelheid van opwarmen en de duur van deze condities. Over het algemeen stimuleert een hogere temperatuur rijping en veroudering. Het snel verwarmen en afkoelen van een product kan ook stress veroorzaken met negatieve effecten op kwaliteit. Een behandeling hoeft echter geen sterk negatief effect te hebben, een korte warmtebehandeling na de oogst kan leiden tot vorming van "heat shock proteins" die een beschermend effect kunnen hebben tegen navolgende stress, ook al is die heel anders van aard. Zo kan een warmtebehandeling de gevoeligheid voor lage temperatuurbederf (Chilling injury) verminderen, bv in citrus, of resulteren in beter behoud van stevigheid, bv in appels (Lurie 1998, Lurie and Pedreschi 2014).

Er is veel onderzoek geweest naar effecten van laag O₂ en verhoogd CO₂ op groenten/fruit/bloemen, vaak in relatie tot bewaring en verpakkingen om houdbaarheid te verbeteren. Producten reageren verschillend en de temperatuur en duur waarbij de condities worden aangehouden, hebben een sterk effect, ook op eventuele negatieve effecten, zoals interne kwaliteitsproblemen en beïnvloeding van de smaak. Uitdroging van product tijdens de behandeling moet worden voorkomen door voldoende bevochtiging tijdens de behandeling. Er moet wel gezorgd worden dat vocht/condens op het product geen bron van rot kan worden. Ook kan vrij water op gevoelig product etsend werken bij hoge CO₂ concentraties, dat lost namelijk op in water (Koolzuur, H₂CO₃). Foto 2 is een voorbeeld van vaasleventest na CATT-behandeling tegen trips in een praktijkcel waarbij chrysanten geen kwaliteitsverlies lieten zien.



Foto 2: Vaasleventest bij Flora Holland van Chrysanten na CATT behandeling in praktijkcellen liet geen kwaliteitsverlies zien.

1.1.1.3 Effect van combinatie CATT en etherische oliën

De toevoeging van etherische olie in dampvorm tijdens een CATT behandeling kan de effectiviteit verbeteren (Janmaat et al. 2002) (Woltering et al. 2003). Een complicatie daarbij is dat dan wel erkennings- en registratieprocedures vereist zijn. Er lijkt echter draagvlak te ontstaan om voor "groene" chemicaliën (GRAS, generally regarded as safe) een uitzonderingspositie in de gewasbeschermingsmiddelenwetgeving te maken en beperktere procedures te eisen. Deze combinatie van CATT met etherische olie lijkt het mogelijk te maken om voor een breder scala aan plantaardige producten en plaaginsecten een effectieve behandeling te ontwikkelen.

1.1.2 Wat is de toepasbaarheid ?

1.1.2.1 Ketenaanpak

CATT kan op meerdere momenten in de keten worden toegepast (direct na oogst, tijdens bewaring of na bewaring). Bij het onderzoek naar de aardbeimijtbehandeling bleek het voor plantkwaliteit en afdoding niet van belang wanneer in de keten de behandeling plaatsvond. Amerikaanse ervaringen bij ontwikkeling van high-speed CATT met vruchten zijn dat product direct na de oogst het minst gevoelig is voor schade (pers. comm. L. Neven). Ook andere variaties zoals ras en teeltomstandigheden hebben invloed op de effectiviteit en de nevenwerkingen van behandelingen, en dienen dus in acht genomen te worden in het onderzoek.

Toepassing van CATT op dicht verpakt of samengedrukt product bemoeilijkt homogene en gecontroleerde opwarming en afkoeling. Daardoor zal bij het nadenken over behandeling van nieuwe plaag-insect combinaties steeds goed overwogen moeten worden waar in de keten CATT het best toegepast kan worden. Enerzijds om de behandeling goed uit te kunnen voeren, anderzijds om zo min mogelijk extra arbeid of logistieke bewegingen toe te voegen aan de keten.

Voor diverse plaag-product combinaties zijn er CATT-behandelingen ontwikkeld (Zie *Tabel 1 en 2*). Er worden in een aantal landen, die veel verse producten exporteren, ook nieuwe protocollen ontwikkeld voor relevante plaag/product combinaties (o.a. Mexico, Israël, Zuid-Afrika, Zuid-Korea en Nederland).

1.1.2.2 CATT in Nederland

In Nederland zijn een tweetal CATT behandelingen ontwikkeld voor de bestrijding van aardbeemijt (*Phytonemus pallidus*) en nematoden (*Meloidogyne hapla*) op aardbei-moederplanten (frigoplanten).

Deze behandelingen worden al enige jaren commercieel toegepast door twee bedrijven:

- Ruvoma: <http://www.ruvoma.nl/bestrijding-plaagdieren/catt/>
- Van Acht Koel- en Vriesopslag: <https://van-acht.nl/catt/>



Foto 3: De eerst commerciële CATT-faciliteit in Nederland. Inmiddels zijn er meer dan 10 CATT cellen bij twee bedrijven in gebruik

De behandeling is opgenomen in de Naktuinbouw Elite Softfruit certificering, maar heeft geen formele fytosanitaire status (was niet vereist voor export aardbeiplanten).

1.1.2.3 CATT in buitenland

In de USA zijn de 5 verschillende uitontwikkelde high speed CATT behandelingen als fytosanitaire behandeling opgenomen in het USDA-Handbook 2011 (*Tabel 1* (APHIS 2011a)). Deze behandelingen zullen door de APHIS-USDA ook opgenomen worden in de nieuwe versie van dit Handboek, ondanks dat momenteel geen CATT behandelingen in de praktijk uitgevoerd worden in de USA (als gevolg van het besluit van de USA om methylbromide voor quarantaine toepassingen voorlopig niet te verbieden). Ook zal APHIS-USDA deze behandelingen aanmelden bij de International Plant Protection Council (IPPC) om het draagvlak van dit type behandelingen internationaal te vergroten. Dat laatste is resultaat van de in juni 2017 in Wageningen georganiseerde bijeenkomst van de werkgroep Phytosanitary Measures Research Group, adviseringsorgaan van de IPPC. Foto 4 toont een voorbeeld van Amerikaanse CATT faciliteiten als labopstelling en in praktijk welke op dit moment dus niet veel gebruikt wordt voor CATT behandelingen.



Foto 4: Amerikaanse High speed CATT faciliteiten. Links een onderzoeksmodel en rechts een praktijkcel.

1.1.3 Volwassenheid techniek en toelaatbaarheid

Er wordt al zo'n 25 jaar onderzoek gedaan naar warmtebehandelingen in combinatie met Controlled Atmosphere (CA). Het totaalverbod op het gebruik van methylbromide in de EU sinds 2010 is een stimulans om te werken aan niet-chemische ontsmettingsmethoden zoals CATT. Dit vanwege duurzaamheidsoverwegingen en ook het vermijden van langdurige en kostbare erkennings- en registratieprocedures die vereist zijn om nieuwe chemische middelen te mogen toepassen. CATT mag zonder dergelijke formaliteiten toegepast worden omdat het als fysische behandeling beschouwd wordt.

Voor een aantal product-plaagcombinaties zijn behandelingen ontwikkeld in diverse landen, zie *Tabel 2*. De High-speed CATT behandelingen zoals ontwikkeld in de USA, zie *Tabel 1*, worden door de USDA erkend als effectieve quarantainebehandelingen. USDA heeft toegezegd deze behandelingen in te dienen bij de IPPC als International Standards For Phytosanitary Measures (ISPM), zie paragraaf 1.1.2.3. Een aantal commerciële behandelkamers voor appels en kersen zijn enkele jaren gebruikt. Het Amerikaanse besluit om het gebruik van methylbromide voor quarantainetoepassingen blijvend toe te staan, heeft echter een sterke rem gezet op implementatie van CATT in de USA. De positieve grondhouding van de USDA t.o.v. CATT zal echter helpen om internationaal draagvlak voor deze technologie te creëren.

In Nederland worden door een aantal behandelaars op commerciële schaal aardbeiplanten behandeld. Nederland loopt hiermee voorop met de praktijktoepassing van CATT. Dit komt o.a. doordat er een duidelijke commerciële waarde is, nu is gebleken dat de behandeling effectief is tegen de aardbeimijt en tegen bepaalde nematoden, en dat daar geen goed (chemisch) alternatief voor beschikbaar is.

De benodigde techniek is in principe bestaand. Een faciliteit waarbij zuurstof, CO₂ en temperatuur actief geregeld kunnen worden in een afgesloten ruimte, met aandacht voor het beperken van temperatuurspreiding is technisch wel uitdagend en vereist voldoende kennis en aandacht. Tijdens de behandeling moeten reguliere veiligheidsmaatregelen in acht genomen worden betreffende omgang met laag zuurstof/hog CO₂.

1.1.4 Conclusie

CATT als fyto-sanitaire behandelingsmethode is op dit moment voor diverse product-plaagcombinaties al een goede behandelingsmethode welke succesvol toegepast wordt in praktijk en in een aantal gevallen ook erkenning heeft als quarantainebehandeling. Het is een logische stap om deze weg van protocolontwikkeling en praktijkopschaling voor andere product-plaagcombinaties te vervolgen. Protocolontwikkeling blijft wel een langdurig proces om hoge afdoening en weinig schade op het product te realiseren, maar combinaties met andere technieken zoals etherische oliën bieden kansen. Technisch zijn er vooral uitdagingen in snelle uniforme opwarming van product en ladingen. Hier worden wel mogelijkheden in gezien middels doorontwikkeling High-speed CATT.

1.2 Etherische oliën

(Geschreven door: Yu Tong Qiu)

Tijdens de evolutie hebben planten veel mechanismen ontwikkeld om zich te beschermen tegen ziekten en plagen. Via secundaire metabolisme produceren planten chemische stoffen die de weerstand tegen infectie en vreterij verhogen. Etherische oliën zijn bepaalde plantverbindingen die biopesticide effecten hebben en mogelijk gebruikt worden voor fumigatie tegen plaaginsecten. In dit hoofdstuk vinden we de bestaande informatie om deze mogelijkheden op te helderen.

1.2.1 Natuurlijke oorsprong en functies

Etherische oliën zijn niet-wateroplosbare vloeistoffen uit planten met vluchtige aromatische verbindingen welke de karakteristieke geur van de plant bepaald. Op kamer temperatuur transformeren EO's zich van vloeibare vorm naar gas vorm zonder verandering in chemische verbindingen. Er zijn verschillende methoden om de EO uit de plantdelen te extraheren, stoomdestillatie is de meest toegepaste methode. Etherische oliën zijn secundaire metabolieten en worden geproduceerd in bladeren, stammen, schors, bloemen, wortels en/of vruchten van verschillende planten. Planten bevatten 0.01 tot 10% EO met een gemiddeld hoeveelheid van 1-2% (Koul et al. 2008).

Mogelijke functies van etherische oliën van plant perspectief zijn: 1) bescherming tegen hitte of koude; 2) plagen afstoten en natuurlijke plaagvijanden aantrekken; 3) defensie tegen ziekte infecties. Plant etherisch oliën zijn belangrijke ingrediënten voor de cosmetische, farmaceutische en voedingsmiddelen industrie vanwege zijn aromatisch karakter.

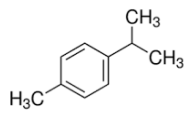
1.2.2 Toepasbaarheid

Reeds eeuwenlang gebruiken mensen EO als ontsmetting tegen besmettelijke ziekten. Volgens de legende werd tijdens de epidemie van de zwarte dood (1346-1351) het bekende EO mengsel "thieves oil" ontdekt. Hiermee beschermden dieven zichzelf tegen het beroven dan wel begraven (als straf) van besmette personen. Naast antibiotische en antischimmel effecten kunnen veel EO's insecten en andere geleedpotigen doden of afstoten via contact of fumigatie. Een van de eerste voorbeelden waardoor het insecticide effect van etherische olie werd ontdekt was de dennenboom resistentie tegen schorswantsen door hoge concentratie van etherisch olie in de schors (Smelyanets 1973). Etherische oliën worden gebruikt in de opslag van granen en andere droge voedsel producten of in de huishouding tegen vliegende insecten als vliegen en muggen (Isman 2000, Kostyukovsky et al. 2002, Kedia et al. 2015).

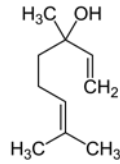
1.2.3 Chemisch samenstelling

De chemische samenstelling van elke EO bevat honderden stoffen. Sommige EO hebben een overheersende stof (*Tabel 3*), waaronder Basilicum EO (75% methyl chavicol), de wortelstokken van *Acorus calamus* (70-80% β -asarone) en de bladeren van koriander zaad (50-60% linalool) (Koul et al. 2008). Daarnaast zijn er plantensoorten zonder een duidelijke overheersende stof in de EO. EO productie varieert in kwantiteit en kwaliteit, afhankelijk van factoren als regio, teeltseizoen en teelttechniek (Salgueiro et al. 2010).

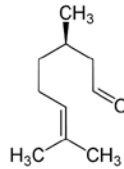
Organische verbindingen van etherische oliën bestaan voornamelijk uit terpenen zoals myrecene, pineen, terpineen, limoneen, pcymenten, α - en β -felandreen; en terpenoïden zoals acyclische monoterpeenalcoholen (geraniol, linalool); monocyclische alcoholen (menthol, 4-carvomenthenol, terpineol, carveol, borneol,); alifatische aldehyden (citral, citronellal, perillaldehyde); aromatische fenolen (carvacrol, thymol, safrol, eugenol); bicyclische alcohol (verbenol); monocyclische ketonen (menthone, pulegone, carvone); bicyclische monoterpenische ketonen (thujon, verbenon, fenchon); zuren (citronellinezuur, kaneelzuur); esters (linalylacetaat); sesquiterpenen (zingibereen, curcumeen, farnesol, sesquiphellandrene, termeron, nerolidol).



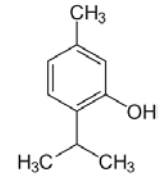
Pcymene



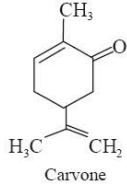
Linalool



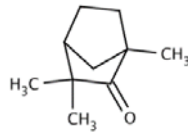
Citronellal



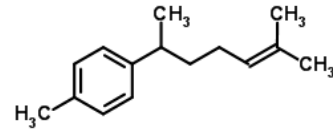
Thymol



Carvone



Fenchone



Curcumene

Tabel 3 Etherische oliën van verschillende plantensoorten en bijbehorende overheersende stof (Koul et al. 2008)

| Plant soort | Overheersende component in EO |
|---|-------------------------------|
| <i>Acorus calamus</i> | asarone |
| <i>Allium</i> spp. | thiosulphinates |
| <i>Basilicum</i> | methyl chavicol |
| <i>Brassicaceae</i> | glucosinates |
| <i>Citrus carvi</i> | carvone |
| <i>Citrus longa</i> | myrcene |
| <i>Citrus</i> spp. | limonene |
| <i>Coriandrum sativum</i> | linalool |
| <i>Eucalyptus</i> spp. | 1,8-cineole |
| <i>Manihot esculenta</i> | cyanohydrins |
| <i>Ocimum</i> spp. | linalool |
| <i>Securidaca longepedunculata</i> Fers | methyl salicylate |
| <i>Thuja dolabrata</i> | carvacrol en b-thujoplicine |
| Azaron (wortelstokken) | β-asarone |

1.2.2 Effectiviteit

Verreweg de meeste studies van EO op plaaginsecten zijn verricht op plaaginsecten in de opslag. Over verse plantproducten is relatief weinig literatuur beschikbaar en voor fytosanitaire ontsmetting zelfs heel beperkt. In de EO met insecticide werking komen vooral de volgende stoffen voor: monoterpenoïden, cyanohydrines en cyanaten, zwavelverbindingen en alkaloiden (Z-asaron) (Rajendran and Sriranjini 2008). Het effect op insecten varieert en kan berusten op afstoting, antifeeding, belemmering van ei-afzet, remming van vervelling, ademhaling en groei tot afdoding (Cloyd et al. 2009). Er zijn aanwijzingen dat een aantal mechanismen het insecticide effect van EO verklaart: 1) knockdown activiteit (Ngoh et al. 1998); 2) competitieve inhibitoren van de neurotransmitter acetylcholinesterase (sommige monoterpeen componenten) en 3) het aantasten van het octopaminergisch zenuwstelsel (Isman 2000). Dit laatste mechanisme kan een verklaring zijn waarom zoogdieren toleranter zijn tegen EO, omdat zoogdieren geen octopaminergisch zenuwstelsels hebben (Tabel 4).

EO's zijn effectief tegen een breed scala van insecten, maar de meest effectieve EO of EO componenten zijn voor verschillende insectensoorten selectief, waardoor doelgericht een plaagsoort kan worden bestreden (Isman 2000).

De temperatuur heeft invloed op de effectiviteit van EO's, toegepast als fumigant. EO's met monoterpenoïden onder hogere temperaturen leidden tot meer afdoding maar bij lagere temperaturen was het verschil andersom. Een warmtebehandeling van 45°C verdubbelde de effectiviteit van anethole tegen de kastanjebruine rijstmeelkever (*Tribolium castaneum*) (Koul et al. 2008).

Een aantal publicaties geven aan dat toevoeging van CO₂ de effectiviteit van EO tegen insecten kan verhogen (Wang et al. 2001) (Janmaat et al. 2002).

1.2.3 Perspectief en volwassenheid

Ten opzicht van conventionele pesticide heeft EO duidelijke voordeel wat betreft veiligheid, milieuvriendelijkheid en breed werking. EO worden gebuikt als medicijn, in parfums, zeep en andere schoonmaakmiddelen, massageolie, als smaakstof in voedingsmiddelen en in de cosmetische en farmaceutische industrie. Er bestaan al productie en bevoorradingsketens voor veel EO's. EO's zijn vluchtige verbindingen en leiden niet tot residu problemen in water en bodem. Sommige etherische olien zijn antibiotisch of effectief tegen schimmels.

De grootste voordeel voor etherische olie als pesticide is de gunstige zoogdier toxiciteit. Op enkele uitzonderingen na zijn de meeste (componenten van) EO niet giftig voor zoogdieren (LD₅₀>500mg/L). Op basis van 96h LC₅₀ getallen, is eugenol 1500 keer minder giftig dan pyrethrum, en 15.000 keer minder giftig dan de organofosfaat azinphosmethyl (Stroh et al. 1998, Isman 2000)

Tabel 4. Toxiciteit van een aantal etherisch olie aan juveniele regenboogforel (Stroh et al, 1998; Isman, 2000)

| Chemisch stof (% als actief ingrediënt) | 96h LC ₅₀ (ppm) |
|---|----------------------------|
| Eugenol (90%) | 60.8 |
| Thyme olie (90%) | 16.1 |
| α -terpineol (90%) | 6.6 |
| Emulgator | 18.2 |
| Neem (3% azadirachtin) | 4.0 |
| Pyrethrum (20% pyrethrins) | 0.04 |
| Rotenone (44%) | 0.03 |
| Azinphosmethyl (94%) | 0.004 |
| Endosulfan (96%) | 0.001 |

Er zijn een aantal uitdagingen in de toepassing van EO als gewasbescherming middel. EO en EO-componenten zijn in het algemeen minder effectief ten opzichte van conventionele middelen als phosphine en methylbromide (Rajendran and Sriranjini 2008), maar er zijn voorbeelden van EO met een vergelijkbaar effect.

Door de lage opbrengst en complexiteit van het productie proces, is de voldoende beschikbaarheid van etherisch olie producten soms een uitdaging. Daarnaast is extra aandacht nodig als het gaat om standaardisering van de chemisch profielen van plant materiaal geproduceerd in verschillende geologische gebieden, genetica klimaat en seizoenen tijdens het productie proces (Koul et al. 2008)

De toelating voor het gebruik van etherische olie als gewasbeschermingsmiddel kan een belemmering zijn. In Europa is tot nu toe maar één toegelaten EO product: Prev-Am® (sinaasappelschilolie). De reden dat EO vrijwel nooit worden toegelaten is het ontbreken aan toxiciteit gegevens van de EO en haar componenten (Koul et al. 2008). Toepassing van EO bij verse producten kan fytoxiciteit veroorzaken, maar dit geldt voor alle methodieken.

1.3 Ioniserende straling

(Geschreven door: Klaas van Rozen)

Straling is een vorm van energieoverdracht zonder dat er sprake is van direct contact; het uitzenden van energie als golven (elektromagnetische straling zoals zonlicht, UV, Röntgen en gammastraling) of als deeltjes (deeltjesstraling, zoals alfastraling en bètastraling). Straling kan leiden tot ionisatie; het proces waarbij neutrale (ongeladen) atomen of moleculen een positieve of negatieve lading krijgen (ionen). Deze ioniserende straling bezit voldoende energie om elektronen van atomen vrij te maken. Afhankelijk van factoren als afstand, dosering en blootstellingsduur kunnen stoffen hierdoor chemische reacties ondergaan. Dit betekent concreet dat weefsels, cellen, celkernen en het DNA van plantaardige en dierlijke organismen kunnen worden beschadigd (BNS 2012). Ioniserende straling breekt chemische bindingen binnen het DNA en andere biomoleculen af, waardoor de normale cellulaire functie verstoord raakt van het biologisch materiaal zoals het insect (Barkai-Golan and Follett 2017).

Ioniserende straling wordt wereldwijd toegepast voor het behandelen van mensen (lokale bestraling van kanker) en producten in de gezondheidszorg en de industrie, waaronder de voedselindustrie voor het verlagen, uitschakelen of doden van micro-organismen en insecten. Voor het doorstralen van voedsel zijn drie stralingsbronnen toegelaten; gammastralen opgewekt door de radioactieve bronnen ^{60}Co of ^{137}Cs en twee niet-radioactieve, elektrisch aangedreven bronnen (röntgen- en elektronenstraling). Het werkingsprincipe is gelijk; het ioniseren van stoffen. Het doorstralen van voedsel leidt niet tot radioactief voedsel (EFSA 2011) (IAEA 2016) (CODEX 2003) (FDA 2016) (Voedingscentrum¹). Een korte toelichting per bron:

1. **Gamma straling;** een naar rato diep penetrerende ioniserende straling waarbij fotonen vrij komen door de natuurlijke en continue afbraak van de radioactieve bronnen ^{60}Co (kobalt-60) of ^{137}Cs (cesium-137). Vanwege een hoge oplosbaarheid in water wordt ^{137}Cs voor praktijkgebruik afgeraden (Hallman 2017). ^{60}Co is een radioactieve isotoop waarvan continue straling afkomt (kan dus niet aan- of uitgezet worden). In een kernreactor wordt het massief radioactieve metaal ingekapseld in roestvrij staal (pencils) waar de fotonen doorheen gaan en vervolgens in speciaal ontworpen containers getransporteerd naar de plek waar het voedsel doorstraald wordt. In de praktijk worden twee systemen gebruikt voor het doorstralen:
 - a. **Stralingskamer:** ^{60}Co elementen worden in een bak met water gedempt. Voor behandeling wordt het element boven het wateroppervlak gebracht in een met beton of staal afgeschermd stralingskamer. Producten worden tweemaal langs de stralingsbron getransporteerd om beide zijden van het product te bestralen, de ruimte waarin dit plaatsvindt is afgesloten en hier bevinden zich op dat moment geen mensen. Na een ingestelde tijdsduur verdwijnt de bron onder water en kan in de ruimte direct weer gewerkt worden.
 - b. **Onderwater:** hierbij blijven de kobaltelelementen continu onder water en worden de producten in watervrije containers naast de bron getransporteerd om straling te ontvangen.
2. **Röntgenstraling** kan voortkomen uit een natuurlijke bron, maar in de praktijk wordt gebruik gemaakt van een röntgenbuis. Een in vacuüm getrokken elektronenbuis bevat een anode en een kathode waartussen een spanningsveld wordt aangelegd, met hoge snelheid komen elektronen in botsing met de anode. Hierbij gaat veel kinetische energie verloren die als röntgenstraling wordt uitgezonden, waarmee voedsel kan worden doorstraald. Penetratie is vergelijkbaar met gammastraling. Een koelsysteem zorgt voor neutralisatie van de hitte die er bij vrijkomt. Röntgenstralen mogen worden opgewekt door machinale bronnen, met een nominale energie van ten hoogste 5 MeV voor het doorstralen van voedsel (EU 1999).
3. **Elektronenstraling (electron-beam)** is vergelijkbaar met Röntgenstralen; voedsel wordt blootgesteld aan een stroom van hoog energetische elektronen die worden aangedreven vanuit een elektronenversneller. Elektronenstraling mag worden opgewekt door machinale bronnen, met een nominale energie van ten hoogste 10 MeV voor het doorstralen van voedsel (EU 1999).

¹<http://www.voedingscentrum.nl/encyclopedie/doorstralen.aspx>

Elektronen- en Röntgenstraling zijn afhankelijk van elektriciteit en onderdelen worden periodiek vervangen (Hallman 2017). Pencils bij gammastraling worden verwisseld om de homogeniteit van de straling te waarborgen en worden vervangen als de stralingsbron tot een bepaald niveau is uitgedoofd (pers. com. Dhr. Hopman, Steris AST).

1.3.1 Toepasbaarheid (in potentie, waar in de keten)

Doorstralen is een veelzijdige technologie om (verse) voedselproducten te ontsmetten van quarantaine plagen. Doorstraling is een snelle en effectieve maatregel tegen veel plaaginsecten en mijten en kosten concurrerend met andere ontsmettingsmethoden als chemische ontsmetting. In het algemeen leidt doorstralen niet tot een significante verlaging van de voedselkwaliteit bij doseringen om insecten te bestrijden en kan de houdbaarheid verlengen. Daarnaast kan doorstralen na verpakking worden toegepast (Barkai-Golan and Follett 2017). In Nederland zijn twee erkende installaties voor de behandeling met ⁶⁰Co-gammadoorstraling van voedsel aanwezig in Ede en in Etten-Leur, beide van Synergy Health (nu Steris AST), maar hier worden geen verse groenten en fruit doorstraald (EU 2016b). Voor doorstraling van vers voedsel met lage doseringen (< 1kGy) is op dit moment geen commerciële unit beschikbaar in Nederland. Toepassen van gammastraling is alleen commercieel interessant wanneer continu producten kunnen worden aangeboden, aangezien de stralingsbron continu straling afgeeft. Een tweede commercieel aspect wat geldt voor alle stralingsbronnen is de hoeveelheid materiaal die in één keer behandeld zou kunnen worden. Dit hangt onder andere af van de uniforme doseringsratio, de verhouding tussen de maximale en minimale dosering wat een bepaald product ontvangt. Met het huidige systeem zouden 30 pellets (1 bij 1,2 m of ca. 800 kg) per uur kunnen worden behandeld. Er zijn technologische ontwikkelingen gaande wat betreft gammastraling in combinatie met bètastralen, waarmee grotere volumes kunnen worden behandeld. Op testniveau zijn kleine units (Ø 13 cm, hoogte 25 cm) vanaf 20 Gy beschikbaar om tomaten en insecten te behandelen voor testdoeleinden (pers. com. Dhr. Hopman, Steris AST). De meest geschikte locatie is een centrale uitvoerlocatie; een lucht- of zeehaven, waarbij de lijnen kort en controleerbaar zijn vanaf behandeling tot vertrek waarbij nieuwe besmetting wordt uitgesloten. Chinese importeurs hebben een voorkeur voor een centrale vestiging om producten te exporteren. Met een vestiging in Etten-Leur en belangrijke havens als Antwerpen en Rotterdam in de nabijheid is dit een mogelijke locatie, maar zal verder onderzocht moeten worden.

1.3.2 Effectiviteit

Huidige beoogde minimale doseringen tegen insecten variëren van 70 tot 500 Gy, waarbij de insecten nog enkele dagen kunnen leven, maar niet meer reproduceren (Hallman and Loaharanu 2016), alle stadia inbegrepen. Voor micro-organismen zijn hogere doseringen nodig om tot relevante reducties te komen (Gerwen et al. 1999). Er zijn aanwijzingen dat voor vliedertjes en de oudste stadia van de rupsen een generieke phytosanitaire bestraling van 250 Gy afdoende is. Bij die dosering worden naderhand geen visueel normale motjes meer waargenomen (Hallman et al. 2013). Cagnotti et al. (2012) geeft aan dat vliedervrouwtjes volledig steriel waren, als de poppen waren behandeld met 200 Gy. Doseringen van 250-300 Gy met respectievelijk gamma- en Röntgenstraling zijn effectief tegen trips, waarbij geen opmerkelijke schade aan snijplanten werd waargenomen (Bhuiya et al. 1999) (Yalemar et al. 2001) (Koo et al. 2017). In de jaren '80 van de 20ste eeuw is door het Proefstation voor de Bloemisterij een reeks aan snijbloemen en rassen getest waaruit bleek dat de volgende snijbloemen, verantwoordelijk voor hoge percentages afkeuringen, ongevoelig zijn voor doorstraling; iris, anjer en veel zomerbloemen zoals *Liatris*, *Ornithogalum*, *Allium*, *Achillea*, *Gladiolus*, *Brodiaea*, *Anemone*, *Eryngium*, *AstÛbe*, *Delphinium*, etc. (Wit and Vrie 1985, Wit 1987~). De effectiviteit van doorstraling neemt af bij lagere zuurstofcondities, hierdoor kunnen beperkingen worden opgelegd voor praktijktoepassingen (Condon et al. 2017).

Tabel 5 geeft een overzicht van de Quarantaine plagen, (minimale) doseringen en referenties voor toelating in de VS (Barkai-Golan and Follett 2017). De respons van insecten op bestraling varieert per soort, stadium en de geabsorbeerde dosis. Weefsels met actieve celdeling zijn het meest gevoelig. Van de verschillende ontwikkelingsstadia zijn eieren meestal het meest gevoelig en volwassen dieren het meest tolerant (Barkai-Golan and Follett 2017). Een belangrijke factor is het beoogde resultaat, sterilisatie of afdoding (Hallman 1999).

Doseringen worden onderscheiden in een maximale (dichtst bij de stralingsbron) en een minimale dosering welke noodzakelijk is om de hele partij effectief tegen insecten te bestralen. Tijdens de

ontwikkeling van een applicatie voor een plaag-product combinatie worden de minimale doseringen gemeten (Barkai-Golan and Follett 2017). Voor praktijktoepassingen zijn protocollen aanwezig om de geabsorbeerde dosering te meten (EU 1999). Dit wordt uitgedrukt in Gray (Gy) of kiloGray (kGy), een maat voor de geabsorbeerde stralingsenergie ofwel de dosis energie die geabsorbeerd wordt door de materie die is blootgesteld aan straling. Eén gray stemt overeen met een energieabsorptie van 1 joule per kilogram materie (BNS 2012). In het algemeen is de maximale dosering 2-3 maal hoger dan de minimale effectieve dosis. Deze ratio is afhankelijk van de dichtheid en omvang van de producten en hiermee een kritische factor wat betreft de weerbaarheid van voedselproducten tegen doorstraling. Producten als fruit, groenten en bloemen hebben elk hun eigen weerbaarheidsgrenzen tegen ioniserende straling. Bloemen zijn overwegend gevoeliger voor straling dan groenten en fruit, maar grenzen zijn afhankelijk van soort en mogelijk oorsprong.

Tabel 5 Overzicht van de Quarantaine plagen, (minimale) doseringen en referenties voor toelating in de VS (Barkai-Golan and Follett 2017).

| Soort | Naam | Toegelaten dosering | Stadium | Aantal geteste insecten | Referenties |
|---|---------------------------------|---------------------|---------|-------------------------|----------------------------------|
| <i>Anastrepha ludens</i> | Mexican fruit fly | 70 | L | 95.000 | Hallman and Martinez - 2001 |
| <i>Anastrepha obliqua</i> | West Indies fruit fly | 70 | L | 100.400 | Bustos et al. - 2004 |
| <i>Anastrepha serpentina</i> | Sapote fruit fly | 70 | L | 105.252 | Bustos et al. - 2004 |
| <i>Anastrepha suspensa</i> | Caribbean fruit fly | 70 | L | 100.000 | Gould and von Windeguth - 1991 |
| <i>Bactrocera dorsalis</i> | Oriental fruit fly | 150 | L | 55.743 | Follett and Armstrong - 2004 |
| <i>Bactrocera cucurbitae</i> | Melon fy | 150 | L | 93.666 | Follett and Armstrong - 2004 |
| <i>Bactrocera jarvisi</i> | Jarvis' fruit fly | 100 | L | 153.814 | Heather et al. - 1991 |
| <i>Bactrocera tryoni</i> | Queensland fruit fly | 100 | L | 138.635 | Heather et al. - 1991 |
| <i>Ceratitidis capitata</i> | Mediterranean fruit fly | 100 | L | 31.920 | Follett and Armstrong - 2004 |
| | | 100 | L | 99.562 | Torres-Rivera and Hallman - 2007 |
| <i>Rhagoletis pomonella</i> | Apple maggot | 60 | L | 22.360 | Hallman - 2004b |
| <i>Conotrachelus nenuphar</i> | Plum curculio | 92 | A | 25.000 | Hallman - 2003 |
| <i>Copitarsa decolora</i> | | 100 | L | 10.000 | USDA APHIS - unpublished |
| <i>Cylas formicarius elegantulus</i> | Sweet potato weevil | 150 | A | 62.600 | Follett - 2006a |
| <i>Euscepes postfasciatus</i> | West Indian sweet potato weevil | 150 | A | 50.000 | Follett - 2006a |
| <i>Omphisa anastomosalis</i> | Sweet potato vine borer | 150 | P | 30.282 | Follett - 2006a |
| <i>Cydia pomonella</i> | Codling moth | 200 | L | 132.000 | Mansour - 2003 |
| <i>Grapholita molesta</i> | Oriental fruit moth | 200 | L | 58.799 | Hallman - 2004a |
| <i>Cryptophlebia illepipa</i> | Koa seedworm | 250 | L | 11.256 | Follet and Lower - 2000 |
| <i>Pseudaulacaspis pentagona</i> | White peach scale | 150 | A | 35.424 | Follet - 2006c |
| <i>Aspidiotus destructor</i> | Coconut scale | 150 | A | 32.716 | Follet - 2006b |
| <i>Brevipalpus chilensis</i> | False spider mite | 300 | A | 8.042 | Castro et al. - 2004 |
| <i>Sternochetus frigidus</i> | Mango pulp weevil | 165 | A | 4.566 | Obra et al. - 2014 |
| <i>Sternochetus mangiferae</i> | Mango weevil | 300 | A | ~300 | Follet - 2001 |
| Tephritidae which are not listed above | | 150 | | | |
| Plant pests of the class insecta not listed above, except pupae and adults of the order Lepidoptera | | 400 | | | |
| Stage L = larf, P = pop, A = adult | | | | | |

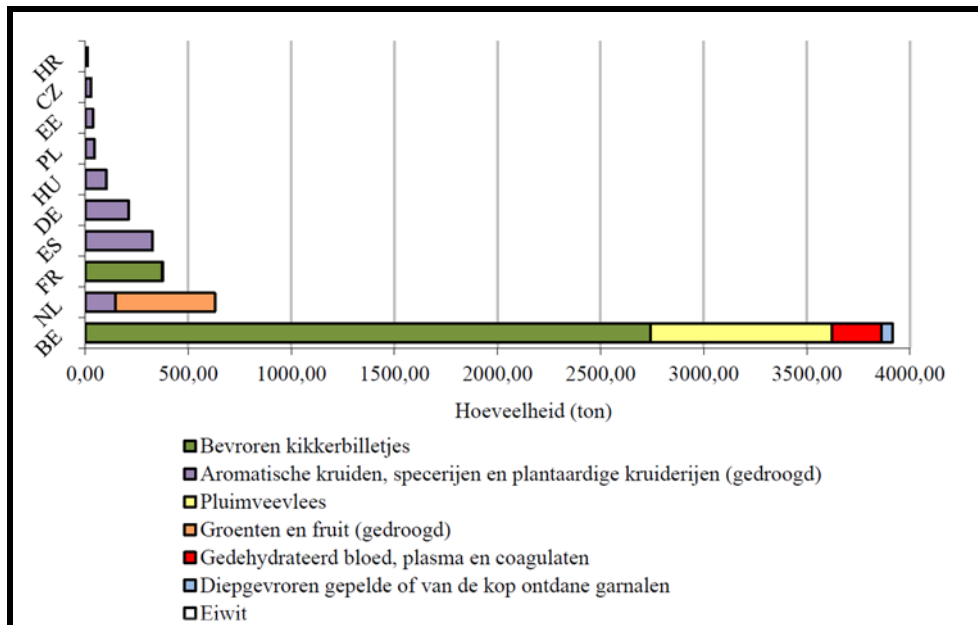
1.3.3 Volwassenheid techniek

Ioniserende straling van voedsel wordt voor vele doeleinden gebruikt, zoals het bestrijden van organismen die via voedsel ziekten veroorzaken, organismen die beschadiging en ontbinding veroorzaken, quarantaine-insecten om verspreiding te voorkomen, sprouiten te remmen, rijping te vertragen en het steriliseren van voedsel voor patiënten met een immuunziekte (Barkai-Golan and Follett 2017). Doorstralen van verse landbouwproducten voor fytosanitaire doeleinden om de introductie en verspreiding van quarantaine plagen te voorkomen is vaak de eenvoudigste aanpak om regelgeving en handelsbelemmeringen te overwinnen en toegang tot de markt te krijgen (Follett and Neven 2006) (Follett 2014). De eerste onderzoeken dateren van meer dan 100 jaar geleden (Barkai-Golan and Follett 2017) en het gebruik van de technologie is inmiddels wereldwijd door ongeveer 60 landen goedgekeurd voor één of meer voedseltypen (Roberts 2016) (Maherani et al. 2016). De Verenigde Staten en Nieuw-Zeeland zijn de belangrijkste importlanden, de belangrijkste exportlanden zijn Mexico, Vietnam, Australië, Thailand en India (Barkai-Golan and Follett 2017). Er is een raamwerk

van internationale normen voor het doorstralen van voedsel en gezondheid, gewasbescherming, etikettering, dosering, kwaliteitsborging en faciliteit beheer (Roberts 2016).

In West-Europa, ook in Nederland, wordt doorstraling van voedsel het meest gebruikt voor het doden van insecten, insecteneieren of larven door middel van een hele lage dosis straling en het doden van ziekmakende bacteriën zoals *Salmonella*, *Campylobacter* en *Listeria* in pluimveevlees, kruiden, gedroogde groenten en ei-producten (Voedingscentrum). In de EU zijn 26 erkende locaties in 14 lidstaten, waar met ⁶⁰Co-gammadoorstraling en doorstraling met versnelde elektronen (Röntgen- of elektronenstraling) voedsel wordt doorstraald. In 2015 werd 5.686 ton voedsel doorstraald. Dit is een stijging van 9,7 % ten opzichte van 2014, tot 2014 was dit een dalende trend. Kikkerbiljetjes (54,8 %) en gedroogde aromatische kruiden, specerijen en plantaardige kruiden (16,1 %) waren de meest bestraalde levensmiddelen, waarvan het merendeel in België (68,9%) en Nederland (11,1%) wordt uitgevoerd (Figuur 1). Naast deze producten werd een beperkte hoeveelheid vers fruit en verse groente doorstraald, waaronder 100 ton in Duitsland en 2 ton tomaten/wortelen in Italië. Jaarlijks worden de faciliteit door de lidstaten gecontroleerd en gerapporteerd aan de EU. In 2015 voldeed 1,1% van de ca. 6000 genomen monsters aan bestraalde voedselproducten niet aan de eisen, met als oorzaak onjuiste etikettering en niet-toegestane doorstraling in niet door de EU erkende installaties (EU 2016a).

Figuur 1. Hoeveelheid en categorie levensmiddelen doorstraald in erkende installaties per lidstaat in 2015.



Doorstralen van groente en fruit tegen quarantaine plaaginsecten neemt wereldwijd gestaag toe (10% per jaar) vanwege haar betrouwbare effectiviteit. De technologie wordt als onschadelijk beschouwd voor de meeste verse producten ten opzichte van andere behandelingen die op deze producten worden toegepast (Hallman 2017). Het succes van doorstraling is volgens Hallman (2017) de hoge kwaliteit van procescontrole; daar waar hitte-, kou- en fumigatiebehandelingen worden geïnspecteerd op levende plaaginsecten, is procescontrole en certificatie bij doorstraling voldoende. Levende insecten worden aangetroffen, maar voortplanting vindt niet meer plaats. Dit wordt geaccepteerd in de VS (APHIS²)

¹<https://www.iaea.org/>

²https://www.aphis.usda.gov/import_export/plants/manuals/ports/downloads/treatment.pdf

1.3.3.1 Wetgeving

Voor het bestralen van levensmiddelen wordt rekening gehouden met de algemene internationale norm voor bestraalde levensmiddelen (Codex Standard 106-1983) en de "code of practice for radiation processing of food (CAC/RCP 19-1979)" (IAEA¹). De Internationale Commissie voor Stralingsbescherming (ICRP) onderstreept de fundamentele principes van de regelgeving inzake stralingsbescherming en dosislimieten en beveelt het onderstaande systeem aan:

1. handelingen die blootstelling aan ioniserende straling met zich brengen, dienen te worden gerechtvaardigd door economische, sociale of andere voordelen - het "principe van de rechtvaardiging van de praktijk";
2. de doses moeten zo laag gehouden worden als redelijkerwijze mogelijk is. Hierbij wordt rekening gehouden met economische en sociale factoren. In het vakjargon noemt men dit het ALARA-principe ("As Low As Reasonably Achievable") - het "principe van de optimalisatie van de bescherming".
3. zowel voor de bevolking als voor de werknemers die door hun beroep blootgesteld worden, zijn individuele dosislimieten bepaald - het "principe van de individuele dosislimieten".

In Europa valt de vervaardiging, het in de handel brengen en de invoer van voedsel en voedsel ingrediënten die met ioniserende straling zijn behandeld onder de EU richtlijn 1999/2/EG (EU 1999). Hierin staan de drie geaccrediteerde stralingsbronnen om voedsel mee te bestralen en de voorwaarden voor het verlenen van toestemming voor doorstraling van voedsel. Ioniserende straling mag alleen worden toegestaan indien het procedé of doel:

1. technologisch gezien in een aanvaardbare behoefte voorziet;
2. geen gevaar oplevert voor de gezondheid en wordt uitgevoerd volgens de voorgestelde voorwaarden;
3. nuttig is voor de consument;
4. niet wordt toegepast ter vervanging van hygiënische en gezondheidspraktijken of van behoorlijke productie- en landbouwprocessen;
5. vermindering van het risico van door voedsel veroorzaakte ziektes door vernietiging van ziektekiemen;
6. vermindering van voedselbederf door het vertragen of stoppen van rottingsprocessen en het vernietigen van bederf veroorzakende organismen;
7. beperking van het verloren gaan van voedsel als gevolg van voortijdig rijpen, kiemen of uitlopen;
8. levensmiddelen ontdoet van organismen die schadelijk zijn voor de gewassen en de daarvan afgeleide producten.

Op dit moment wordt de toepassing en de technische vooruitgang in de EU geëvalueerd. Hierop volgt een beoordeling op geschiktheid voor het beoogde doel aan de hand van vijf verschillende criteria: relevantie, effectiviteit, efficiëntie, EU-toegevoegde waarde en coherentie (EU 2017).

Het doorstralen van voedingsmiddelen ten behoeve van sterilisatie (een toelating van maaltijden voor patiënten in isolatie, maar wordt in de praktijk niet toegepast) en desinfectie is in Nederland toegestaan (Kernenergiewetvergunning). Iedere EU lidstaat heeft een positieve lijst van voedingsmiddelen welke mogen worden doorstraald, in Nederland mogen o.a. gedroogde vruchten, peulvruchten en gehydrateerde groenten worden doorstraald (Warenwetbesluit Doorstraalde waren). In Nederland heeft de Autoriteit Nucleaire Veiligheid en Stralingsbescherming (ANVS) de taak om regels op te stellen, vergunningen te verlenen en ziet toe op de naleving. Door de vorming van de ANVS in 2015 zijn kennis en expertise gebundeld die nodig is om deze taken uit te voeren (ANVS¹).

¹<https://www.autoriteitnvs.nl/>

1.3.3.2 Acceptatie

Op basis van aanzienlijk nationaal en internationaal (wetenschappelijk) onderzoek concluderen adviesorganen dat doorstraling van levensmiddelen geen gevaar oplevert voor de gezondheid, als de toepassing onder de juiste omstandigheden en tot een bepaald maximum wordt uitgevoerd. Hieronder vallen instanties als het voedingscentrum, RIVM, de Nederlandse Gezondheidsraad, de European Food Safety Authority (EFSA), de Scientific Committee on Food (SCF), de World Health Organisation (WHO), de Food and Agricultural Organisation (FAO), de IAEA gelieerde instanties. De meeste consumentenorganisaties vinden doorstraling een goede methode voor het steriliseren van producten. Bijna alle landen waar fytosanitaire doorstraling van voedsel is toegelaten, moet het bestraalde product worden geëtiketteerd. In de VS moeten doorstraalde verse tuinbouwproducten worden geëtiketteerd met het radura-symbool en voorzien van de tekst met 'treated with radiation' of 'Treated by irradiation', hetzij op afzonderlijke vruchten, hetzij op het verkooppunt. (Barkai-Golan and Follett 2017), dit is vergelijkbaar met de etiketverplichting in de EU voor verse producten (EU 1999). Doorstralen van tomaten en paprika om fytosanitaire redenen is toegelaten in Australië. Een risk assessment en beoordeling van alle negatieve aspecten, ingediend door 25 instanties, lag hieraan te grondslag (FSANZ 2013).

Ioniserende straling leidt niet tot residuen of radioactieve verontreiniging. Smaak en kleur van bestraald voedsel veranderen niet wanneer deze straling op de juiste manier wordt toegepast, visuele verschillen zijn niet te onderscheiden (pers. comm. dhr. Follett, USDA). Maatschappelijke acceptatie van de consument en retailer is minder duidelijk en zou verder onderzocht moeten worden. De zorgen vanwege imago liggen mogelijk meer bij de retail. Vanuit Mexico wordt bestraalde guava (*Psidium guajaba*) geïmporteerd door de VS. De verplichte etikettering waarop staat dat het om bestraald voedsel gaat wordt in zeer kleine letters weergegeven, dit indiceert een bewust voorzichtige voorlichting waarmee uiteindelijk het tegengestelde kan worden bereikt, namelijk argwaan bij de consument.

1.3.3.3 Kosten

De kosten voor de bouw van een stralingsfaciliteit zijn verscheidene miljoenen US dollars (Hallman 2017) tot naar schatting 20 miljoen euro (dhr. Hopman, Steris AST). Dit is een hoge investering in vergelijking met alternatieve behandelingsfaciliteiten voor fumigatie, koude bewaarplaats, tanks voor onderdompeling in heet water of hete lucht faciliteiten. De wereldwijde groei aan bestralingsfaciliteiten geeft aan dat er economisch perspectief is. De verwerkingskosten zijn met 0,05 US dollar per kg product vergelijkbaar met alternatieve behandelingen (Hallman 2017).

1.3.3.4 Kansen

De Amerikaanse FDA keurde in 1986 bestralingsdoses tot 1000 Gy goed voor conservering en ontsmetten van verse groenten en fruit (Follett and Weinert 2012). Binnen de VS geldt voor enkele tientallen insecten en producten een minimale dosering Gy. Voor de overige insecten is een minimum generieke dosis vastgesteld van 400 Gy, behalve Lepidoptera pupa en adulten (APHIS¹) (Bustos-Griffin et al. 2012). Fytosanitaire inspecteurs accepteren levende insectenplagen in gecertificeerde fytosanitaire bestraalde producten, alhoewel levende insectenplagen in moderne productiesystemen niet snel worden aangetroffen (Hallman 2017). Tijdens een EU-USA Plant Health Technical Group overleg in Washington april 2017 opperde de VS dat invoer van doorstraalde kersen door Spanje in overweging te willen nemen (via geaccrediteerde faciliteiten zoals in België), mits de EU ook de invoer van doorstraalde producten uit de VS toestaat. Hier is verder niet op ingegaan (Ministerie van Buitenlandse zaken), maar politieke motieven zijn niet uit te sluiten in de beslisvorming. In Japan ligt doorstraald voedsel gevoelig en wordt zeer beperkt onder strikte voorwaarden toegelaten en uitgevoerd (Barkai-Golan and Follett 2017). In Nederland is geen complete en geaccrediteerde stralingsunit voor het beoogde segment met lage dosering doorstraling (<1kGy) en voldoende bulk. Een eerste stap is een vergunningaanvraag. Er zijn niet direct technische redenen te bedenken waarom wettelijke beperkingen zouden worden gesteld aan consumptie van verse voedingswaren, mits de doorstraling op een adequate manier plaatsvindt (ANVS). Een mogelijkheid kan zijn om tomaten in het buitenland ofwel in het land van bestemming toe te passen.

¹https://www.aphis.usda.gov/publications/plant_health/content/printable_version/ifruit08.pdf

1.3.4 Conclusie

Doorstralen van voedsel is een effectieve en veilige fyto-sanitaire behandelingsmethode die wereldwijd gestaag toeneemt. Voor meerdere plaag-product combinaties zijn er toelatingen in meerdere landen, per plaag-productcombinatie is effectiviteit en selectiviteitonderzoek noodzakelijk. Wetenschappelijke acceptatie is aanwezig, maatschappelijke acceptatie is minder duidelijk. Verkenning van acceptatie is gewenst, zowel binnen de EU (o.a. als toepassing (eigen consumptie en/of voor export) en standpunt import bestraalde levensmiddelen) alsmede voor buiten de EU (marktomvang en marktzekeerheid). Daarnaast zijn er verschillende uitdagingen voor een succesvolle implementatie, waaronder de kosten (vergunningstraject NL/EU, aanbouw), bereidheid tot investeren en interactie met het beoogde exportland.

1.4 Radiofrequentie- en magnetronstraling

(Geschreven door: Esther Hogeveen-van Echtelt)

Radiofrequentie- en magnetrongolven zijn vormen van niet-ioniserende straling en onderdeel van het electromagnetisch spectrum. Radiogolven hebben een frequentie van 3 kHz tot 300 MHz, magnetrongolven variëren van 300 MHz tot 300 GHz. Wanneer deze golven contact maken met materiaal dan wordt een deel van de energie overgedragen en geabsorbeerd door het materiaal als warmte. Doordat er geen dragermateriaal nodig is voor de overdracht, zijn radiofrequentie- en magnetronstraling geschikt om producten snel te verwarmen. Materiaaleigenschappen bepalen hoe goed deze warmte opgeslagen kan worden in het product. Met deze golven kan dus op een relatief snelle manier een verschil in opwarming van producten gerealiseerd worden.

1.4.1 Effectiviteit

Om effectief te zijn als quarantainemethode tegen plagen op verse producten, moet de plaag, in reactie op een elektrisch veld, sneller opwarmen dan het product. Hoe groter het verschil in opwarmingssnelheid, hoe groter de kans op succesvolle afdoding van insecten, en hoe kleiner effect op de vrucht. De elektrische eigenschap van een product of insect ("dielectric loss factor") bepalend voor deze snelheid. Deze is in verschillende studies, voor diverse verse producten en insecten bepaald. Deze waarden helpen om richting te geven aan mogelijke praktijktoepassing (Ling et al. 2015). Ling et al (2015) hebben deze dielectric loss factor bepaald voor steenvruchten als perzik, nectarine en pruim versus die van de Middellandse-zeevlieg. Er is een verschil aangetoond in nagenoeg het hele frequentiegebied. Dit betekent dat de Middellandse-zeevlieg sneller opwarmt dan de vruchten en dat deze methode dus effectief kan zijn.

Diverse studies tonen inmiddels aan dat radiofrequentie- of magnetronstraling ingezet kunnen worden om insecten te doden zonder het product te beschadigen (o.a. rijst, walnoten, kastanjes, koolzaad), doordat de insecten sneller opwarmen dan het product waarin deze zich bevinden (Wang et al. 2007, Hou et al. 2015, Zhou et al. 2015, Yu et al. 2016). Het gaat hier om behandelingen van een aantal minuten. Onderzoekers (Ikediala et al. 1999) hebben kersen behandeld tegen fruitmot met magnetronstraling bij verschillende temperaturen met daaropvolgend een koude periode. Bij de hoogste temperatuur (55°C) gevolgd door kou, werd de hoogste doding van derde stadium larven gevonden (max 98%), maar ook meer schade bij de kersen. Bij lagere temperaturen (45 en 50 °C) bleek schade niet erger te zijn dan bij methylbromide behandeling, behalve meer uitgedroogde steeltjes. Het percentage dode larven was echter ook lager met grotere variatie (39-95%). Anderen (Wang et al. 2006) hebben gebruik gemaakt van radiogolven om water te verwarmen met appels erin. Een behandeling van 15 minuten bij 48 °C zorgde voor 100% afdoding van het vijfde stadium larve van de fruitmot in Red Delicious appels. Er waren significante effecten op kwaliteit van de appel. Kleur en hardheid werden beïnvloed, waarbij opvallend was dat appels juist harder bleven na de behandeling vergeleken met onbehandelde appels. Dit zou een positief effect kunnen zijn voor appels die bestemd zijn om lang te bewaren.

De effectiviteit van de techniek hangt onder andere af van de uitvoering van de techniek (o.a. sterkte van het veld en eigenschappen van de materialen waarmee het veld is aangelegd (Ling et al. 2015)). Voor succesvolle toepassing is per product/plaag verdere ontwikkeling en optimalisatie nodig.

1.4.2 Toepasbaarheid

De doordringing van golven in een massa vers product wordt bepaald door de frequentie, de temperatuur, maar ook door de dichtheid en het vochtgehalte van het product. Voor verse producten met hoog vochtgehalte is er een lagere doordringing, en dus een grotere kans op non-uniformiteit van warmte, in vergelijking tot noten, granen of gedroogd fruit (Ling et al. 2015). Bij behandelingen van kisten met product is uniformiteit dus een uitdaging. Een systeem met enkellaags product en een behandeling van enkele minuten valt wel binnen de mogelijkheden.

1.4.3 Volwassenheid techniek en toelaatbaarheid

Er zijn commerciële bedrijven in Europa die apparatuur voor radiofrequentie en magnetronstraling aanbieden voor industriële toepassingen waaronder desinfectie en pasteurisatie van voedsel¹. De typische energie-efficiency van dit soort systemen is 60-80%. Met gebruik van de restwarmte van de stralingsgeneratoren zou dit wellicht verbeterd kunnen worden. De benodigde hoeveelheid energie is hoger naarmate de warmtecapaciteit van een product hoger is. De benodigde capaciteit als fytosanitaire toepassing is onduidelijk.

Als fytosanitaire/quarantaine methode is er een officiële Europese standaard voor warmtebehandeling van hout (EPPO (2009), voor andere producten niet.

1.4.4 Conclusie/discussie

Radiofrequentiegolven en magnetronstraling als fytosanitaire post-harvest technieken zijn mogelijk interessant om verder uit te diepen, mits het product in een platte laag aangeboden kan worden (enkele minuten). Producten met een laag vochtgehalte lopen minder kans op productschade dan verse groenten/fruit/bloemen. Toch zijn er ook voorbeelden met mogelijk positieve effecten op kwaliteit (appel). Het overzicht van praktische haalbaarheid, kostenplaatje, mogelijkheid tot toelating etc. is nog beperkt voor deze techniek.

¹ <http://www.stalam.com/en/applications/other-applications.html>

1.5 Ozon

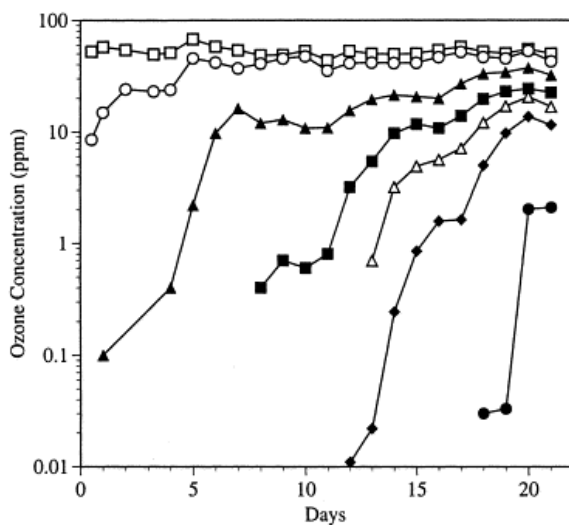
(Geschreven door: Esther Hogeveen-van Echtelt)

Ozon (O_3) is een sterk oxiderende stof. Het kan in gasvorm of in water voorkomen. Het heeft een ontsmettende werking met als voordeel dat er geen residu achtergelaten wordt omdat het vervalt tot zuurstof. In lucht is het stabielere dan in water.

1.5.1 Effectiviteit

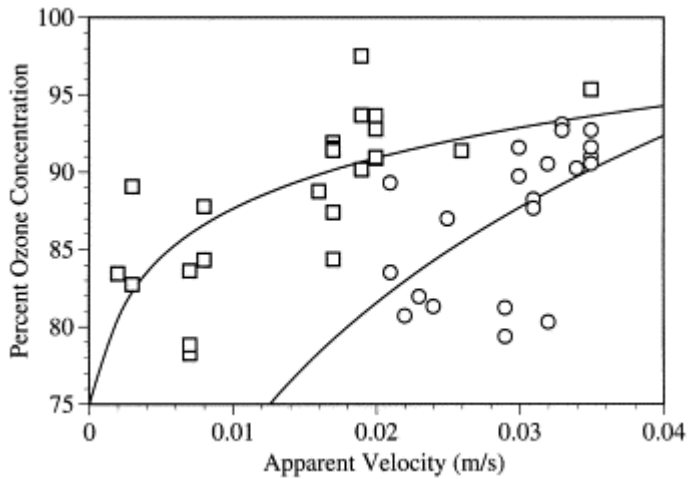
De concentraties ozon, die benodigd zijn om verschillende stadia insecten af te doden, zijn hoger dan wat nodig is tegen bacteriën en schimmels. Ook verschillen ze per insect. Voor bacteriën en schimmels wordt gesproken van < 1 ppm (o.a. gereviewed door (Carletti et al. 2013) terwijl voor het 100% doden van de diverse stadia van de aardappelmot (*Phthorimaea operculella*) gesproken wordt over 5-60 ppm ozon ((Ibrahim and Al-Ahmadi 2014) en voor tulpengalmijt van 1 of meerdere behandelingen met 50-100 ppm ((Duin 2011, 2013)). Bij de aardappelmot blijkt er een duidelijk verschil in gevoeligheid van de verschillende stadia te zijn (eieren en poppen 1 uur 5 ppm, larven en adulten 2 uur 60 ppm). Een andere studie met de vlinder *Ephestia cautella* spreekt van 83% doding van adulten na 12 uur 2 ppm, maar slechts 27% van de larven (Abo-El-Saad et al. 2011).

Er moet rekening gehouden worden met het feit dat de gerealiseerde ozonconcentratie afhangt van de diepte/volume van het product. Hieronder staat een grafiek uit een artikel waarin gekeken is naar de penetratie van ozon in een grote hoeveelheid mais (Kells et al. 2001). Gegeven een bepaalde capaciteit van de ozongenerator, ventilatiesnelheid en volume van het product, duurde het een aantal dagen om een stabiele concentratie te krijgen. Deze concentratie blijft verschillen per locatie in de lading mais. Het doel van het hier beschreven onderzoek was het realiseren van 50ppm ozon (Figuur 2).



Figuur 2 Ozon concentratie op verschillende diepten/posities in een massa graan. Ozon werd van bovenaf ingebracht met een luchtsnelheid van 0.0036 m/s. (Kells et al. 2001).

Er wordt gesproken over 2 fases tijdens de begassing met ozon (Kim et al. 1999). Fase 1 is wanneer het product oppervlak nog kan reageren met ozon waardoor ozon degradeert. Fase 2 is wanneer het hele oppervlak gereageerd heeft. Dit wordt ook wel de "ozonvraag" van het medium genoemd. Dit zorgt er dus voor dat je in die eerste fase met hogere luchtsnelheid moet blazen en later met een langzamere snelheid om de concentratie in stand te houden (Figuur 3).



Figuur 3 Ozon concentratie op 2.7 m diepte in verhouding tot 0.3 m diepte tijdens fase 1 (○) en fase 2 (□) begassing wanneer ozon van bovenaf ingeblazen wordt met verschillende lichtsnelheden (Kim et al. 1999)

De effecten van ozon op het plantmateriaal zijn wisselend. Bij tulpenbollen ontstond bij hoge doses schade (Duin 2011, 2013). In een aantal studies (met concentraties < 1ppm ozon), gereviewed door (Carletti, Botondi et al. 2013), wordt gesproken over verbetering van kwaliteit en shelflife door minder rot of door oxidatie van ethyleen (o.a. broccoli, komkommer, appel, aardbei, tomaat). Soms werden er significant hogere concentraties van bepaalde inhoudsstoffen gemeten (fenolen, flavonoiden). Er werd echter ook een lagere concentratie ascorbinezuur gevonden.

1.5.2 Toepasbaarheid

Ozon als phytosanitaire behandeling is toe te passen als een begassingsbehandeling na de oogst. In literatuur is veel geschreven over de toepassing op gedroogde producten en bewaarproducten zoals mais, dadels, aardappelen. Toepassing op bollen is door Proeftuin Zwaagdijk 2 seizoenen geproefd, met wisselend resultaat op afdoding van mijten en bolkwaliteit (Duin 2011, 2013).

1.5.3 Volwassenheid techniek en toelaatbaarheid

Ozon wordt al toegepast om water te desinfecteren en er zijn verschillende apparaten op basis van ozon welke lucht desinfecteren. Echter de toepassing met hogere concentraties om insecten te doden wordt nog niet toegepast, voor zover wij kunnen vinden in literatuur.

In 2001 heeft de FDA het gebruik van ozon als antimicrobiële methode toegestaan om te gebruiken op verse en verwerkte voedselproducten. Hierbij wordt opgemerkt dat het gebruik van ozon als insecticide mogelijk wel onder de FIFRA regels valt (Federal Insecticide, Fungicide, and Rodenticide Act (FIFRA))². In Nederland/Europa is er geen toelating.

Ozon is toxisch, in Nederland mogen mensen niet langer blootgesteld worden aan concentraties hoger dan 0.12 ppm gemiddeld gedurende 1 uur als max. concentratie³. In de artikelen wordt gesproken van concentraties tot 60 ppm voor de adulten en larven van de aardappelmot (*Phthorimaea operculella*) (Ibrahim and Al-Ahmadi 2014). Een goede lekdichte cel en goede afzuiging is dus een vereiste. Met materiaalkeuze moet rekening gehouden worden met de agressieve/oxiderende werking van ozon.

1.5.4 Conclusie/discussie

Ozon is een potentieel effectief afdodingsmiddel, maar sterk variabel in effect per insect/stadium, en ook in effect op kwaliteit van het product. Uitgebreide experimenten zullen nodig zijn om tot goede

² <https://www.fda.gov/ohrms/dockets/98fr/062601a.htm>

³ <https://www.ser.nl/nl/grenswaarden/ozon.aspx>, <http://www.rivm.nl/rvs/Normen/Werknemer/Grenswaarden>

protocollen te komen. Duidelijk is dat er relatief hoge doses nodig zijn om insecten af te doden in vergelijking tot bestrijden van schimmels en bacteriën. Qua veiligheid voor mensen die er mee moeten werken kan dit een probleem zijn. Dit zal ook extra kosten met zich meebrengen om de techniek veilig te laten zijn. Daarnaast is de oxiderende werking zeer sterk, dit zal ook kosten met zich meebrengen bij materiaalkeuze.

1.6 Stikstofoxide

(Geschreven door: Esther Hogeveen-van Echtelt)

Stikstofoxide (NO) is een natuurlijk voorkomend gas dat door diverse organismen geproduceerd wordt en dienst doet als signaalmolecuul. Het gas komt ook vrij bij bliksem/onweer, en bij verbranding van fossiele brandstoffen. Recent is ontdekt dat dit gas positieve effecten op post-harvest kwaliteit kan hebben en dat het ook werkt als insecticide en biocide (Liu 2013). Het gas is niet stabiel en reageert sterk met zuurstof tot stikstofdioxide (NO₂) en tot waterstofnitriet (HNO₂) in aanwezigheid van water. Het gas is mogelijk interessant als alternatief voor methylbromide en fosfine omdat het een aantal voordelen heeft ten opzichte van deze gassen: behandelingsduur is meestal korter, (phyto)toxiciteit bij gebruik is lager, veiligheid is hoger, er is geen sprake van residu. Er kleven echter ook een aantal nadelen aan.

1.6.1 Effectiviteit

Het gas kan effectief ingezet worden op een brede groep insecten. (Liu 2013) beschrijft een effectieve behandeling (bij labomstandigheden), met lage zuurstof concentraties (<50ppm) tegen diverse stadia trips, bladluis en (snuit)kevers. Concentraties, duur en temperatuur zijn bepalende factoren voor de mate van effectiviteit. Trips en bladluis gingen nagenoeg allemaal dood bij een lage temperatuur (2°C) en een concentratie van 0.1-2% NO gedurende een aantal uren (1-12). Bij snuitkevers zijn hogere temperaturen dodelijker, maar zijn ook een hoge concentratie (1%) en langere blootstellingsduur (24-48 uur) voor 100% afdoding. Aangezien er wel grote verschillen zijn tussen toepassingen, zal voor deze techniek ook een fase van protocolontwikkeling doorgedaan moeten worden per plaag/product toepassing.

Qua phytotoxiciteit zijn nog weinig resultaten gepubliceerd. Producten zijn mogelijk gevoelig voor stikstofdioxide, dat kan ontstaan in reactie met zuurstof, op het einde van de behandeling. Dit kan voorkomen worden door aan het einde van de behandeling te flushen met stikstof (Liu 2013). Er worden ook positieve effecten beschreven van NO op na-oogst kwaliteit, omdat het gas ook antagonistische effecten vertoont bij de ethyleen biosynthese (Manjunatha et al. 2010), (Liu et al. 2016).

1.6.2 Toepasbaarheid (waar in de keten)

Stikstofoxide-begassing kan ingezet worden in de keten, daar waar product een aantal uur in een luchtdichte klimaatcellen geplaatst kan worden, en met gassen gereguleerd kan worden. Cellen met lage zuurstofcondities zorgen voor minder reactie met zuurstof waardoor stikstofoxide langer effectief zou kunnen zijn. Bij hogere zuurstof percentages zullen hogere doseringen nodig zijn. Toepassing kan op een centrale plaats of eventueel op de teeltlocatie.

1.6.3 Volwassenheid techniek

1.6.3.1 Technische benodigheden

In principe is de benodigde techniek voorhanden. De procedure om de condities correct in de cel te krijgen is ingewikkelder. Het is belangrijk om een goed luchtdicht afgesloten cel te hebben. Voor grotere effectiviteit van het NO-gas is het goed om lage zuurstofwaarden aan te houden. De zuurstofwaarden die in (Liu 2013, Liu et al. 2016) genoemd worden zijn echter wel zeer laag (<50 ppm = 0.005% O₂). Dit is in praktijk moeilijk haalbaar. De effectiviteit van het gas tegen insecten bij hogere zuurstofpercentages is nog niet goed genoeg onderzocht.

De hoeveelheid NO die nodig is om de niveaus van 0.1-2% (1000-20000ppm) te halen is aanzienlijk. De vraag is hoe dit op een kosten-efficiënte manier het best gerealiseerd kan worden. Daarnaast benoemt (Liu 2013) nog een extra stap, dat na behandeling de ruimte eerst met stikstof geflushed moet worden om de resterende NO weg te halen, alvorens met gewone lucht te ventileren.

1.6.3.2 Veiligheid

Er zullen voldoende veiligheidsaspecten meegenomen moeten worden tijdens toepassing van dit gas. Qua veiligheid wordt beweerd dat stikstofoxide een veel veiliger alternatief is dan fosfine en methylbromide ((Liu 2013)). Het voordeel is dat er geen residu is op het product. Echter in de geneeskunde wordt naast een positieve werking voor astma patiënten (dosering max 40ppm) ook een toxische werking beschreven voor NO bij inhalatie (Weinberger et al. 2001). De concentratie is aanzienlijk lager dan de bovenstaande beschreven hoeveelheid voor insecten. En op dierlijk celniveau kan deze 40ppm ook al korte-termijn schade geven. Ook stikstofdioxide dat ontstaat als NO reageert met zuurstof is toxisch bij lage concentraties. Het afzuigen van het NO gas uit de ruimte zal op een veilige manier gedaan moeten worden, voor mens en milieu. Daarnaast moeten bij het werken onder laag zuurstof omstandigheden ook de nodige veiligheidsmaatregelen genomen moeten worden.

1.6.3.3 Toelating

Er is op dit moment geen toelating in Europa en/of Amerika

1.6.3.4 Kosten

Het kostenplaatje is afhankelijk van de ULO faciliteiten en de manier om stikstofoxide te verkrijgen. Met betrekking tot de behandeltijd lijken er mogelijkheden te zijn voor een relatief snelle behandeling van een paar uur. Maar dat is bepaald onder labomstandigheden. In de praktijk met opbouwen/afbouwen van de luchtcondities zal dit langer zijn.

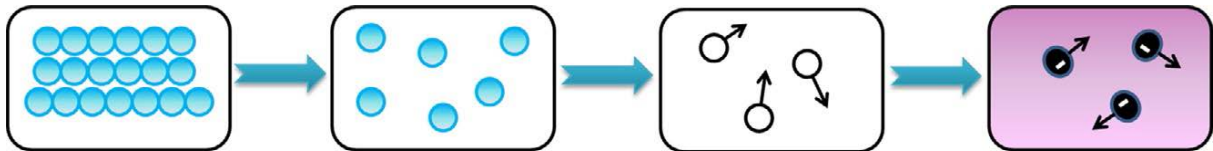
1.6.4 Conclusie/discussie

Deze techniek heeft naast de nog onduidelijke protocollen een aantal nadelen betreffende veiligheid en praktische haalbaarheid voor effectieve grootschalige toepassing. Behandeling zal lang duren in geval van moeilijk haalbare gascondities.

1.7 (Koud) plasma

(Geschreven door: Esther Hogeveen-van Echtelt)

Plasma lijkt een lastig voor te stellen fenomeen, maar we kennen het allemaal. Bliksem en het noorderlicht zijn bekende voorbeelden van plasma. Plasma wordt vaak genoemd als de vierde fase waarin een stof kan voorkomen. In opeenvolgende volgorde (met toename van energie) spreken we eerst over vaste stof, daarna vloeibaar, dan gas en uiteindelijk plasma (Figuur 4). Plasma is een vorm van geïoniseerd gas dat men door toevoeging van energie aan gas kan verkrijgen. Elke energiebron kan in principe gebruikt worden om plasma te genereren. De vrije elektrische ladingen in het gas, bestaande uit elektronen en ionen, maken het gas geladen en daardoor sterk reagerend met bijvoorbeeld magnetische velden. De samenstelling en levensduur van deze reactieve vormen van gasmolekulen hangt af van de gassamenstelling en de ontladingscondities.



Figuur 4 Door voldoende energie aan een stof toe te voegen kan uiteindelijk een geladen gas met elektronen en ionen gegenereerd worden. Dit wordt "plasma" genoemd. (Misra et al. 2016a)

Plasma kan grofweg verdeeld worden in **thermisch plasma** en **non-thermisch plasma**. Bij non-thermisch plasma wordt de energie om het plasma te maken vaak via een elektriciteitsbron gegenereerd, bij relatief lage temperaturen (<60°C). Thermisch plasma krijgt via hoge temperaturen de benodigde energie. Als de temperatuur van het gas rondom kamertemperatuur ligt (bij 1 atmosfeer drukniveau), wordt non-thermische plasma "**koud plasma**" genoemd. Het gas kan ook onder verlaagde druk (vacuüm) gegenereerd worden, dit zijn altijd thermische plasma's. Men spreekt van plasma-geactiveerd water als het plasma in water gebracht wordt.

Er is een verschil tussen directe plasma en indirecte plasma. Bij directe plasma is er direct contact tussen plasma en het te behandelen oppervlakte. Bij indirecte plasma is deze afstand groter, of heb je het bijvoorbeeld over plasma-processed air (dus lucht ontsmetting toepassing).

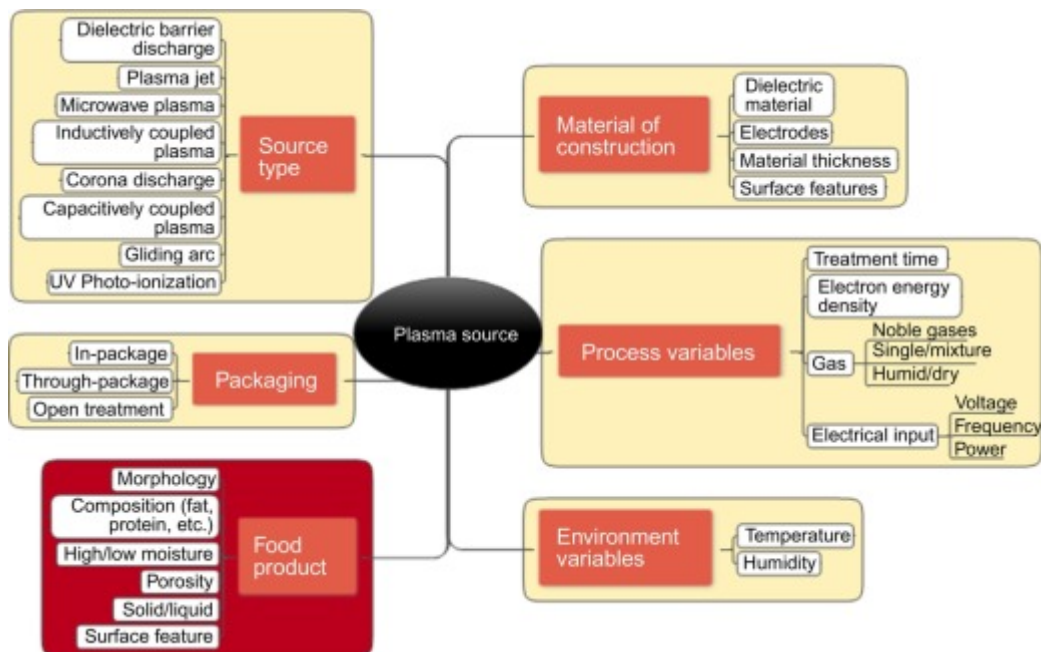
Je hebt verschillende typen systemen om behandelingen met plasma uit te voeren. Dit varieert van een 'plasma jet', waar er behandeld wordt in de afterglow van een gasvlam, tot een 'dielectric barrier systeem'. Hierbij wordt plasma gegenereerd tussen twee elektroden in een afgesloten, met gas gevulde, ruimte.

De toepassing van plasma in procestechnologie is begonnen bij het etsen van halfgeleiders in de jaren '70. Hierop volgde de toepassing voor televisieschermen. De afgelopen decennia heeft ontwikkeling van de technologie, om plasma bij normale temperatuur- en drukomstandigheden te kunnen genereren, ervoor gezorgd dat vacuümkamers en dure pompsystemen niet meer nodig zijn. Hierdoor zijn allerlei nieuwe toepassingen binnen bereik gekomen. De actieve lading van het gas kan een sterke antimicrobiële werking hebben. Daarom zien we plasma nu op verschillende plaatsen zijn intrede doen, onder andere om water te zuiveren, voedsel te bewaren, of zelfs als medicijn (Misra et al. 2016a).

1.7.1 Effectiviteit

1.7.1.1 Algemeen

Effectiviteit van plasma is afhankelijk van diverse parameters, onder andere het type gas, het type en sterkte van de plasmabron en de behandelduur (Figuur 5).



Figuur 5 Overzicht van belangrijke variabelen die invloed hebben op effectiviteit van een plasmabehandeling op voedsel (Keener and Misra 2016)

Het type gas heeft invloed op effectiviteit omdat het ene gas makkelijker en het ander moeilijker ioniseert. Helium en lucht zijn bijvoorbeeld relatief makkelijk te ioniseren. Bij lucht wordt ook ozon gevormd. Dit is zeer effectief maar lang niet altijd gewenst. Bij sommige gassen wordt er ook UV gevormd. Dit heeft als nadeel dat je direct het oppervlak moet aanstralen, anders heb je schaduwwerking.

Om een zo hoog mogelijke dichtheid van actieve lading op je doeloppervlak te bereiken is het belangrijk om verliezen door het transport van het gas naar het oppervlak te beperken. Het gebruik van een inert gas is daarvoor het meest geschikt, zoals halogenen (Helium, Argon of Neon), maar ook stikstof is bruikbaar en weinig reactief.

Het type contact oppervlak is ook van invloed op effectiviteit van de techniek (gereviewed door (Schlüter et al. 2013). Deels omdat in meer poreuze oppervlakken organismen zich beter kunnen verstoppen en minder bereikbaar zijn, maar ook omdat op diverse oppervlakken de plasma-chemie zich anders gedraagt.

1.7.1.2 Effectiviteit tegen insecten

Er is nog beperkt onderzoek gedaan naar het gebruik van plasma als maatregel tegen insecten en andere plagen. In een studie (Donohue et al. 2006) werd aangetoond dat doding van een breed spectrum insecten mogelijk is (trips, tijgermug, kakkerlak, mijten). Er werd gebruik gemaakt van een dielectric barrier systeem, waar met hoge spanning (2.7kV) een stroom tussen de electrode gegenereerd werd (24.2mA), waarmee helium als drager geactiveerd werd (vermogen per behandeling 85-95W, 259 liter kamer). In dit systeem zijn insecten blootgesteld aan het plasma variërend van 10-120 seconden. Er bleek 24 uur na behandeling bij veel insecten doding opgetreden te zijn, en het effect werd sterker bij langere behandelertijden. Niet bij alle insecten werd 100% doding bereikt.

(Abd El-Aziz et al. 2014) hebben effecten onderzocht van plasma op *Plodia interpunctella* (Indian meal moth) met behulp van een plasmajet systeem waarbij het plasma gegenereerd werd door een niet gedefinieerd gas (lucht?) en waarbij verschillende stadia van de mot (larven, poppen, adulten) blootgesteld werden aan verschillende hoeveelheid pulsen en op verschillende afstanden van de bron (0-20 pulsen; 11-12-13 cm afstand). Larven bleken gevoeliger dan poppen, maar bij de poppen was een hoger percentage vervormde dieren. 100% doding werd bij deze behandelingen niet gezien.

Eigen verkennende experimenten binnen project Phytotec met een 3 W plasmajet demonstrator (Foto 5), met stikstof als dragergas, toonden enige afdoding van tripsen en witte vlieg bij vrij langdurige blootstelling (1000s), maar kortere blootstelling gaf geen effect. De plasmavlam werd wel gehinderd door het gaas dat op de testkooitjes zat, waardoor effectiviteit mogelijk lager was.

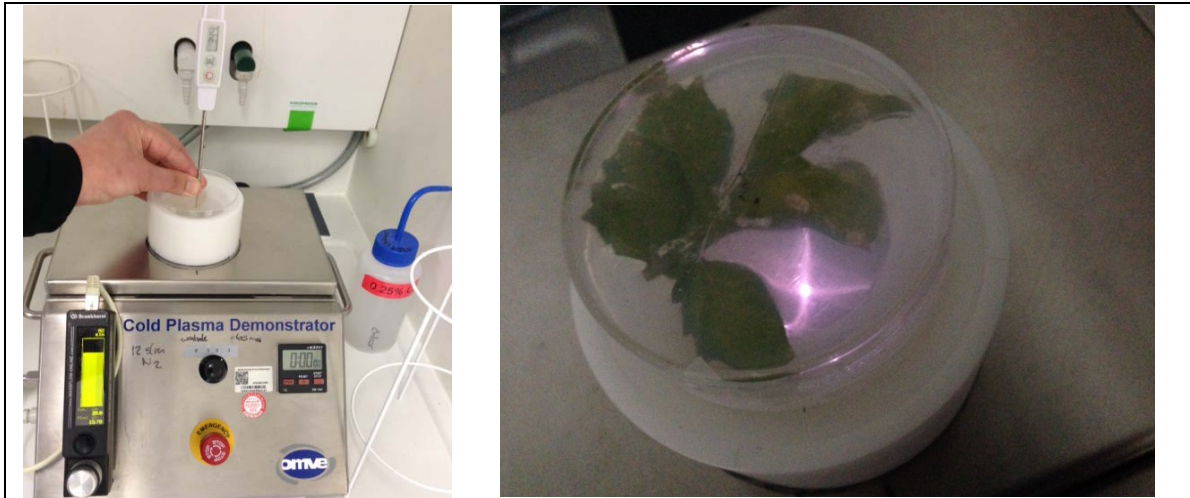


Foto 5 Links) Plasmajet demonstrator. Rechts) behandeling van petrischaal kooitjes

1.7.1.3 Phytotoxiciteit

Onderzoek naar effecten van plasma op kwaliteit van plantaardige producten heeft tot nu toe vooral plaatsgevonden op sla-achtige gewassen, gesneden fruit, tomaat, bessen en aardbeien en in relatie tot anti-microbiële behandelingen (gereviewed door (Misra 2016)). Effecten op fysische en chemische eigenschappen lopen uiteen per gewas en per behandeling. De schrijvers vatten het voor effecten op stevigheid, als volgt samen: “de meeste studies bevestigen dat een plasmabehandeling schade aan de buitenste cellen veroorzaakt, met name in gesneden fruit en groenten, maar dit hoeft niet altijd op macroniveau op te merken te zijn.”

Bij behandelingen met een dielectric barrier systeem (2.7kV, 24.2mA, 85-95W, 259 liter volume kamer (Donohue et al. 2006)) werd schade aan tabaksbladeren na 24 uur waargenomen, welke 60 seconden blootgesteld waren aan het helium plasma. Anderen (Lacombe et al. 2015) hebben plasma op blauwe bessen toegepast om schimmelsporen en bacteriën te doden. Hier werd duidelijk effect op de microben gezien, maar ook op de bessen (verzachting en anthocyaanafbraak). De schade werd veroorzaakt door de hoge lichtsnelheden van het plasmajet systeem. In ons eigen demonstrator plasmajet systeem werd verwelking/vergeling van bladeren gezien (dragermateriaal voor de insecten), wat sterker was bij langere blootstellingsduur (10, 100 en 1000 sec).

1.7.2 Toepasbaarheid

Binnen de voedseltechnologie is de techniek nog relatief nieuw. Plasma wordt nog niet op industriële schaal toegepast, maar er worden wel duidelijke voordelen aan de techniek toegeschreven ((Misra et al. 2016b):

- Hoge anti-microbiële werking bij lage temperaturen (<50°C), wat positief is voor houdbaarheid van veel producten
- Plasma kan relatief makkelijk ter plekke gemaakt worden
- Gas heeft een diffuus karakter waardoor het veel oppervlakten kan bereiken
- Potentieel milde werking op het product
- Er is geen water of ander oplosmiddel nodig (het kan wel!)
- In principe wordt er geen residu achtergelaten (afhankelijk van omstandigheden/tijd)
- Relatief lage energie-input

Er zijn ook een paar kanttekeningen te maken (Misra et al. 2016b) :

- Vochtgehalte in de lucht is een variabele die veel impact heeft op de werking van het gas
- Niet alle producten zijn goed behandelbaar (kans op oxidatie, afhankelijk van type reactieve deeltjes in het plasma)

- Kosten van het proces zijn afhankelijk o.a. van het type gas dat gebruikt wordt. Dit kan bij edelgassen hoog oplopen. Voor medische toepassing is dit misschien mogelijk, voor voedsel is dit minder realistisch.
- Het kan zijn dat hoogspanning gebruikt moet worden voor plasmaproductie, hiervoor zijn extra veiligheidsmaatregelen nodig. Ook de afvoer van gas kan extra maatregelen vragen.

Bovenstaande voordelen maken de techniek mogelijk ook interessant voor toepassing tegen insecten of micro-organismen op gewassen in land- en tuinbouw. Op verschillende momenten in de keten zou het gebruik van plasma nuttig kunnen zijn. Voor gebruik tijdens de teelt beschrijft een recente studie van Wageningen Plant Research mogelijkheden voor toepassing van plasma-geactiveerd water via watergift of bespuitingen tegen schimmels, bacteriën en virussen (Quadvlieg et al. 2016). Hier zijn via diverse experimenten positieve resultaten geboekt. Het gebruik van plasmawater als biocide bleek goed te werken, bijvoorbeeld bij het bestrijden van bacteriën in waterbaden met bloemen via een langdurige blootstelling aan mild plasmawater. Mogelijk is de pH van het water hier ook een factor van invloed (het plasmawater had een pH van 3, wat ook al een afdodende werking kan hebben (Pers. Comm. M. Nierop Groot)). Daarnaast kunnen Fusarium en Botrytis bestreden worden (99.9%) door minimaal 15 minuten blootstelling aan sterk geactiveerd plasmawater. Ook als gewasbeschermingsmiddel heeft het infecties op plantmateriaal met 50% kunnen verminderen (Botrytis en meeldauw) mits er voldoende contact is. Voor doding van insecten zijn naar verwachting sterkere behandelingen nodig dan wat met plasma-geactiveerd water bereikt kan worden. Ons idee is dat toepassing van plasma via lucht makkelijker toe te passen zal zijn na de oogst, omdat het geogoste product in een afgesloten ruimte behandeld zou kunnen worden, wat in een open teelt of kas lastiger is. Bovendien zouden bij behandeling in de kas met plasma-lucht biologische plaagbestrijders in de kas ook kans op doding lopen.

1.7.3 Volwassenheid techniek

Toepassing van plasmagas op commerciële schaal komt binnen de voedseltechnologie nog niet voor. Op dit moment wordt er veel onderzoek gedaan naar het vinden van goede condities om maximaal effect te genereren op microbiologie en zo min mogelijk effect op productkwaliteit. Er worden drie andere grote uitdagingen benoemd door (Keener and Misra 2016): 1. Wettelijke toelating; 2. Controle en begrip van het proces tijdens de behandeling; 3. Ontwerp van de plasmabron

1.7.3.1 Wetgeving

De toelatingsprocedures om een plasma proces goedgekeurd te krijgen, waarbij voedsel direct of indirect bij betrokken is, wordt gezien als een van de grootste uitdagingen (Keener and Misra 2016). Omdat een plasmaproces niet uit 1 chemische reactie bestaat, kost het veel tijd, geld en moeite om de juiste data aan te leveren en dit te beoordelen op alle aspecten. Landen hebben allemaal eigen wetgeving wat het verder bemoeilijkt. Voor Amerika bestaat er wel wetgeving voor ozongenerators en mogelijk zou een plasmagenerator waarbij ook ozon ontstaat onder deze wetgeving kunnen vallen (FDA 2001)

1.7.3.2 Controle en begrip van het behandelproces

De precieze werking van het plasma op verschillende stadia van organismen wordt in veel toepassingen nog niet goed begrepen. De chemie van plasma is ingewikkeld met veel verschillende actieve ionen en andere stoffen die kunnen ontstaan uit de vele verschillende chemische reacties die binnen enkele seconden plaatsvinden. Deze chemie en interactie met producten is nog niet goed begrepen (Keener and Misra 2016). Daarnaast mist er een snelle, goede, gestandaardiseerde manier om de reactie, eigenschappen en intensiteit van het plasmagas goed te meten en te volgen en daarmee het effect op de behandeling te kunnen interpreteren.

1.7.3.3 Ontwikkeling van industriële schaal plasmabron

Om een grote schaal plasmabron te kunnen ontwikkelen moet er gewerkt worden aan meer begrip van de chemische processen die plaatsvinden bij het ontstaan van plasma. De kenmerken en operationele parameters van een plasmabron zijn nog niet goed gestandaardiseerd (Keener and Misra 2016). De ontwikkeling van een standaard referentie plasma bron zou een boost kunnen geven en zorgen voor harmonisatie in het werkveld (Keener and Misra 2016).

Er vinden veel ontwikkelingen plaats met betrekking tot een nieuwe plasmabron, geschikt voor continue behandelingen van diverse vormen/maten producten, tegen zo laag mogelijke kosten en veilig gebruik. Qua veiligheid voor gebruikers zijn de hoge voltages en de reactieve gassen de belangrijkste aandachtspunten. De verwachting is dat de ontwikkelingen in de toekomst zullen doorgaan, lettende op de interesse vanuit de industrie en de stijgende hoeveelheid artikelen die jaarlijks gepubliceerd wordt over dit onderwerp (Keener and Misra 2016).

1.7.4 Conclusie/discussie

Koud plasma heeft potentie als fyto-sanitaire techniek vanwege diverse eigenschappen: behandeling bij lage temperaturen, gasvorm, geen residu en het kan zonder oplosmiddel toegepast worden. De techniek staat nog in de kinderschoenen. Onderzoek naar koud plasma behandelingen met goede afdoding van de insecten zijn nog schaars en effecten op productkwaliteit zijn voor deze behandelingen nog niet goed onderzocht. De behandelingen zijn sterk afhankelijk van de behandelingsmethode/opstelling en deze zijn moeilijk vergelijkbaar en nog niet goed gestandaardiseerd. De techniek, de schaalbaarheid, de prijs zijn op dit moment uitdagingen, maar daarnaast zal wetgeving ook een grote uitdaging worden. De verwachting is wel dat de techniek nog een sterke ontwikkeling mee zal maken, mede op basis van ontwikkelingen in voedseltechnologie.

1.8 Gepulseerde elektrische velden (PEF, pulsed electric field)

(Geschreven door: Addie van der Sluis)

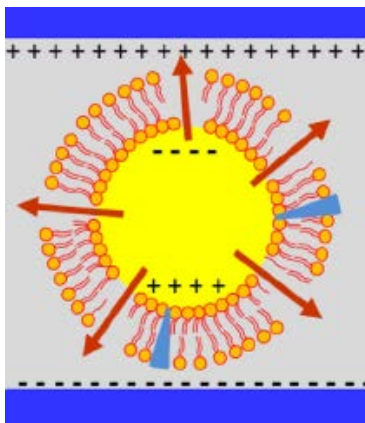
PEF is de afkorting voor Pulsed Electric Fields, dit is een elektrische methode die ook wel ingedeeld wordt bij nieuwe niet-thermische methoden of koude-pasteurisatie. Hierbij vindt membraan-elektroporatie plaats door korte pulsen met een hoog elektrisch veld. Toegepaste condities zijn bijvoorbeeld 1-100 μs , 0.1-35 kV/cm.

Al in het begin van de twintigste eeuw werden elektrische velden gebruikt om voedselproducten (zoals druivenmost en melk) te stabiliseren. Destijds werden *non-pulsed* alternerende stromingen ingezet om micro-organismen af te doden, maar deze processen hadden nog een sterk thermisch effect en waren kostbaar (Martín-Belloso and Soliva-Fortuny 2011). Inmiddels heeft de Amerikaanse Food and Drug Administration (FDA) goedkeuring gegeven voor het toepassen van pulsen met een hoog voltage (20–80 kV/cm) bij vloeibare voedingsmiddelen die verpompt kunnen worden, met als doel micro-organismen en enzymen te inactiveren (Misra et al. 2016a).

De FDA (2000) beschrijft PEF processing als volgt: het gaat over het toepassen van pulsen met een hoog voltage op voedingsmiddelen die geplaatst zijn tussen 2 elektroden. Deze pulsen kunnen op verschillende wijzen worden toegediend (pulsvorm): exponentieel vervallend, als vierkante golf, en als bipolaire of oscillerende pulsen. De temperatuur is ongeveer gelijk aan de omgevingstemperatuur en de tijdsduur korter dan 1 seconde. Dit resulteert in een minimaal energieverlies als gevolg van opwarming van het voedingsmiddel, waardoor ongewenste sensorische veranderingen beperkt worden.

Tot nu toe wordt PEF voornamelijk toegepast om de kwaliteit van voedingsmiddelen te verbeteren of te behouden. PEF kan alleen toegepast worden bij producten die bestand zijn tegen hoge elektrische velden, een lage elektrische geleidbaarheid hebben, en die geen bellen bevatten of kunnen vormen (FDA 2000).

PEF kan de vorming van openingen in de celmembranen induceren, wat leidt tot een snelle afbraak en de inductie van structurele of functionele veranderingen in de voedselmatrix (Martín-Belloso and Soliva-Fortuny 2011). Een voorbeeld van dit proces is weergegeven in Figuur 6.



Figuur 6: Werkingsmechanisme: permeabel worden van membranen en lysis van cellen.

1.8.1 Effectiviteit

Onderzoekers (Heather and Hallman 2008b) geven aan dat voor inactivatie van micro-organismen in het algemeen PEF-condities van 25–60 kV/cm nodig zijn (Barsotti and Cheftel, 1999), terwijl de Mexicaanse fruitvlieg (*Anastrepha ludens*) onder controle werd gehouden met 5 kV/cm (Hallman and Zhang 1997). De ontwikkeling van deze fruitvlieg werd geremd, net als die van de eieren en larven. Het toepassen van drie 50 s pulsen (2 kV/cm) voorkwam het ontpoppen en het ontstaan van het volwassen stadium. Eitjes waren toleranter, daar waren tien 50 s pulsen (5 kV/cm) nodig om te voorkomen dat het volgende stadium optrad (third instar). Zij (Heather and Hallman 2008b) melden

ook dat er nog veel onderzoek nodig is voordat deze techniek toegepast kan worden als commerciële fytosanitaire behandeling. Zo is er niet gekeken naar het effect van deze behandeling op de gastheer (lees groente/fruit/plant) zelf of op andere plagen aanwezig op de gastheer. Voedseltechnologen bij Wageningen Food and Biobased Research hebben eerder observaties gedaan waarbij de schil van appels duidelijk werd aangetast bij relatieve lage puls sterktes (pers. communicatie A. Matser, WFBR).

Een vergelijkbare PEF behandeling zorgde in enkele situaties voor 100% afdoding van een Nieuw-Zeelandse trips (*Thrips obscuratus*) (van Epenhuijsen et al. 2001). Er werd wat opwarming waargenomen van het water waarin de 2 min durende behandelingen werden uitgevoerd, maar de eindtemperatuur (max 30°C) was lager dan de letale temperatuur. Mogelijk werd het effect veroorzaakt door een combinatie van de intensiteit van het elektrische veld, elektro-hydraulische shock en ozonvergiftiging (Heather and Hallman 2008b).

1.8.2 Toepasbaarheid

Er bestaan inmiddels diverse industriële toepassingen, zoals:

- conservering van verse vruchtensappen
- verbetering van de extractie van suiker uit suikerbiet
- verbetering van de kwaliteit van aardappelproducten

Hierbij kunnen de celmembranen van micro-organismen, plantaardig of dierlijk weefsel permeabel gemaakt worden (ELEA). De technologie kan niet toegepast worden op producten met afgesloten luchtholtes zoals paprika (pers. communicatie A. Matser, WFBR).

Er is diverse apparatuur ontworpen voor de PEF behandeling van voedingsmiddelen op laboratorium- en pilot-schaal (zie Foto 6). Op industriële schaal gaan de ontwikkelingen nog steeds door, daarbij zijn de grootte van de behandelkamers en de stroomvoorziening aandachtspunten.



Foto 6: Apparatuur voor de PEF behandeling van voedingsmiddelen op laboratoriumschaal.

1.8.3 Volwassenheid techniek

De verwachting is dat de techniek wellicht op de lange termijn toepasbaar zal zijn. PEF is nog weinig toegepast op insecten. Er is eerst nog een *proof of principle* op insecten en plant nodig; daarvoor moet de techniek nog doorontwikkeld en verder opgeschaald worden. Bovendien moeten de behandelcondities vastgesteld worden (tijdsduur, intensiteit van de puls) voor de diverse plaag-product combinaties. De kostprijs van de benodigde apparatuur nog erg hoog, die hangt mede af van de gewenste energie-input (Misra et al. 2016a)

Interessante vraagstukken voor de toepassing van PEF in naoogstbehandelingen zijn:

- Effect op inactivatie van relatief grote organismen (nematoden, insecten)
- Effect op zaden, vruchten, bloemen

1.8.4 Conclusie/discussie

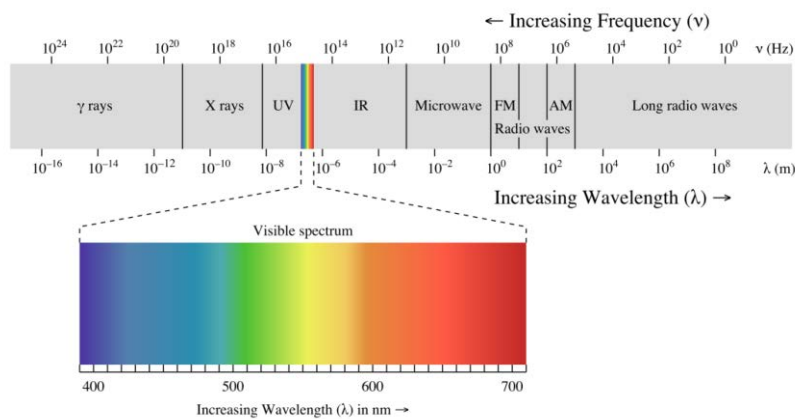
PEF technologie op industriële schaal staat nog in de kinderschoenen en er is nog weinig bewijs voor succesvolle protocollen tegen insecten met behoud van kwaliteit van het product. De vraag is of er voldoende onderscheidbaarheid is in gevoeligheid voor aantasting van de membranen tussen insect en product. Dit zou eerst onderzocht moeten worden.

2 Vision technieken voor detectie van plagen

(Geschreven door: Erik Pekkeriet, Jos Ruizendaal)

Onder vision technieken worden beeldvormende technieken bedoeld, waarmee de reflectie van producten in het zichtbare maar ook buiten het zichtbare licht gemeten worden. Naast de beeldvormende techniek kan er gebruikt gemaakt worden van spectroscopie. Dit is een (punt)-meting van licht door een product heen, de transmissie van het licht door het product. Met deze technieken is een non-destructieve controle van producten mogelijk. De beeldvormende reflectiemetingen hebben een lage penetratie in het product en kunnen met name ingezet worden voor detectie van afwijkingen aan of direct onder de oppervlakte. Met behulp van een spectroscopie (transmissiemeting) kan de interne kwaliteit van een product worden beoordeeld, om bijvoorbeeld interne defecten op te sporen.

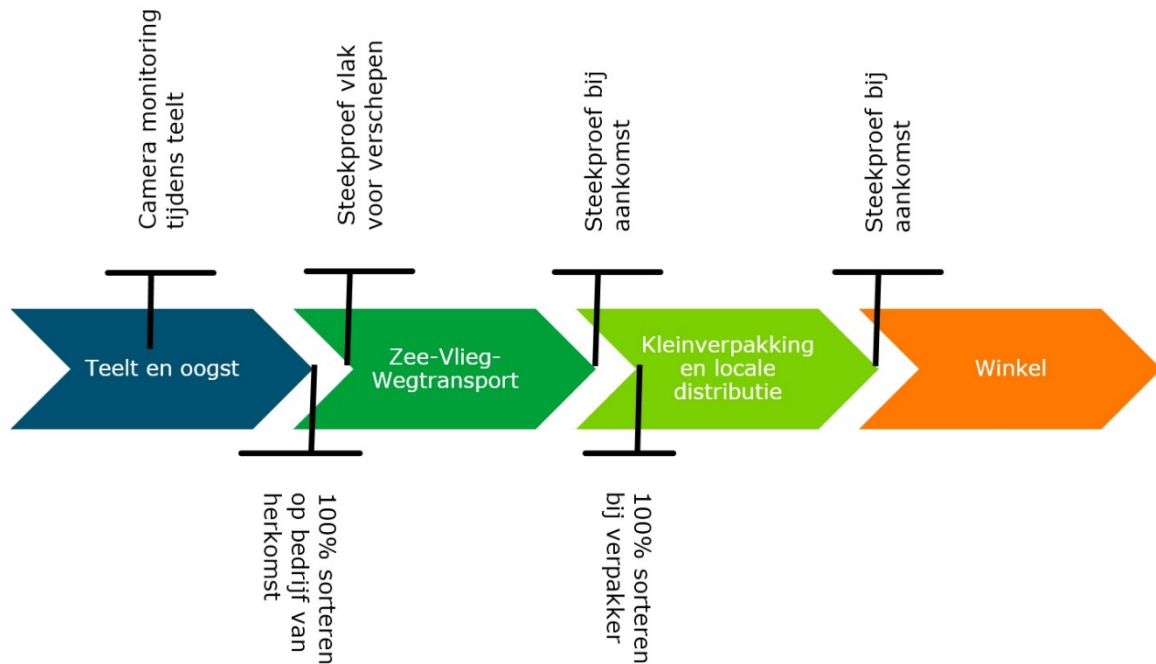
De producten kunnen gemeten worden in een brede range van golflengtes uit het elektromagnetisch spectrum. Het volledige elektromagnetische spectrum is weergegeven in Figuur 7, waarin het zichtbare licht maar een klein onderdeel is. Naast het zichtbare licht (400 – 700 nm) bevatten golflengtes buiten het zichtbare licht ook veel informatie. Voor beeldvormende vision kan gebruik gemaakt worden van RGB camera's, multispectraal- en hyperspectraalcamera's, transmissiemetingen worden uitgevoerd met een spectrofotometer.



Figuur 7: Elektromagnetisch spectrum, waaronder het zichtbare licht

2.1.1 Toepasbaarheid in de keten

Vision is een non-destructieve methode die geen invloed heeft op de kwaliteit van de producten, daarmee zijn er weinig beperkingen voor de toepassing in de keten. De techniek is snel, ongevaarlijk en milieuvriendelijk en biedt kansen voor implementatie in bestaande sorteerlijnen. De techniek kan voorafgaand aan een quarantainebehandeling worden ingezet. De schone producten kunnen gescheiden worden van de verdachte of besmette producten waarmee de quarantainebehandeling kan worden beperkt. De invloed op de productkwaliteit van de schone producten wordt hiermee beperkt. Afhankelijk van de zekerheid die een controle moet geven kan een steekproefsgewijze of 100% controle ingevoerd worden. Dit bepaald ook waar in de keten de techniek wordt ingepast, een 100% controle zal eenvoudiger toegepast kunnen worden op een sorteerlijn dan op de individuele bedrijven. Op momenten waar producten individueel kunnen worden beoordeeld, zoals in sorteerlijnen, ligt een 100% camera controle voor de hand. Bij logistieke overslag kunnen steekproefsgewijze controles een snelle indicatie geven over de aanwezigheid van afwijkingen in de partij. Een goede sorteerstap kan ingezet worden in het land van herkomst of als ingangscntrole in het land van aankomst (zie Figuur 8).



Figuur 8: Implementatiemogelijkheden voor inspectie met visionetechniek in de keten.

2.1.2 Volwassenheid techniek

Beeldvormende technieken en spectroscopie zijn al geruime tijd op de markt. Met name de kleurencamera's (RGB camera's) worden in veel industriële toepassingen ingezet. Fabrieksmatige omgevingen waarbij product, omgeving en belichting constant zijn relatief eenvoudige toepassingsgebieden. De toepassing van camera's voor controle van agrarische producten is nog minder wijdverspreid maar toch zeker niet nieuw meer. In sorteerlijnen voor groenten en fruit wordt al veel gebruik gemaakt van camerabeelden, waarbij met name kleurenbeelden worden gebruikt. De detectie van kleine afwijkingen, zowel intern als extern, zullen nog wel verder ontwikkeld moeten worden. In de huidige toepassingen wordt nog minder gebruik gemaakt van het UV, NIR of IR licht, terwijl daar vaak afwijkingen zichtbaar worden die in het zichtbare licht niet detecteerbaar zijn (Ariana and Lu 2010), (Verberne et al. 2005), (Bennedsen and Peterson 2005), (Xu et al. 2007).

Om de nauwkeurigheid en betrouwbaarheid van vision toepassingen uit te drukken wordt gebruik gemaakt van een confusion matrix, zoals weergegeven in *Figuur*. De scores in deze matrix geven een weergave van het aantal goed en foute classificaties, opgedeeld in de volgende groepen:

(TP) True positive – product geclassificeerd als positief en daadwerkelijk ook positief

(FN) False negative – product geclassificeerd als negatief maar daadwerkelijk positief

(FP) False positive – product geclassificeerd als positief maar daadwerkelijk negatief

(TN) True negative – product geclassificeerd als negatief en daadwerkelijk negatief

Bij een goed functionerend systeem hebben de TP en TN een hoge score, optimaal is 100%.

Een visionsysteem wordt getraind door middel van een trainingsset van afwijkende en goede producten die worden beoordeeld door destructieve waarnemingen door mensen of met sensoren (ground truth). Hier worden kenmerken die mogelijk iets kunnen zeggen over de afwijking eerste geïdentificeerd en omgezet in een algoritme. De algoritmen worden vervolgens getraind met behulp van machine Learning. Het ontwikkelde algoritme wordt getest op een testset om de score in een praktijksituatie te kunnen bepalen.

| | | Geclassificeerde waarde | |
|------------------------|-----|-------------------------|-----|
| | | Ja | Nee |
| Daadwerkelijk aanwezig | Nee | TP | FN |
| | Ja | FP | TN |

Figuur 9: Confusion matrix (TP = True Positive; FN = False Negative; FP = False Positive; TN = True Negative)). True betekent in deze: juist geclassificeerd.

2.2 RGB Camera

Met een RGB camera wordt een opname gemaakt in drie delen van het spectrum, in het rode, groene en blauwe gebied. Met deze drie beelden wordt een kleurenbeeld gevormd. De RGB camera's zijn geschikt voor de detectie van defecten die ook met het menselijk oog waargenomen kunnen worden. Herhaalbaarheid en objectiviteit zijn twee belangrijke redenen om te kiezen voor cameratechniek.

2.2.1 Volwassenheid

De RGB camera is al langere tijd op de markt en wordt bijvoorbeeld in sorteerlijnen al veel gebruikt voor de detectie van uiterlijke afwijkingen. In gecontroleerde of semi-gecontroleerde omgevingen, zoals een sorteerlijn, zijn er dus verschillende toepassingen. Er zijn echter nog meer toepassingsrichtingen mogelijk maar deze vragen nog verder onderzoek/investering in de verwerking van het beeldmateriaal.

2.2.2 Toepassing en effectiviteit

Voor de detectie van trips bij de bron van het eindproduct is er een studie gedaan naar de herkenning van trips op vangplaten. (Cho et al. 2007) hebben met de classificatie op basis van RGB beelden een detectie rate van 88.8% gehaald. In een vergelijkbaar onderzoek door (Espinoza et al. 2016) is voor trips een detectie rate van 92% gehaald. (Boissard et al. 2008), (Bauch and Rath 2005) hebben een detectie van witte vlieg gedaan op blad met respectievelijk 83% en 83.1% detectieresultaat. Het blad was voor de beeldopname uit de kas genomen en op het lab uitgevoerd en verwerkt. Met de detectie van insecten op vangplaten kan worden aangetoond of een partij bij het verlaten van de kweker vrij was van insecten.

2.2.3 Kosten

De kosten voor een dergelijk systeem zijn afhankelijk van de applicatie, deze heeft invloed op de benodigde resolutie en belichting. Al moet worden gedacht aan een kostprijs in de range van €2000,- tot €5000,-

2.3 Multispectraalcamera

Een multispectraalcamera neemt op meerdere golflengtes tegelijk beelden op. Deze golflengtes kunnen naast het RGB ook andere kleuren buiten het zichtbare licht bevatten (*Figuur*). Er zijn verschillende typen multispectraalcamera's op de markt beschikbaar, de camera's met een filterwiel waarbij filters voor de camera worden bewogen om de verschillende beelden op te nemen, of 'snapshot' camera's waarbij de filters direct op de chip zitten. Het voordeel van een snapshot camera is de hogere snelheid waarmee de beelden genomen kunnen worden, omdat er geen bewegend filter aanwezig is. Het nadeel is de lagere resolutie per golflengte.

In commercieel beschikbare camera's zijn 8-40 filters gemonteerd. De keuze van de filters in de camera is bij de meeste fabrikanten te configureren, dat wil zeggen dat gekozen kan worden welke golflengtes van het licht opgenomen worden en welke golflengtes er weg gefilterd worden. Door een combinatie van verschillende banden kan er een juiste configuratie gemaakt worden van golflengtes om de gewenste afwijkingen in kaart te brengen.

2.3.1 Volwassenheid

De multispectraalcamera met een filterwiel is al langere tijd commercieel beschikbaar. De toepassingen voor in de agro-food sector moeten nog verder ontwikkeld worden om in de praktijk ingezet te kunnen worden. De ontwikkeling van de zogenaamde 'snapshot' multispectraalcamera's zal hier aan bijdragen door de mogelijkheid om sneller beelden te kunnen nemen. De snapshot multispectraalcamera's zijn nog relatief nieuw op de markt en komen sinds kort van meerdere fabrikanten beschikbaar. Doordat de techniek nog relatief nieuw is, moeten er nog geïnvesteerd worden in de applicaties voor de multispectraalcamera om deze effectief in te zetten in de praktijk. Op basis van onderzoek (multi- en hyperspectraal) biedt het wel grote perspectieven voor de toekomst.

2.3.2 Toepassing en Effectiviteit

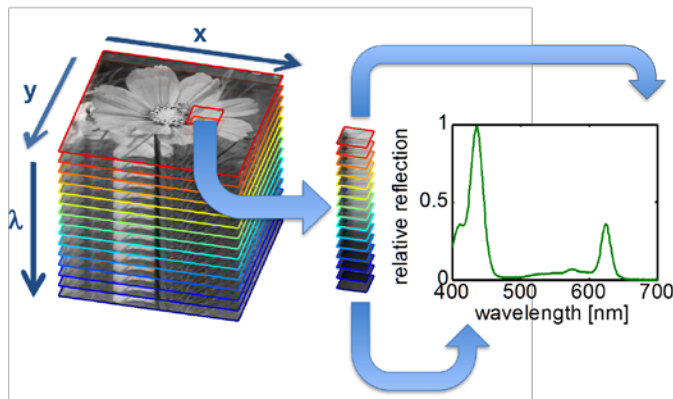
Door de juiste filters in de camera te configureren kan deze effectief voor een specifieke toepassing ingezet worden. Met een multispectraalcamera met filterwiel is o.a. onderzoek gedaan naar de detectie tripschade in chrysantenblad. De schade van de insecten was op losse bladeren in labcondities goed te classificeren van niet aangetast blad (ongepubliceerd onderzoek). In onderzoek van (Mireei et al. 2016) is gebruik gemaakt van 6 banden om tuta absoluta besmetting van tomaten te detecteren. Een classificatie van 95% van de besmette tomaten was op deze manier mogelijk en kon gescheiden worden van de 'schone' tomaten.

2.3.3 Kosten

De kosten voor een dergelijk systeem zijn afhankelijk van de applicatie maar bedragen tussen de €7500,- en €15.000,-. Hierbij speelt de gekozen filters en de keuze voor filterwiel of snapshotcamera een rol.

2.4 Hyperspectraal camera

Een hyperspectraalcamera neemt beelden met een erg grote spectrale resolutie (>100 banden) en levert daarmee meer gedetailleerde informatie dan een multispectraalcamera. Met de camera wordt een beeldlijn opgenomen van een object, en door deze over het object te verplaatsen kan het gehele object gescand worden. Door de beeldlijnen vervolgens achter elkaar te plakken ontstaat er een beeld over een groot aantal verschillende spectrale banden van het object. Een opname van een hyperspectraalcamera levert daarmee een stapel beelden op, met een grijswaardebeeld van het object per golflengte, zie Figuur 10. Ieder beeld is een weergave van het object in een klein spectraal gebied van enkele nm's. Afwijkingen in een product zijn in de meeste gevallen zichtbaar op een aantal specifieke golflengtes. Deze specifieke golflengtes kunnen dan geselecteerd worden om de afwijkingen zichtbaar te maken om de producten te sorteren.



Figuur 10: Beeldenstack van een opname met een hyperspectraalcamera.

2.4.1 Volwassenheid

Hyperspectrale camera's zijn al geruime tijd beschikbaar op de markt. In de eerste jaren lag het prijspeil van de camera nog te hoog om rendabele oplossingen in de industrie mogelijk te maken. De laatste jaren worden hyperspectraalcamera's in grotere mate ingezet. Ze worden vooral gebruikt voor de detectie van verschillende chemische componenten, zoals het scheiden van verschillende soorten plastic. De toepassing bij agrarische producten is in onderzoek.

2.4.2 Toepassing en Effectiviteit

Doordat een hyperspectrale camera een zogenoemde 'linescan' camera is, moet de camera over het object bewegen om een beeld te vormen. De techniek is relatief traag en wordt daarom veelal ingezet in onderzoek om de meest onderscheidende golflengtes te vinden. Omdat een defect vaak in enkele golflengtes het grootste onderscheidende vermogen heeft, kunnen deze golflengtes het beste ingezet worden in een te configureren multispectraalcamera.

2.4.3 Kosten

Hyperspectraalcamera voor golflengte range 400-1000nm

Detectie van defecten op specifieke golflengtes in het zichtbare en nabij infrarood licht. De kosten van een camera bedragen ongeveer €12.000,-. Hierbij moet rekening gehouden worden met de nog benodigde belichting en applicatiesoftware om de gewenste defecten te detecteren.

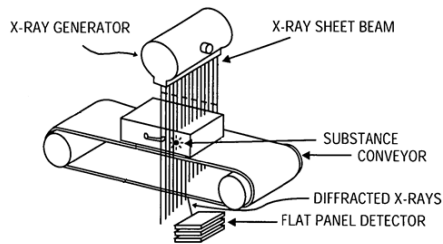
Hyperspectraalcamera voor golflengte range 900-1700nm

Detectie van defecten op specifieke golflengtes in het nabij-infrarood. De kosten van een hyperspectraalcamera in dit bereik bedragen door een duurdere InGaAs sensor ongeveer €40.000,-. Hierbij moet rekening gehouden worden met de benodigde belichting en applicatiesoftware om de gewenste defecten te detecteren.

2.5 X-ray (röntgen) techniek

X-ray is elektromagnetische straling met een golflengte tussen 1 pm (picometer) en 10 nm (nanometer). Deze band correspondeert met een hogere energie basis (124 eV (elektronvolt) tot 1240keV) dan bijvoorbeeld zichtbaar licht of ultraviolet.

Naast medische toepassingen wordt x-ray ook veelvuldig toegepast in voedselverwerking als "foreign body detection" techniek en graten-detectie in bijvoorbeeld vis. In alle gevallen is de x-ray bron aan de ene zijde van het object geplaatst en de detector aan de andere zijde. Het object wordt doorstraald. Bij industriële toepassing wordt meestal gebruik gemaakt van een lijn scan methode (figuur 11). Wanneer het product beweegt wordt de tweede dimensie verkregen. X-ray is vooral een dichtheidstechniek. Holtes en materiaaldichtheidsverschillen zijn goed waar te nemen.



Figuur 11: Lijn scan opstelling van een x-ray.

Computertomografie (meestal afgekort tot (μ)CT-scan) is een tomografische beeldverwerkingsmethode waarbij (veelal) de x-ray bron roteert rond een object en in kleine stappen beelden opneemt. Door beeldverwerking worden beelden gecombineerd tot een 3D beeld waarbij gedetailleerde inwendige kenmerken zichtbaar worden gemaakt. X-ray tomografie wordt ook wel XRT genoemd. Resoluties van 1 μ m zijn mogelijk. Het maken van een XRT scan duurt lang en het object kan meestal maar een beperkte omvang hebben. In Figuur 12 staat een voorbeeld van een 3D XRT scan van een appel, opgenomen in de XRT scanner van de Wageningen University & Research.



Figuur 12: 3D XRT scan van een appel, interne holtes zijn goed zichtbaar.

2.5.1 Volwassenheid

Over de 3D x-ray toepassing in groenten en fruit is weinig bekend. Er zijn nog geen relevante in-lijn applicaties die hoog volume producten kunnen verwerken. Toch lijkt het zinvol nader onderzoek in deze richting te verkennen. Een voorbeeldapplicatie is de detectie van het aantal en de grootte van gaten in de kaas (Foto 7) of de detectie van breuken en scheuren in houten boomstammen voordat deze verzaagd worden.

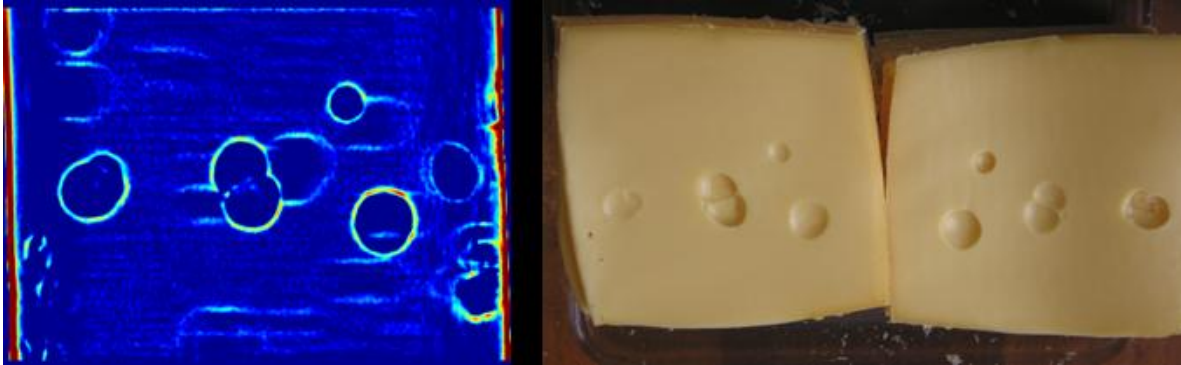


Foto 7: Detectie van holtes (ogen) in kaas door middel van x-ray.

De detectie van Q-symptomen zoals boorgangen en holtes lijken kansrijk, uit een onderzoek van (Arendse et al. 2016) blijkt dat de detectie van larven in vruchten goed mogelijk was. Voor een opschaling zal de opname en processing tijd van de techniek verbeterd moeten worden.

3 Stand van zaken voor diverse plaag-productcombinaties

3.1 Fruitmot

(Geschreven door: Herman Helsen, Kees Booij)

3.1.1 Probleemstelling

In Nederland werd in 2016 op 7300 ha appels geteeld. De oppervlakte peren was 9400 ha, waarvan 75% beplant is met Conference (CBS 2017). In het seizoen 2015/2016 werd 35% van de appeloogst en 70% van de perenoogst geëxporteerd (Groentenfruihuis). Conference is voor de export van peren de belangrijkste cultivar. Een groot deel van dit fruit gaat naar Europese landen, een klein maar toenemend deel wordt naar landen in Azië en Zuid-Amerika geëxporteerd.

De fruitmot *Cydia pomonella* is in Nederland een belangrijke plaag op appel en peer. Nederlands fruit dat bestemd is voor export, moet voldoen aan de fytosanitaire eisen van het ontvangende land. In de praktijk betekent dat voor landen buiten Europa dat tijdens teelt en na de oogst voldaan moet worden aan een reeks van eisen om te garanderen dat het te exporteren product vrij is van fruitmot. De meeste landen accepteren de invoer van fruit op basis van een systeembenadering, inclusief intensieve inspecties voorafgaand aan de export.

In dit hoofdstuk wordt de bestaande keten voor appels en peren beschreven, en de effecten die de verschillende onderdelen van de keten hebben op de kans op aanwezigheid van fruitmot in het product. Daarnaast worden een aantal potentiële, niet chemische quarantainetechnieken voor de bestrijding van fruitmot besproken.

3.1.2 Systeemaanpak

De systeembenadering maakt gebruik van het cumulatieve effect van verschillende (onafhankelijke) maatregelen in de keten, om te komen tot een passend ("appropriate") niveau van fytosanitaire bescherming. De maatregelen kunnen worden genomen op verschillende plekken in de keten. Daarbij kunnen twee fasen worden onderscheiden: 1) productie en oogst en 2) naooogst en transport. Vaak is de laatste stap een intensieve inspectie voorafgaand aan de export. In een aantal gevallen kan een derde fase aan de systeembenadering worden toegevoegd, namelijk 3) binnenkomst en distributie in het importerende land (FAO 2011).

Voor fruitmot in Nederlandse appels en peren betekent dit (fase 1 en 2):

- Een goed systeem van plaagbeheersing in de boomgaard
- Verwijderen van aangetast fruit bij de oogst
- Sterfte van het plaaginsect door de wijze van bewaring voorafgaand aan de verpakking en export
- Verwijderen van aangetast fruit bij sortering en verpakking
- Verpakken van fruit in nieuw fust
- Inspectie

Voor fruitmot wordt in uitzonderingsgevallen een specifieke quarantainebehandeling geëist (Hansen et al. 2000).

3.1.2.1 Integrale aanpak in de teeltfase

De bestrijding van fruitmot heeft in onderzoek wereldwijd veel aandacht gekregen. Er is dan ook een ruim gevulde gereedschapskist met bestrijdingstechnieken ontwikkeld (tabel 6).

Tabel 6. Beschikbare technieken voor bestrijding van fruitmot en de ontwikkelingsstadia waarop ze aangrijpen.

| | Gericht op stadium | Principe | toelichting |
|----------------------|--------------------|--|---|
| Feromoonverwarring | Vlinders | Voorkomen paring en daarmee eileg | Werkt best bij lage plaagdruk en grote percelen. Bij hoge druk aanvullende maatregelen nodig. |
| Insegar (fenoxycarb) | eieren | Indien eieren gelegd op residu, gaan rupsen dood | Toegepast kort voor eileg. Geen werking op eieren die voor de bespuiting zijn gelegd. |

| | | | |
|--|---|---------------------------------------|---|
| Granulosevirus | Jonge rupsen en enig effect op oudere ingeboorde rupsen | Rupsen nemen virus op en sterven | Toepassen voordat rupsen zich inboren. Vraagt herhaalde toepassing in periode uitkomen eieren vanwege snelle afbraak door UV. |
| Chemische larviciden (Coragen, Affirm) | Jonge rupsen | Toepassen voordat rupsen zich inboren | |
| Nematoden | Overwinterende larven in de herfst | | Nematoden hebben vocht nodig, toepassingsmoment moeilijk, toepassing duur. |

Een voorbeeld van de systeemaanpak in de teelt is de zogenaamde "gestapelde bestrijding" van fruitmot (Trapman and Helsen 2009). Feromoonverwarring werd gericht op de volwassen vlinders, een ovicide (fenoxycarb) op de eieren en een larvicide (granulosevirus) op de jonge rupsen. Het tijdstip van toepassing werd bepaald aan de hand van het RIMpro-Cydia model (Trapman et al. 2008). In situaties met een hoge druk en/of relatief zwakke insecticiden kon met een systeemaanpak een goed bestrijdingsresultaat worden behaald, hoewel de individuele componenten naar schatting slechts 50-70% effect hadden.

3.1.3 Biologie van fruitmot

3.1.3.1 Waardplanten

De fruitmot *Cydia pomonella* is een belangrijke plaag van vooral appel, peer en walnoten. Daarnaast worden verschillende soorten *Prunus* als secundaire waardplant aangemerkt. De belangrijkste waardplant is appel. Zelfs in gebieden waar zich maar één generatie fruitmot per jaar kan ontwikkelen, wordt in onbespoten boomgaarden gemiddeld 6-10% van de oogst vernietigd (MacLellan 1977). Naarmate het aantal generaties groter is, neemt de potentiële schade en daarmee het economisch belang van de plaag toe (Barnes 1991).

In de meeste jaren hebben peren minder te lijden van fruitmot dan appels. Jonge perenvruchtjes zijn weinig gevoelig voor fruitmot. Waarschijnlijk hangt dit samen met de hardheid van de vrucht, in combinatie met de vorming van steencellen op plekken waar wonden ontstaan, zodat de jonge rupsen tijdens het inboren worden ingekapseld. Vergelijkend onderzoek op appel (Elstar) en peer (Conference) liet zien dat op appel gedurende het seizoen 30 en 60% van de jonge rupsen erin slaagde om zich in de vrucht te boren. Bij peren slaagde in juni slechts 2-3% van de rupsen, maar kort voor de oogst was het aandeel succesvolle infecties op appel en peer gelijk (Helsen et al. 2012). Ook op walnoot kan fruitmot een belangrijke plaag zijn (Barnes 1991). Fruitmot kan abrikoos aantasten, maar veroorzaakt zelden economische schade. Pruimen worden genoemd als een incidentele waardplant, evenals perzik (Barnes 1991).

3.1.3.2 Verspreiding

In de loop van de 18^{de} en 19^{de} eeuw heeft de fruitmot zich met de teelt van appels en peren over de wereld verspreid. Nu komt de fruitmot in de gematigde klimaatzone in de meeste teeltgebieden van appel en peer voor (Barnes 1991), maar niet in Zuid Korea en Japan (Kumar et al. 2015). In Zuid-Brazilië werd fruitmot voor het eerst aangetroffen in 1991. Na een intensieve bestrijdingscampagne verklaarde de Braziliaanse regering het land in 2014 weer vrij van fruitmot (Kovalevski et al.). In de tropen, tussen de 20^{ste} breedtegraad ten noorden en zuiden van de evenaar, komt de soort niet voor. Dit hangt samen met de korte daglengte, waardoor de volgroeide rupsen in winterrust gaan, in combinatie met een gebrek aan lage temperaturen die nodig zijn om die winterrust te doorbreken (Kumar et al. 2015).

3.1.3.3 Levenscyclus in Nederland

De fruitmot overwintert als volgroeide rups in een gesponnen cocon, meest achter de schors of in oneffenheden op de stam van de boom. De rupsen verpoppen zich in de loop van het voorjaar en in de periode mei-juni verschijnen de vlinders (Trapman et al. 2008). De piek van de eerste vlucht is meest in juni, met een uitloop naar juli.

Paring vindt plaats in de avond op of dicht bij de waardplant. De vrouwtjes produceren een vluchtig seksferomoon dat de mannetjes lokt. Bij de oriëntatie maken de mannetjes ook gebruik van geuren die door de waardplant worden gemaakt. In de vroege avond, al voordat de wijfjes beginnen te lokken, vliegen mannetjes actief rond de bomen (Witzgall et al. 2008).

Het wijfje legt haar eieren individueel op bladeren in de buurt van vruchten of rechtstreeks op de vruchten. Blago (Blago and Dickler 1990) vond in Duitsland dat van de eieren van de eerste generatie 84-91% op de bladeren werd gelegd. Bij de tweede generatie was dat 51-61%. In onderzoek in Zuid Afrika was het aandeel eieren op de bladeren nog hoger (Blomefield et al. 1997).

Het wijfje oriënteert zich daarbij op geuren van de waardplant. De meeste eieren op bladeren liggen op minder dan 6 cm van de vruchten (Blomefield et al. 1997). Op bomen met veel vruchten worden meer eieren gelegd, dan op bomen met weinig vruchten. Eileg vindt plaats in de avond bij temperaturen vanaf 15°C. Warmere avonden leiden tot meer eileg (Trapman et al. 2008).

Afhankelijk van de temperatuur komen de eieren na 10-14 dagen uit. Op appel maken de jonge larven eerst een kleine holte vlak onder de schil. Op rassen met een lichtgekleurde schil ontstaat dan vaak typerende rode ring rond de aangetaste plek. Na enkele dagen boren de larven zich dieper in de vrucht, en vreten ze zich een weg naar de pitten. De uitgevreten holte raakt daarbij gevuld met uitwerpselen.

De rups doorloopt 5 larvale stadia. Het vijfde stadium verlaat de vrucht en spint een zijden cocon. De dieren die niet in winterrust gaan (zie onder) verpoppen zich na inspinnen. Rupsen die onder korte daglengten zijn gegroeid, gaan in winterrust en verpoppen pas na de winter.

In Nederland ontwikkelt de fruitmot één volledige generatie en in warme jaren ontstaat een gedeeltelijke tweede generatie. Of een tweede generatie ontstaat, is afhankelijk van de temperatuur in de eerste helft van het jaar. Rupsen van de eerste generatie die voor half juli ver genoeg zijn ontwikkeld, verpoppen zich nog hetzelfde seizoen en hieruit ontstaan in augustus vlinders. De rupsen die uit deze generatie vlinders ontstaan, raken niet meer volgroeid voor het einde van het seizoen. Ze zijn daardoor niet in staat om succesvol te overwinteren en dragen dan ook niet bij aan de populatie van het volgende seizoen. Ze kunnen in sommige jaren wel voor veel schade zorgen.

3.1.4 Oogst en bewaring van appels en peren in Nederland

De meeste appels en peren worden tijdens de oogst direct in houten of kunststof voorraadkisten (met 300-400 kg fruit per kist) gelegd. Deze kisten worden op de dag van oogsten in een koelcel geplaatst en zo snel mogelijk naar de streef temperatuur voor lange bewaring gekoeld. Binnen enkele dagen bereiken de vruchten de uiteindelijke bewaartemperatuur.

Conference peren worden bewaard bij een temperatuur van $-0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$. In de eerste 6 weken wordt bewaard bij gewone lucht. Vervolgens gaat het gehalte O_2 naar 3% en CO_2 naar 0.7%. In oudere bewaarcellen worden de peren soms in plastic ingepakt om ze tegen uitdrogen te beschermen. In moderne bewaarcellen kan de luchtvochtigheid worden geregeld, en is inhullen in plastic niet meer nodig.

Appels worden bij iets hogere temperatuur bewaard. Bij onder meer Elstar, Jonagold en Golden Delicious wordt een temperatuur van $1.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ aangehouden. Bij ULO-bewaring (Ultra Low Oxygen) wordt het O_2 gehalte na inslag snel naar 6% gebracht. Vervolgens wordt in 1 tot 2 weken teruggebracht tot 1.2%. Bij DCS-bewaring (Dynamic Control System) is het O_2 gehalte nog lager: 0.4-0.5%. Sommige cultivars worden bij hogere temperatuur bewaard. Voor Kanzi wordt een bewaartemperatuur van $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ gebruikt.

Sortering vindt plaats na bewaring. Bij peren wordt een paar dagen voor sortering de temperatuur verhoogd tot $4\text{ }^{\circ}\text{C}$. Te koude peren zijn namelijk gevoelig voor beschadiging tijdens het sorteerproces. Vruchten die bestemd zijn voor export worden na sortering verpakt in nieuwe, schone dozen. Onmiddellijk na sortering wordt weer gekoeld. Ook tijdens het transport naar de exportmarkten wordt gekoeld. Een deel van het fruit wordt direct na de oogst geëxporteerd.

3.1.5 Fytosanitaire veiligheid

Wat is het belang van de verschillende ontwikkelingsstadia van de fruitmot met betrekking tot fytosanitaire veiligheid en wetgeving bij de internationale handel van appels en peren?

- Eieren kunnen zich op de schil van de geoogste vrucht bevinden. In Nederland zal dit vrijwel uitsluitend het geval zijn in jaren met een tweede vlucht. Tijdens de eerste vlucht worden eieren voornamelijk op het blad afgezet (zie boven) en bovendien eindigt de eerste vlucht meestal in juli, ruimschoots voor de oogst. Eieren van fruitmot ontwikkelen zich niet bij temperaturen onder $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ en zullen zich dus op gekoeld fruit niet tot larven kunnen ontwikkelen.
- Rupsen kunnen zich in de vrucht bevinden. deel van hun ontwikkeling nog in
- Actieve rupsen in het vijfde stadium kunnen zich nog enige tijd in de vrucht bevinden, maar op enig moment verlaten ze de vrucht. Daarbij moet een onderscheid worden gemaakt tussen rupsen die direct verpoppen en rupsen die in winterrust gaan. De laatste groep spint een cocon, maar verpopt niet. Volgroeide rupsen in winterrust zijn zeer persistent en kunnen langdurige bewaring bij lage temperatuur en CA-condities overleven (Soderstrom et al. 1990), (Hansen et al. 2007). Maar wanneer fruit na bewaring wordt gesorteerd en verpakt in nieuw, schoon fust, zullen de rupsen achterblijven in het oude fust. Eventuele vruchten met rupsen in het vijfde stadium zullen grove, opvallende schade hebben, en de sortering niet passeren.
- Er zijn uit de literatuur geen meldingen dat poppen in de vruchten werden aangetroffen. Wanneer fruit na bewaring wordt gesorteerd en verpakt in nieuw, schoon fust, zullen eventuele poppen achterblijven in het oude fust.
- Vlinders van fruitmot zijn sterk gebonden aan de boomgaard en worden in de na-oogstfase nooit op het product aangetroffen. Aanwezige vlinders zouden het sorteerproces, waarbij gebruikt gemaakt wordt van transport in water, niet overleven.

Samengevat spelen vanuit fytosanitair perspectief rupsen, en in mindere mate eieren, een rol.

3.1.6 Beheersmaatregelen na de oogst

3.1.6.1 Effect van gekoelde bewaring op de overleving van fruitmot

De gekoelde bewaring van appels en peren beïnvloedt de overleving van eieren en larven van de fruitmot op en in het fruit. Bij een temperatuur van 2.2 °C overleven eieren op vruchten minder dan 5 weken (Hansen et al. 2000), zie tabel 7. Eerder onderzoek van Moffitt & Burditt (1989) gaf vergelijkbare resultaten bij iets lagere temperaturen (0.1 – 2.1 °C).

Tabel 7. Overleving van fruitmoteieren op appels bij bewaring bij 2.2 °C (geen CA). Gemiddelden van wekelijkse observaties op 6 appelcultivars met circa 4000 eieren (Hansen et al. 2000).

| Weken bij 2.2 °C | % overlevende eieren |
|------------------|----------------------|
| Controle (0) | 81.7 |
| 1 | 64.8 |
| 2 | 31.1 |
| 3 | 6.1 |
| 4 | 0.1 |
| 5 | 0.0 |
| 6 | 0.0 |

Ook larven hebben te lijden van de lage bewaartemperaturen. In uitgebreide proeven van Hansen (2007) overleefden rupsen in het vierde larvenstadium maximaal 11 weken bij 1.1 °C, na drie weken was ongeveer de helft van de rupsen dood (tabel 8). Bij fruitmot wordt het vierde larvenstadium meestal beschouwd als het stadium dat het meest resistent is tegen koude, met uitzondering van volgroeide rupsen in winterrust. Wanneer rupsen eenmaal de overwinteringsfase hebben bereikt, zijn ze weinig gevoelig voor koude (tabel 7). Deze dieren hebben ook weinig te lijden van de aangepast zuurstof- en kooldioxide-concentraties zoals die bij de gangbare CA-regimes ("ULO-bewaring") worden toegepast (Neven et al. 2014).

Tabel 8. Percentuele overleving van actieve L4 rupsen in appels cv. Fuji en volgroeide L5 rupsen in winterrust die werden bewaard bij 1.1 °C (Hansen et al. 2007).

| weken | L4 (niet-winterrust) | Volgroeide (L5) larven in winterrust |
|-------|----------------------|--------------------------------------|
| 0 | 96 | 99 |
| 3 | 54 | 84 |
| 5 | 20 | 89 |
| 7 | 9 | 82 |
| 9 | 3 | 75 |
| 11 | 3 | 67 |
| 12 | 0 | waarnemingen gestopt |
| 13 | 0 | |

Conclusie gekoelde bewaring. De gekoelde bewaring van fruit beïnvloedt de overleving van verschillende levensstadia van de fruitmot en is dus een potentiële component van de systeembenadering. Alleen volgroeide rupsen in winterrust lijden weinig van langdurige bewaring bij lage temperaturen (Neven 1999). Het metabolisme van deze rupsen is op een zeer laag niveau. Hierdoor zijn ze in staat om ook de lage O₂-niveaus en hoge CO₂-niveaus, zoals die gangbaar zijn bij CA-bewaring, te overleven (Moffitt and Albano 1972). Twee aspecten verminderen het fytosanitaire belang van zulke rupsen:

- Voordat rupsen een winterspinsel maken, verlaten ze de vrucht. Als vruchten na bewaring, maar voorafgaand aan export, worden gesorteerd en verpakt in nieuw fust, zullen de overwinterende rupsen merendeels achterblijven in het oude fust.
- Vruchten die zijn aangetast door grote rupsen, zullen grove, opvallende schade hebben en tijdens het sorteerproces veelal gedetecteerd en verwijderd worden. In algemene zin geldt: hoe groter de rups, des te opvallender de schade en daarmee de kans op detectie tijdens het sortering.

3.1.6.2 Verbeterde detectie van fruitmot na de oogst

Zoals in het vorige hoofdstuk al is aangegeven zal het toepassen van goede beheersmaatregelen tijdens de teelt het risico sterk kunnen verminderen, terwijl ook duidelijk is dat de overlevingskans van eieren en larven tijdens de koude bewaring met ULO minimaal is. Een verbeterde sorteertechniek, waarbij door fruitmot aangetaste vruchten automatisch kunnen worden herkend en verwijderd, verkleint de kans op fruitmot in het eindproduct verder.

Hansen (2006) toonde aan dat fruitmotlarven in vruchten kunnen worden gedetecteerd met X-ray. In hetzelfde onderzoek konden met CT-scanning fruitmotlarven in kersen worden gedetecteerd. Maar zowel bij X-ray als bij CT-scanning is de verwerkingssnelheid en de mogelijkheid tot opschaling vaak een probleem.

Uit onderzoek met mango's die waren besmet met boorvliegen, is gebleken dat er op basis van hyperspectrale beelden een scheiding mogelijk is tussen besmette en niet-besmette vruchten (Saranwong et al. 2010). Ook de eerste proeven met fruitmot op appel geven veelbelovende resultaten. Door met hyperspectraalcamera's in het gebied van VNIR (visible and near-infrared) en NIR (near-infrared) de reflectie of transmissie van licht te meten, kon een onderscheid worden gemaakt tussen gave vruchten en vruchten die waren aangetast door fruitmot (dit project). Voordeel van de hyperspectraaltechniek is dat deze zeer snel is en in potentie kan worden toegepast in bestaande sorteerlijnen.

3.1.6.3 CATT en CATT+

Als quarantainemaatregel is de toepassing van *controlled atmosphere* al vele jaren in onderzoek. Het zoeken naar een balans met temperatuur, CO₂-gehalte en O₂-gehalte waarbij fruitmot gedood wordt en de vruchtkwaliteit goed blijft is de laatste jaren in een stroomversnelling gekomen, met name door het onderzoek van de groep van Neven (Neven and Hansen 2010, Neven et al. 2014). Gebruikmakend van het verschil in stressrespons van plaag en vruchten werd door Neven et al (2017) een goed resultaat bereikt met een zo snel mogelijke opwarming in combinatie met laag O₂ en hoog CO₂. Deze vorm van High Speed CATT is relatief nieuw, maar voor een aantal Noord-Amerikaanse cultivars al zo ver uitgewerkt dat de techniek op praktijkschaal zou kunnen worden toegepast tegen alle niet-diapauze stadia van de fruitmot (Neven et al. 2006, Neven 2008). Amerikaans onderzoek laat zien dat de kwaliteit van het fruit het minst van de behandeling te lijden heeft als die direct na de oogst wordt uitgevoerd (Neven, pers. mededeling). In het lopende Phytotech-project wordt onderzocht hoe de belangrijkste Nederlandse cultivars op de behandeling reageren en of behandeling na bewaring nog mogelijk is.

3.1.6.4 Radiofrequentie- en magnetronstraling

In de zoektocht naar een snelle opwarmmethode is ook onderzoek gedaan naar de mogelijkheid om radio- en magnetrongolven te gebruiken. Vanuit de voedingsindustrie zijn er talloze toepassingen in deze sfeer tegen bacteriën met behoud van productkwaliteit. Voor fruitmot is dit zowel theoretisch als praktisch onderzocht door Tang (2000). Op basis van dit onderzoek is er theoretisch perspectief en dit is voor fruitmot in walnoten verder uitgewerkt. Ikediala en collega's (2002) ontwikkelden een methode om met radiogolven fruitmotlarven in kersen te bestrijden. Hun probleem was dat de kersen schade opliepen door oververhitting op de plekken waar ze in contact kwamen met de containers, of met andere vruchten. Door de kersen tijdens de behandeling in zout water te dompelen, werd dit probleem opgelost. Een behandeling van 5 minuten bij 50 °C gaf een volledige bestrijding fruitmot, terwijl de kwaliteit van de kersen na behandeling vergelijkbaar was met kersen die met methylbromide waren behandeld.

Volgens Neven (pers. mededeling) veroorzaakt opwarming met deze vormen van straling echter te snel oppervlakkige schade bij appel en peer. Ander onderzoek (Wang et al. 2006) suggereert dat effectiviteit en behoud van kwaliteit haalbaar zijn. In beide gevallen lijkt echter opschaling voor homogene behandeling van grotere partijen een bottleneck.

3.1.6.5 Gammastraling

Het gebruik van gammastraling is een bekende techniek om allerlei producten vrij te maken van zowel micro-organismen als van insecten. De toelating als quarantaine techniek is vooralsnog niet erg kansrijk in Nederland en Europa omdat het gebruik van "straling" bij het grote publiek gevoelig ligt, waardoor bedrijven huiverig zijn om deze techniek te introduceren. De toepassingsmogelijkheden tegen insecten verse producten zijn echter legio daar veel insecten gevoelig zijn en bij de juiste toepassing (lage doses) productschade meestal gering of afwezig is. Voor fruitmot is de toepassing in onderzoek effectief gebleken tegen alle stadia bij doses van 150-200 Gy (Mansour 2003). Bij deze doses wordt ook de vruchtkwaliteit niet beïnvloed. In de USA is de techniek voor commerciële schaal beschikbaar en wordt al voor diverse insecten in vruchten toegepast.

3.1.6.6 Lage luchtdruk/lage temperatuur

De mogelijkheid om insecten te doden door blootstelling aan lage luchtdruk is lang bekend maar pas recent is deze toepassing in combinatie met lage temperatuur getest als quarantainemaatregel tegen de fruitmot (Jiao et al. 2013). Door langdurige blootstelling (12 dagen bij 10 °C en 1.33 kPa bij bijna verzadigde luchtvochtigheid) gaan vrijwel alle eieren, larven en poppen dood, terwijl de vruchtkwaliteit (bij Golden Delicious) goed blijft. De resultaten laten zien dat larven in het vijfde stadium het meest tolerant zijn.

Om de behandeling in te passen in de keten zou mogelijk met nog lagere temperaturen (en verlaagd zuurstof) gewerkt moeten worden. Het (additionele) effect van lage druk bij deze omstandigheden is echter niet getest. Ook de technische beperkingen en opschalingsmogelijkheden zijn nog onbekend.

3.2 Californische trips – chrysanth/paprika

(Geschreven door: Kees Booi)

In de sierteelt komen verschillende soorten trips voor waarvan de Californische trips (*Frankliniella occidentalis*) de meest belangrijke is omdat deze soort veel gewassen kan aantasten, een hoge reproductie heeft, resistentie vertoont tegen meerdere gewasbeschermingsmiddelen en een de aanwezigheid in partijen een obstakel vormt voor de export. Naast deze soort kunnen ook andere soorten problemen veroorzaken zowel in de beschermde als in de buitenteelt. Infecties tussen diverse teelten en van buiten naar binnen komen veelvuldig voor. Hierdoor is het moeilijk een teelt echt schoon te houden en zijn beheersingsmaatregelen heel vaak noodzakelijk. Met name in de chrysantheenteelt vormt trips een serieus probleem.

3.2.1 Levens cyclus en systeemaanpak

Tripsen zijn kleine (ca 1 mm grote), vaak moeilijk zichtbare insecten die op bladeren en in bloemen kunnen leven waar ze parenchymcellen leegzuigen en ook leven van stuifmeel. Schade is vaak cosmetisch (verkleuring) maar ook kunnen er vergroeiingen optreden en groeivertraging. Secundaire schade kan ontstaan doordat tripsen ook virus kunnen overdragen.

De vrouwtjes kunnen 100-200 eieren leggen in het blad die vaak binnen een paar dagen uitkomen. De zeer beweeglijke larven hebben een vergelijkbare levenswijze als de larven en veroorzaken vergelijkbare schade. De ontwikkeling verloopt bij hoge temperaturen snel (ca. 1 week) waarna de meeste larven op de grond vallen waar ze zich verpoppen. Bij 30 graden kan de hele levenscyclus in 10 dagen rond zijn. Op deze manier kunnen zich per seizoen meerdere generaties ontwikkelen. In de teelt kunnen de populaties zich daardoor explosief ontwikkelen als de bestrijding niet afdoende is.

Opbouw van trips populaties kan alleen voorkomen worden wanneer de bestrijding vanaf het begin van de teelt voldoende wordt aangepakt. Bij onvoldoende bestrijding kan de schade daardoor groot zijn. Californische trips is ondertussen resistent tegen meerdere chemische middelen zodat andere complementaire maatregelen noodzakelijk zijn. Een systeemaanpak in de keten is daarbij een logische stap.

3.2.1.1 Beheersing in de productie en in de oogst fase

Om tot een schoon trips-vrij product te komen is het nodig dat er vanaf begin tot eind zoveel mogelijk geïntegreerd gewerkt wordt waarbij schoon werken, monitoren, en toepassing van chemische en biologische beheersingsmaatregelen gedurende de hele productieketen worden ingezet.

Geïntegreerde aanpak is nog steeds moeilijk omdat alle maatregelen als een puzzel moeten aansluiten om ook andere plagen zoals spint en luis onder controle te houden en waarbij biologische en chemische bestrijding op elkaar afgestemd dienen te worden.

Primair voor IPM is dat er schoon gewerkt moet worden waarbij het uitgangsmateriaal zo vrij mogelijk moet zijn van trips, er zo min mogelijk onkruid aanwezig is waarop trips kan overleven en waar zo mogelijk infectie van buitenaf verminderd wordt door fijn insectengaas boven de luchtramen. In diverse teelten en ook in chrysanth kunnen vangplaten de verspreiding en de populaties beperken evenals het afdekken van de grond waardoor het voor de larven de verpopingsmogelijkheden sterk worden beperkt,

Hoewel gewasresistentie tegen trips bekend is, is dit vooralsnog niet echt bruikbaar voor de praktijk omdat het assortiment steeds verandert, divers is en afgestemd is op andere kwaliteitskenmerken van de plant.

Binnen de geïntegreerde teelt wordt vaak gebruik gemaakt van biologische bestrijding waarbij roodmijten (*Amblyseius* soorten) en roofwantsen kunnen worden ingezet. Soms worden ook entomopathogene schimmels en aaltjes ingezet. Het gehele pakket draagt bij aan de bestrijding, maar zeker in de warme perioden van het jaar is dat onvoldoende om de trips op laag niveau te houden en om het trips-vrij te krijgen voor de export.

3.2.2 Beheers- en quarantainemaatregelen na oogst.

Tot nu toe lukt het de bloemen sector dankzij geïntegreerde en nog steeds beschikbare chemische behandeling chrysanthen voor export zo goed als trips-vrij te houden. Gaan er echter meer middelen

wegvallen uit het pakket en worden tripsen resistenter dan zullen de problemen met de export toenemen. Om duurzamere oplossingen te vinden en de toekomstige export te kunnen garanderen is het belangrijk om alternatieve en nieuwe bestrijdingstechnieken te zoeken.

Om een up-to-date beeld van potentiële bestrijdingsmogelijkheden te krijgen is een uitgebreide literatuurstudie gedaan waarbij voornamelijk via de Scopus literatuurdatabase is gezocht naar de meest recente literatuur. Hiervoor zijn combinaties van de volgende trefwoorden gebruikt: thrips or frankliniella postharvest, control methods, techniques, mortality, export, quarantine, flowers or chrysanthemum, controlled atmospheres or essential oils.

Verreweg de meeste gevonden literatuur betrof onderzoek aan *Frankliniella occidentalis*, maar ook onderzoek aan andere Thrips soorten zoals *Thrips tabaci* is getoetst op bruikbaarheid. Helaas kwamen uit deze literatuursearch voor trips bestrijding weinig nieuwe (niet-chemische) methoden > ook recente onderzoek bouwt voort of verfijnt bestaande technieken zoals gamma-straling, varianten van warmtebehandeling en CATT, en het gebruik van essentiële oliën.

3.2.2.1 CATT

Controlled atmosphere temperature treatment (CATT) omvat allerlei methoden waarbij de luchtsamenstelling wordt veranderd in combinatie met een lage of hoge temperatuur met als doel planten en plantproducten plaag en ziektevrij te krijgen. Zowel in Nederland als in het buitenland is uitgebreid onderzoek gedaan naar het effect van CATT condities op de afdoding van trips eieren, larven en adulten. Omdat lage temperaturen (boven 0 graden) op trips weinig effect hebben wordt bij deze trips vrijwel altijd onderzoek gedaan naar een combinatie van hoge temperatuur met hoge CO₂ gehalten en lage zuurstof gehalten. In de periode 2014-2017 zijn in het Phytotec project met *Frankliniella* en *Chrysanth* veel proeven gedaan op zowel lab- als praktijkschaal.

Bij voor planten weinig schadelijke condities kunnen vrij eenvoudig bestrijdingsniveaus van 50-80 % bereikt worden, maar de condities waar de afdoding van trips 100% nadert ligt in een kleine range waar planten ook al snel teveel schade hebben. Met name de lange blootstelling aan hoge temperatuur vermindert de plant/bloemkwaliteit (proeven WUR-PSG en WUR-FBR).

Om de techniek te verbeteren wordt gezocht naar snellere methoden van opwarming en O₂/CO₂ verhoudingen. De benadering waarbij wordt aangenomen dat insecten door hoge CO₂, lage O₂ en hoge temperatuur het loodje leggen lijkt te eenvoudig. Door beter naar de fysiologische reactie van het insect en plant te kijken is het mogelijk te zoeken naar een optimale set van condities voor hoge afdoding en behoud van plantkwaliteit (Neven ...). Planten lijken daarbij het beter bestand tegen een korte snelle opwarming dan insecten die juist minder gevoelig zijn voor een langdurige maar trage opwarming tot temperaturen rond 40 graden. Planten zijn ook minder gevoelig voor hoge CO₂ condities en lage O₂ condities dan insecten. Het lijkt waarschijnlijk dat insecten door stilstand van het metabolisme (laag O₂ en hoge temperatuur) doodgaan of door een onbalans in O₂-CO₂ ratio. Hoe de response van het insect precies verloopt is onduidelijk, maar in iedere geval lijkt een snelle opwarming een heel lage O₂ (<1%) een hoge CO₂ (>50%) vaak fataal.

Hoge temperaturen versterken de effectiviteit van hoog CO₂, maar ook bij lagere temperatuur is voor veel tripssoorten een hoog percentage CO₂ (60%) afdoende om binnen enkele uren 100% sterfte de volwassen trips te veroorzaken (Seki and Murai 2012). Zij geven echter wel aan dat in andere studies een langduriger behandeling voor trips vaak nodig bleek. Daarom is er maatwerk nodig voor elke gewas-trips combinatie afhankelijk. Ook de afdoding van eieren en larven kan verschillen.

3.2.2.2 Gamma straling

Voor gamma straling zijn in de literatuur geen toepassingen gevonden tegen trips op bloemen maar wel tegen *F.schultzei* op fruit. De ruime ervaring met gamma straling tegen organismen had al aangetoond dat de kwaliteit van fruit over het algemeen weinig lijdt onder stralingsdoses die wel dodelijk zijn voor insecten. In iedere geval bleken acceptabele doses van 250-400 grays 100 % effectief tegen trips op fruit (Yalemar et al. 2001). De Nederlandse bloemensector is evenwel terughoudend om gamma straling te gaan gebruiken o.a vanwege het imago van straling in het algemeen bij consumenten.

3.2.2.3 Etherische olie.

Van plantaardig etherische olie (essential oils) wordt verondersteld dat ze bij gebruik weinig risico opleveren voor mens en milieu, hoewel er voor de toepassing als gewasbeschermingsmiddel wel toelating moet zijn. Hoewel ze van oudsher gebruik worden als middel tegen insecten en schimmels is er weinig bekend over de werkelijke effectiviteit en zijn ook nevenwerkingen (zoals fytoxiciteit) beperkt onderzocht. In een systematische studie van (Cloyd et al. 2009) is een groot aantal van deze oliën onderzocht op effectiviteit tegen verschillende insecten. In deze studie bleken vele oliën niet

effectief te zijn tegen trips en vaak fytotoxisch. Bij een studie van (Pumnuan and Insung 2016) bleken olien van kruidnagel, kaneel en citroengras effectief tegen *F. schultzei* (> 85 % mortaliteit). In een eerdere studie (Pumnuan et al. 2015) bleek dat de kwaliteit van bijvoorbeeld *Dendrobium* bloemen bij deze behandelingen goed bleef.

Veelal worden ook losse componenten van etherische olie getest op effectiviteit. Zo werden door van (Epenhuijsen et al. 2008) enkele componenten redelijk effectief bevonden op hun werking tegen *F. occidentalis* in chrysant. Ook werden door (Peneder and Koschier 2011) en beperkte effecten gevonden van thymol en carvacrol. Vergelijkbare resultaten voor het effect van de deze stoffen op trips werden verkregen door Erler en Tunc 2005 (Erler and Tunç 2005) zonder dat er fytotoxiciteit op trad. De werking van etherische oliën is echter zelden voldoende voor 100% afdoding maar kan mogelijk in combinatie met bijvoorbeeld milde vormen CATT wellicht effectief genoeg zijn (Janmaat et al. 2002).

Een systematische test van het effect van 13 etherische olien op *F. occidentalis*, *T. tabaci* en *T. simplex* uitgevoerd bij PSG (de Kogel et al. gepubliceerd?) waarbij de toepassing van oa. Eucalyptusolie en Marjoraan olie, en rozemarijn olie goede afdoding gaf na 3 dagen blootstelling bij 20-25oC. Ook blijken sommige andere oliën (carvacrol, Artemisia en Eucalyptus een afstotende werking te hebben.

3.2.2.4 Plasma.

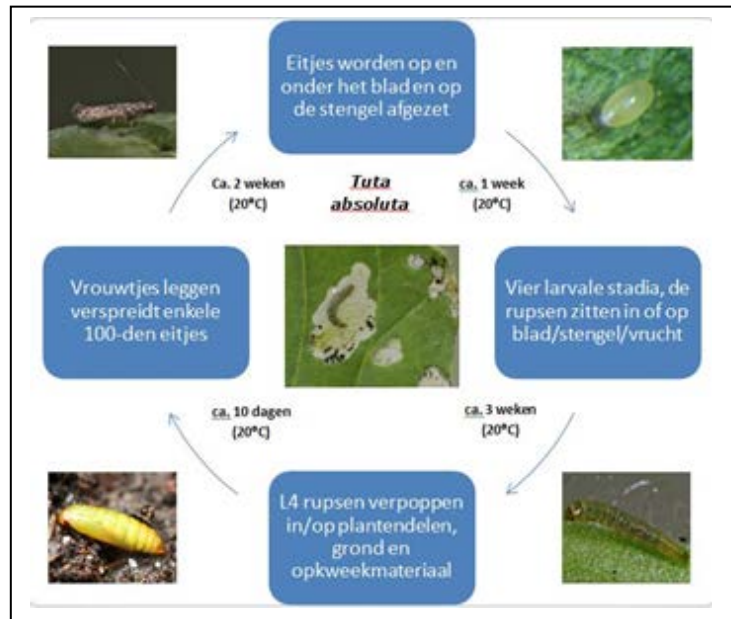
Toepassing van helium plasma (ge-ioniseerd gas) is een voor insectenafdoding nog weinig onderzochte techniek. In kleinschalige opstellingen treedt bij korte blootstelling en hoge temperatuur veel mortaliteit op bij *T. occidentalis* (Donohue et al. 2006, 2008). De mogelijkheid tot praktische gebruik en het effect op plant kwaliteit zijn echter niet duidelijk. Vooral nog lijkt het toepassingsperspectief beperkt

3.3 Tuta absoluta – Tomaat

(Geschreven door: Klaas van Rozen)

3.3.1 Probleem beschrijving

De tomatenmineermot (*Tuta absoluta*; Familie Gelechiidae, Lepidoptera) is wereldwijd een probleem in tomaten. In de warmere streken in zowel de gesloten als open teeltsystemen, in de koelere streken in de gesloten teelt. *T. absoluta* is een quarantaine (Q) plaag van tomaten uit Algerije, Chili, Frankrijk, Italië, Marokko en Spanje voor import in de Verenigde Staten (Barkai-Golan and Follett 2017). Dit geldt ook voor Nederland. De export van cherry- en trostomaten van Nederland naar de VS is *T. absoluta* afgenomen van 6168 ton in 2005 naar 383 ton in 2012. In 2017 levert geen enkel Nederlands bedrijf meer tomaten aan de VS door te hoge investerings- en controlekosten om aan de exportvoorwaarden te voldoen. Dit was voor de sector de reden om onderzoek naar CATT en deze plaag-product combinatie uit te voeren. In China is *T. absoluta* op dit moment niet gemeld als Q-organisme, maar voor dit land geldt op dit moment nog een invoerverbod van tomaten uit Nederland vanwege het voorkomen van de middellandse-zeevlieg (*Ceratitis capitata* in Europa). Er zijn wel gesprekken gestart met China om dit invoerverbod op te heffen. Dit zelfde invoerverbod geldt ook in Japan, maar op basis van een bilateraal protocol kan Nederland tomaten exporteren naar Japan. In Japan is *T. absoluta* gereguleerd als quarantaine organisme; aangezien deze soort alleen tomaat als waardplant heeft gelden er alleen voor tomaat strikte export eisen. Nederland moet garanderen dat de tomaten vrij zijn van *Tuta absoluta* en doet dat o.a. door een trap survey tijdens de teelt, door intensieve inspecties vlak voor export en door de groene delen van de vruchten te verwijderen. Zowel *T. absoluta* als *C. capitata* hebben tomaat als waardplant en komen voor in de EU. Toch mogen tomaten (zonder groene delen) vanuit Nederland geëxporteerd worden naar Japan, mits het bedrijf geregistreerd is en strikt het protocol volgt voor de beheersing van de middellandse-zeevlieg, en mits aan de strikte eisen t.a.v. *T. absoluta* wordt voldaan (pers. comm. Mevr. Folkers, NVWA). De larven van *T. absoluta* voeden en ontwikkelen zich tussen de epidermale lagen van de bladeren en het fruit, waardoor mijnen worden gevormd. Popvorming kan in de bodem zijn, op het bladoppervlak of in de mijnen (Barkai-Golan and Follett 2017). Alle bovengrondse delen van de gastheer (bladeren, stammen en vruchten) kunnen worden aangetast. Eenmaal geïntroduceerd kan *T. absoluta* worden verspreid door zaailingen, geïnfecteerde planten met tomaten, tomaten zelf en gebruikte containers. Buitenmarkten, her-verpakking groenten en distributiecentra zijn potentiële introductiepunten in de verspreiding van deze plaag (NAPPO 2012). Pellets en andere vervoersobjecten zijn materialen waarin of waarop *T. absoluta* kan worden aangetroffen.



3.3.2 Huidige maatregelen

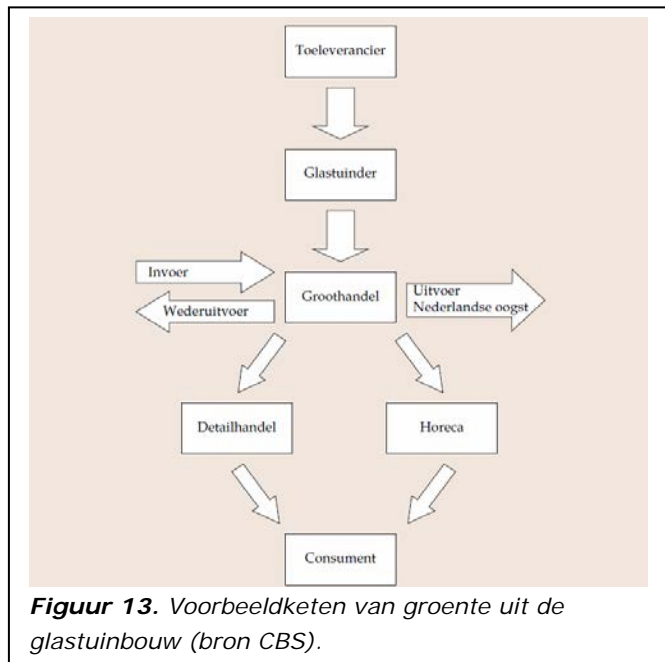
Tomaten voor export naar de VS mogen alleen door geregistreerde bedrijven geleverd worden met een goedgekeurd teeltsysteem vergelijkbaar aan een systeem aanpak, afkomstig zijn uit een gebied vrij van *T. absoluta* of een geaccrediteerde behandeling uitvoeren met methylbromide. De laatste twee opties vallen voor Nederland af. Methylbromide mag in Europa niet meer toegepast worden. Voor Pest Free Areas van *T. absoluta* is een inventarisatie in 2010 in Nederland uitgevoerd. Al snel bleek dat het risico van een enkele vondst te groot was om veel geld te investeren voor een gebiedsvrijverklaring. Wel was het mogelijk voor

Systeem aanpak: het tegemoet komen aan de uitdagingen voor de landbouw-, voedingsmiddelen- en non-food systemen betekent omgaan met complexiteit en werkzaamheden op een geïntegreerde manier, zodat de voorgestelde oplossingen geschikt zijn voor zowel het probleem dat zij aanpakken en de belangrijkste doelstellingen die worden nagestreefd voor het systeem als geheel

individuele telers om zelf te kijken naar een vrijverklaring op bedrijfsniveau (Groeiservice 2010). Toeleverende bedrijven moeten aan een reeks van voorwaarden voldoen waarvoor een forse investering nodig is. De huidige voorwaarden waaraan de Nederlandse tomatentelers moeten voldoen om de VS te bedienen is een vorm van systeemaanpak (definitie zie kader). De voorwaarden met de Amerikaanse autoriteiten zijn in overleg met de Nederlandse NVWA vastgesteld. Tomaten geproduceerd op Nederlandse bodem door geregistreerde bedrijven met een goedgekeurd teeltsysteem mogen tomaten exporteren naar de VS, mits alle groene onderdelen (stengels, kroontje) zijn verwijderd. Inperkende voorwaarden zijn vereist (Pest Exclusionary Structure, PES). Dit betekent dat de tomaten worden gekweekt in kassen die geregistreerd en goedgekeurd zijn door USDA en de NVWA, voorzien van dubbele zelfsluitende deuren. Alle overige openingen moeten voorzien zijn van insectengaas met een maximale diameter van 1,6 mm. Het protocol voorziet verder in aanvullende maatregelen wat betreft monitoring (2 vallen per ha met feromoon) en frequente inspectie door de NVWA, wat uiteindelijk leidt tot de certificering en strikte voorwaarden aan de verpakking. Elke partij tomaten richting VS wordt vergezeld met een door de NVWA afgegeven fytosanitair certificaat met de tekst "Tomaatvruchten in deze zending zijn geproduceerd volgens een APHIS-goedgekeurde systeembenadering en zijn visueel geïnspecteerd en vrij van *Tuta absoluta*". Wanneer de NVWA een *T. absoluta* mot waarneemt en diagnosticeert, wordt het bedrijf tot nader order uit het register verwijderd (APHIS 2011b) (NVWA 2014) (NVWA 2017).

3.3.3 Systeemaanpak

De keten van de tomatenteelt start met de opkweek van jonge tomaten, productie, groothandel en via de detailhandel naar de consument (figuur 13). De plaagdruk is afhankelijk van het seizoen, temperatuur en aanvoer van tomaten uit het buitenland, waar de mot algemeen voorkomt. De systeemaanpak houdt in dat bij iedere stap binnen de keten nagegaan wordt wat de risico's zijn voor introductie van *T. absoluta* zijn. Met behulp van hedendaagse monitoring kan gericht op het juiste moment een maatregel worden genomen. In de gangbare tomatenteelt zijn in Nederland voldoende effectieve insecticiden aanwezig om *T. absoluta* te beheersen. In de bio-teelt is de plaag minder goed beheersbaar vanwege het ontbreken van effectieve biologische middelen. De inzet van roofwantsen biedt perspectief en wordt reeds in de praktijk ingezet, maar tijdige aanwezigheid om de populatie *T. absoluta* goed te beheersen en vraagt van deze insecten aan de tomatenplanten vergt nog inzet van onderzoek. Bestrijding van plaaginsecten in de tomatenteelt kan grotendeels biologische uitgevoerd worden, met name met sluipwespen en roofmijten. Via vangplaten en scouting is insectplaagontwikkeling vroegtijdig vast te stellen en kan pleksgewijs chemisch worden gecorrigeerd (Hees et al. 2016).



3.3.4 Ontsmettingstechnieken tegen *Tuta absoluta* in tomaat

3.3.4.1 CATT

Low Speed CATT; deze methodiek is afgelopen jaren onderzocht door Wageningen University & Research. CATT is zeer effectief in het afdoden van alle stadia van *T. absoluta* bij een lange blootstellingsduur (24 uur), een temperatuur van 38°C, 10% O₂ en 90% CO₂. Poppen lijken het meest ongevoelig, bij deze condities zijn vooralsnog geen gezonde motten waargenomen. De CATT-condities zijn getoetst met trostomaten uit het grove segment; Merlice en Proudese, zowel rijp als onrijp. De kwaliteit van de tomaten getest onder deze condities is in de zomer acceptabel. De kwaliteit van de tomaten onder dezelfde condities in het najaar was onverkoopt. Mogelijk zijn factoren als ras, teelt en groeiomstandigheden van eminent belang als het om weerbaarheid van tomaten gaat.

High speed CATT; deze vorm van CATT is niet eerder onderzocht tegen *T. absoluta*. Het is een perspectiefvolle methode; in de Verenigde Staten is ervaring opgedaan om enkele invasieve Lepidoptera soorten te bestrijden. Tomaten zijn naar verwachting bestand tegen deze condities (pers.

comm. Mevr. Neven, USDA), toelatingskansen zijn beschreven in H 1.1. Een korte behandeling van één uur bij 46°C, 1% O₂ en 15% CO₂ is 100% effectief tegen de meest gevoelige stadia van twee motjes; het 5^{de} stadium van *Carposina sasakii* en het 4^{de} stadium van *Cydia pomonella* (Son et al. 2012) (Neven and Rehfield-Ray 2006b). Poppen en andere stadia van graanmotjes (*Sitotroga cerealella*) uit dezelfde familie als *T. absoluta* zijn behandeld met 30%, 45%, 65% en 75% CO₂ in lucht. Bij een temperatuur van 27°C en blootstellingsperiodes tussen 2 en 264 uur waren de poppen minder gevoelig dan de poppen, maar meer gevoelig voor deze behandeling dan de eitjes (Hashem et al. 2012).

3.3.4.2 Gamma en röntgenstraling

In de VS is gammastraling toegelaten tegen een twintigtal Lepidoptera soorten. Per plaag-product combinatie is een toepassingsprotocol beschikbaar. Gammastraling met 70 Gy is dodelijk voor de eitjes van *T. absoluta* (Groppo and Arthur 1997). Voorlopig onderzoek naar *T. absoluta* suggereerde dat gammastraling van poppen met 200 Gy voldoende zou zijn om motjes te steriliseren (Arthur 2004). Röntgenstraling met 200-250 Gy kan gebruikt worden om mannetjes te steriliseren, de minimale dosis waarbij bestraalde vrouwtjes volledig steriel waren, was 200 Gy (Cagnotti et al. 2012). The USDA vatte de effecten van verschillende doseringen naar straling op *T. absoluta* samen en reproduceerde een tabel met doseringseffecten (tabel 9).

Tabel 9. Samenvatting effecten gammastraling op *T. absoluta* (USDA 2011).

| Stage | Dose (Gy) | Outcome |
|----------------|-----------|---------------------------|
| Eggs | 100 | Lethal |
| Larvae | 200 | Incomplete development |
| Pupae | 200 | Sterile adults |
| Pupae | 300 | Adult emergence prevented |
| Adults, male | 200 | Sterility |
| Adults, female | 150 | Sterility |

1 Conditions: Cobalt-60 Gammacell- 220 irradiator at a dose rate of 1.11 kGy per hour (Arthur, 2002; Arthur and Groppo, 2007).

Er zijn aanwijzingen dat voor lepidoptera eitjes en oudste stadia van de rupsen een generieke phytosanitaire bestraling van 250 Gy afdoende is, waarbij geen visueel normale motjes meer worden waargenomen (Hallman et al. 2013). Omdat poppen van *T. absoluta* aanwezig kunnen zijn op de tomaten, kan generieke behandeling met 400 Gy van bestralen niet als alternatieve verzachtende maatregel worden gebruikt (Barkai-Golan and Follett 2017). Tot een dosering van 1000 Gy zijn mogelijk geen negatieve effecten op de kwaliteit van tomaten te verwachten (Salunkhe 1961). In 2015 zijn in Italië 2 ton tomaten en wortelen doorstraald met een ⁶⁰Co-gammadoorstraler (EU 2016a). Food Standards Australia New-Zealand (FSANZ) had een aanvraag ontvangen van het Ministerie van Landbouw, Visserij en Bosbouw (DAFF) Queensland in samenwerking met de New Zealand Fresh Produce Importers Association (NZFPIA) om doorstraling toe te staan van tomaten en paprika's als een fytosanitaire maatregel. Op basis van uitgebreid onderzoek is dit goedgekeurd met een minimumdosis van 150 Gy en een maximale dosering van 1 kGy (FSANZ 2013) en is opgenomen in de Standard 1.5.3 van de goedgekeurde voedselbehandelingen met doorstraling (FSANZ 2017). De VS prefereert behandelingen van producten met Q-organismen als het doorstralen of fumigeren van voedsel (pers. comm. Mevr. Neven, USDA).

3.3.4.3 Etherische oliën

Onderzoek naar etherische oliën vindt vooralsnog veel op labschaal plaats. Etherische olie van Tijm (*Thymus capitatus*) en cipres (*Tetraclinis articulata*) en de belangrijkste bestanddelen van deze planten (carvacrol en α-pineen) resulteerden in meer dan 80% sterfte voor alle larvale stadia en 100% sterfte bij de eerste larvale stadia van *T. absoluta*, bij een concentratie van 0,2 µl/ml lucht na 1,5 uur blootstelling (Alam et al. 2017). Zwarte komijn (*Nigella sativa*) resulteerde na vier uur blootstelling in 100% sterfte van *T. absoluta* rupsen bij een concentratie van 0,203 µl/cm² (Adil et al. 2015a). Essentiële olie uit groene kardemom (*Elettaria cardamomum*) uit de gemberfamilie heeft een insecticide effect op de eitjes, het 2^{de} larvale stadium van de rupsen in en op het blad en de motjes van *T. absoluta* met respectievelijk LC50 waarden van 351.19, 7.88, 1.55 en 1.88 µl/ml lucht (Chegini and Abbasipour 2017). Meerdere publicaties geven aan dat hoge afdoding tot 100% van verschillende stadia mogelijk is (Adil et al. 2015b) (Brito et al. 2015) (Abdel-Baky and Al-Soqeer 2017) (Ebadah et al. 2016). Effectiviteit is vooral getest op eitjes, rupsen en adults, onderzoek naar poppen is beperkt.

3.3.4.4 Fumigatie

Vapormate® is een generally recognized as safe (GRAS) fumigatieproduct op basis van ethylformiaat in combinatie met CO₂ (16.7 wt% ethylformiaat in CO₂), komt als natuurlijk product in verscheidene voedselproducten voor en is ontwikkeld om methylbromide te vervangen. Dit middel heeft een effect op alle stadia van verschillende motjes in de bewaring (www.linde-gas.com) en is toegelaten in Australië, Nieuw-Zeeland, Filipijnen en Maleisië. Het onderliggende onderzoek voor toelating in Australië is echter onvolledig bevonden door Nederland en de EU, biologische en milieu gerelateerde aspecten waren onvoldoende onderzocht. Het gevolg is dat het volledige toelatingsonderzoek voor Nederland/EU opnieuw gedaan moet worden. Hiervoor is geen financiering beschikbaar (pers. comm. Dhr. Van Leeuwen, Linde-Gas). Hetzelfde geldt voor de VS, daar moet ook het toelatingsonderzoek volledig opnieuw uitgevoerd worden en is geen financiering voor beschikbaar. Wel is de mogelijkheid geopperd om gezamenlijk deze oplossingsrichting op te pakken (pers. comm. dhr. S. Walse, USDA, workshop "Innovative phytosanitary approaches and technologies" in Wageningen 12 juli 2017). Vapormate® is een milieuvriendelijk, veilig, niet-residueel ontsmettingsmiddel. In contact met water ontleedt het tot mierenzuur en ethanol. Vapormate wordt uitgestoten als een nevel (deeltjesgrootte ~ 5-10 micron) of heet (~ 60°C) gasmengsel voor een uniforme verdeling en de werkzaamheid te optimaliseren. Het middel wordt toegepast tegen detritus moth (*Opogona omoscopa*) 30 g/m³ (2 uur blootstelling), Western flower thrips (*Frankliniella occidentalis*) o.a. in parika 70 g/m³ (2 uur), slaluis (*Nasonovia ribisnigrif*) 120 g/m³ (1 uur), light brown apple moth (*Epiphyas postvittana*), fullers rose weevil (*Asynonychus cervinus*), Californian red scale (*Aonidiella aurantii*) en bean thrips (*Caliothrips fasciatus*) 370 g/m³ (6 uur) (BOC 2015).

3.3.4.5 Vision techniek

Tomaten mogen volgens een streng protocol naar de VS worden geëxporteerd. Het resultaat van deze strenge eisen is momenteel dat er geen tomaten vanuit Nederland naar de VS worden geëxporteerd. Een meer praktische, minder rigoureuze aanpak zou de export kunnen bevorderen, waarbij Vision Techniek een rol kan spelen. Wanneer reguliere bedrijfsvoering leidt tot beperkte plaagdruk kunnen aangetaste tomaten worden opgeschoond met Vision Techniek: na detectie van schade en besmetting kunnen deze tomaten uitgeselecteerd worden. Binnen het project Phytotec zijn al goede ervaringen opgedaan met de fruitmot in appels en peren. Fundamenteel verschil is de na-oogst behandeling en bewaring tussen appels/peren en tomaat; waar het fruit door enkele weken gekoelde omstandigheden (0-2°C) geen problemen meer heeft van enkele fruitmotstadia, kan Vision Techniek ingezet worden om het fruit uit te lezen op L5 rups aangetast fruit. Tomaat wordt veel sneller geëxporteerd (dagen) en niet zo diep gekoeld, waardoor voor het gevleugelde stadium mogelijk een andere oplossing moet worden bedacht.

3.3.4.6 Overige onderzoeken familie Gelechiidae

Vijftien minuten blootstelling aan een Radio frequentie van 27,12 MHz en een temperatuur van 50°C van verschillende stadia graanmotjes (*Sitotroga cerealella*) resulteerde in 100% sterfte (Krittigamas et al. 2012). Alle stadia van de aardappelmot (*Phthorimaea operculella*) blootstellen aan ozon resulteerde binnen een uur in 100% sterfte van de eitjes en de poppen bij een concentratie van 5 ppm. Motjes en rupsen waren minder gevoelig met respectievelijk 84 en 80% sterfte bij blootstelling van 1 uur aan 80 ppm (Ibrahim and Al-Ahmadi 2014).

3.4 Tulpengalmijt (*Aceria tulipae*) in tulpenbollen

(Geschreven door: Peter Vreeburg en Martin van Dam)

Oude benaming *Eriophyes tulipae* (Keifer)

Triviale naam in buitenland: dry bulb mite. Aanvankelijk werd de wheat curl mite ook *Aceria tulipae* genoemd, maar de benaming hiervan moet *Aceria tosichella* (Halliday and Knihinicki 2004) zijn.



Foto 8. Verschillende stadia van tulpengalmijt.

3.4.1 Probleem beschrijving

Tulpengalmijt (*Aceria tulipae*) is een zeer kleine mijt die alleen bij tulp en *Allium* (o.a. sierui, consumptie-ui en knoflook) voorkomt. Het is een belangrijke plaag tijdens de bewaring van de bollen, omdat de mijten zich onder de bewaaromstandigheden snel kunnen voortplanten.

De aanwezigheid van de mijten veroorzaakt uitval (bol, wortelkrans en bloem kunnen worden aangetast), de mijt is ook een belangrijke vector voor virus (TVX). Aangetaste bollen kunnen te maken krijgen met exportbelemmering (*A. tulipae* heeft Q-status in Canada en de VS) vanwege directe schade en virusoverdracht in graansoorten.

De veel toegepaste ruimtebehandeling bij bloembollen met Actellic-50 tijdens de bewaring is sinds begin 2014 niet meer toegelaten. Sindsdien is er in Nederland geen ruimtebehandelingsmiddel meer. De bestrijding van tulpengalmijt gebeurt sinds 2013 met Movento, een insecticide met een nevenwerking op galmijt. Het middel wordt rond de bloei op het veld toegepast en wordt door de plant en de bol opgenomen waardoor de galmijten na het rooien tijdens de bewaring het middel binnen krijgen en bestreden worden. Het middel blijkt zeer effectief te werken, maar de verwachting is dat dit algemeen toegepaste middel op den duur, vanwege resistentie, onwerkzaam wordt. Ook kan de toelating komen te vervallen vanwege veranderende regelgeving, milieubezwaren of bezwaren voor de toepasser. Er wordt gezocht naar een milieuvriendelijke bestrijdingsmethode, enerzijds met roofmijten en anderzijds met de CATT-methode. Er zijn in het verleden ook goede resultaten gezien van etherische oliën, echter hier van was (is) de toelating een probleem.

3.4.2 Biologie

3.4.2.1 Levenscyclus

Deze uiterst kleine tulpengalmijt komt in bolgewassen voor bij tulp en in *Allium*-soorten (sierui, consumptie-ui en knoflook). Vooral tijdens de bewaring van deze producten kan de populatie sterk

toenemen doordat de bewaaromstandigheden daarvoor erg gunstig zijn. Tulpengalmijt begint zijn cyclus als ei, kent daarna twee onvolwassen stadia (larve en nymf) en ontwikkelt zich daarna tot de volwassen vorm. Bij een temperatuur van 27°C duurt de ontwikkeling van ei tot volwassen stadium ca. 10 dagen. Bij 21°C is de ontwikkeling trager; 32 tot 34 dagen, terwijl bij temperaturen tussen 0 en 17°C er nauwelijks activiteit en uitbreiding meer plaatsvindt.

Tussen larve en nymf-stadium en tussen nymf en volwassen stadium zijn zogenaamde rustpauzes. Als de temperatuur buiten daalt ontwikkelt zich een overwinteringsvorm van bevruchte vrouwelijke mijten. Veranderende omstandigheden van klimaat of aanwezigheid van voedsel kunnen ook tot gevolg hebben dat er een meer beweeglijke vorm van deze mijten ontstaat die zich sneller verplaatst (Conijn et al. 1996).

3.4.2.2 Tulpengalmijt in tulp, symptomen

De aantasting door tulpengalmijt begint op plaatsen waar de bruine huid niet stijf aansluit tegen de buitenste rok, bijvoorbeeld onder huidscheuren of bij de opzwellende wortelkrans.

Laat tijdens de bewaring wordt de buitenste bolrok crème-achtig of paars tot vermiljoenrood en dof van uiterlijk. De mijten kunnen zich ook vestigen op de spruit in de bol.

Zwaar aangetaste bollen worden slap, vormen geen wortels en komen niet op. Bij minder ernstige aantasting worden de beworteling en de opkomst vertraagd en ontwikkelt zich een schraal gewas.

In bloemen van rode of paarse tulpecultivars ontstaan min of meer ovale tot langgerekte, gelige tot witte vlekjes. Soms is de bloem door de aanwezigheid van talrijke vlekjes vrijwel geheel ontkleurd.

Naast zichtbare schade aan bol en bloem kan er ook indirecte schade ontstaan, doordat tulpengalmijten het tulpenvirus-x (TVX) overbrengen. Galmijten zijn de belangrijkste vector voor TVX (Kock et al. 2008).



Foto 9. Bolaantasting door tulpengalmijt. Links: gezond, midden: lichte crèmeverkleuring, rechts: ernstige roodverkleuring. (Bruine afgestorven huid verwijderd).

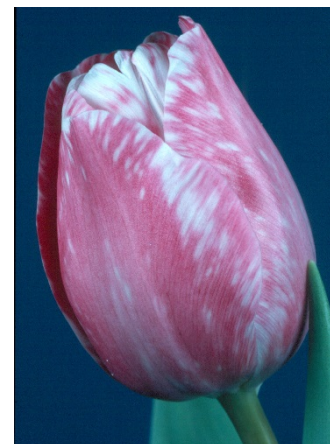


Foto 10. Vraatschade van tulpengalmijt veroorzaakt streperige vlekken in de bloem

3.4.2.3 Verloop van de aantasting

De tulpengalmijt is een slank, langwerpig beestje van ca. 0,2 mm lang en 0,06 mm breed en is met het blote oog niet te zien. Dit komt mede door de witte kleur die gelijk is aan die van de tulpenrok onder de bruine buitenste rok. Op een aangetaste bol zijn tot enkele duizenden tulpengalmijten te vinden. De meeste mijten sterven af na het planten (november) en tijdens de groei van de bollen op het veld. Mijten die bij het rooien (juli) nog leven, zullen zich grotendeels op de buitenzijde van de bol bevinden. Dit zijn vrouwtjesmijten die in een andere vorm (deutogynes) overgegaan en daardoor bestand zijn tegen de winterse omstandigheden (Manson and Oldfield 1996). De enkele overgebleven dieren vormen het begin van de ontwikkeling van de plaag tijdens de bewaarperiode. De snelheid waarmee dit gebeurt, wordt sterk bepaald door de temperatuur. Onder optimale omstandigheden (24-27°C) voltrekt een levenscyclus van ei tot volwassen mijt zich in 10 dagen. Hierdoor kan de populatie galmijten explosief toenemen. Meestal duurt het tot oktober of november voordat de galmijtaantasting wordt opgemerkt. De normale bewaar temperatuur voor tulp ligt tussen 20 en 25°C. Bij lagere

temperatuur (beneden 17°C) verloopt de ontwikkeling van de mijten zo traag, dat er geen symptomen op de bollen ontstaan. Na een warme zomer kunnen echter vaak onverwacht problemen ontstaan. Bollen van partijen die vroegtijdig worden gekoeld blijven altijd vrij van symptomen.

Gewoonlijk overleven galmijten niet op het fust en in lege schuren, mits vuil en bolresten zijn verwijderd. Overleving kan wel optreden als het fust 's winters wordt gebruikt voor de broei van tulpenbollen en de bewaring van uien.

De gevoeligheid voor galmijten is per cultivar erg verschillend. Ook *Allium*-soorten, consumptie-uien en knoflook kunnen ernstig worden aangetast (Best et al. 2000).

3.4.3 Ketenaanpak

Tijdens de teelt van tulpen in het veld neemt de populatie tulpengalmijt sterk af. De bollen worden in de herfst geplant en maken dan eerst de winter door met zeer lage temperaturen, waarbij tulpengalmijt slecht gedijt. De overwinteringsvorm van de mijt, verplaatst zich in het voorjaar met de plant mee omhoog. Bij het afsterven van de plant in juni/juli, komen uiteindelijk via de steel weer enkele mijten op de bollen terecht. Deze komen dan mee met de gerooide bollen in de bewaarschuur. Daar zijn de omstandigheden gunstig voor verdere groei. Als tijdens de teelt een bespuiting met Movento is uitgevoerd zal dit middel, dat dan in de bol is opgenomen, een sterke groei van de mijten voorkomen. Een probleem ontstaat echter als:

- Er geen bestrijding werd uitgevoerd, zoals het geval is bij biologische teelt,
- Men geen bestrijding met Movento aandurfde vanwege een kans op schade, of slechts één bespuiting uitvoert (NB. er is wel eens verkleving van bloemen geconstateerd, een probleem dat niet hoeft voor te komen als men zich aan de gebruiksaanwijzing houdt)
- De opname van Movento door het blad werd bemoeilijkt, bijvoorbeeld doordat het blad was beschadigd door hagel of vorst.

In het nabije verleden werd direct na het rooien een ruimtebehandeling met Actellic toegepast. Dit was het meest effectief als dit gebeurde in de eerste twee weken na het rooien. Door het wegvallen van dit middel is er geen chemische correctie meer mogelijk. De bollenteler kan in principe, direct na rooien, nog wel ander behandelingen uitvoeren (CATT, ULO, verdampen van etherische olie). Echter het is op dat moment niet vast te stellen of deze behandeling noodzakelijk is. De galmijten zijn vrijwel niet te zien of te vinden op de bollen en er zijn ook nog geen symptomen zichtbaar. Alle bollen behandelen zou te kostbaar en erg tijdrovend zijn. Een goede ketenaanpak vereist daarom dat partijen worden bemonsterd en aan het eind van het bewaar seizoen worden onderzocht op aanwezigheid van galmijten. Door dit zgn. monitoren is voor het planten bekend in welke partijen de risico's zijn. Deze kunnen dan ná het groeiseizoen in ieder geval worden behandeld.

Invoering van CATT behandeling als algemene bestrijdingsmethode voor tulpengalmijt eventueel versterkt met een toepassing van etherische olie, vereist een logistiek haalbaar behandelingsprotocol. Uitgangspunt voor onderzoek daarnaar is daarom een éénmalige behandeling. Mocht dit niet haalbaar zijn en etherische olie niet het gewenste extra bestrijdingseffect geven of geen toelating krijgen, dan zal herhaling van de CATT behandeling toch nodig zijn.

Om invoering op bedrijven mogelijk te maken is er meer CATT-behandelcapaciteit nodig. Nu is dat nog beperkt tot een paar bollenbedrijven en behandelingsbedrijven. De sector zal moeten investeren in geschikte of geschikt gemaakte bewaarcellen op locatie.

3.4.3.1 Afgebroeide bollen.

Tulpenbollen worden na de bloemproductie meestal weggegooid. Soms is er behoefte aan meer plantmateriaal van bepaalde cultivars en worden deze bollen terug in de teeltcyclus gebruikt. Men noemt dit 'teelt van afgebroeide bollen'. De methode is erg risicovol ten aanzien van mijtplagen en virusoverdracht. Het is daarom aan te bevelen deze bollen standaard met CATT te behandelen.

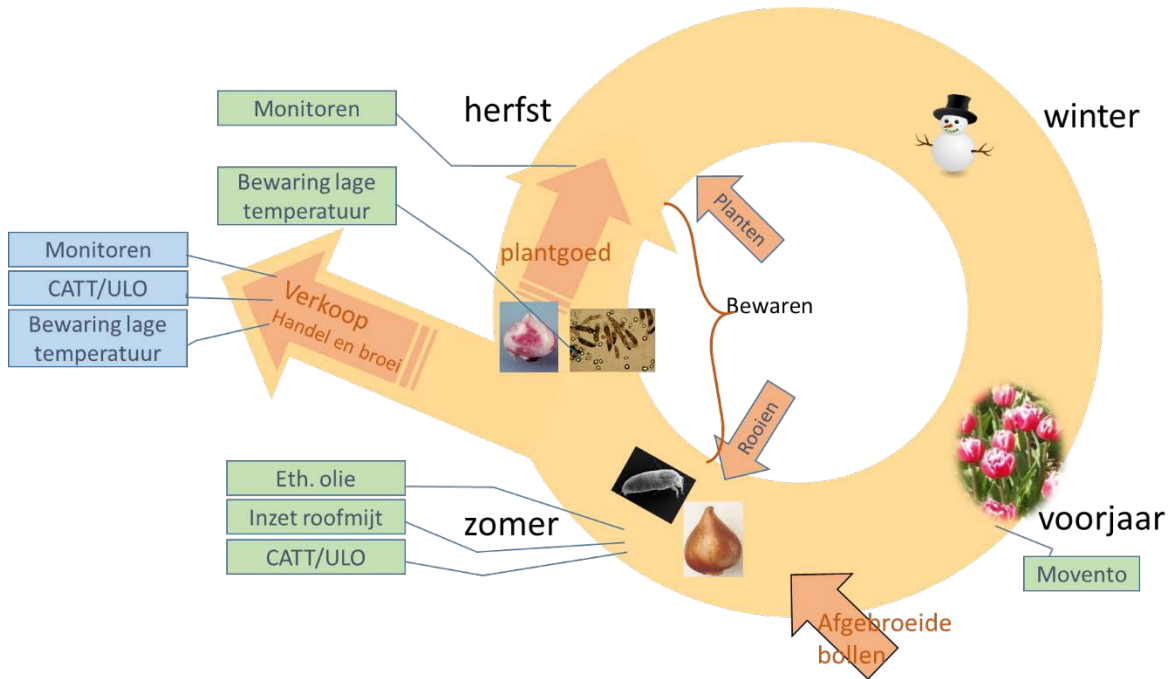
3.4.3.2 Bestrijding in de keten (figuur 14)

Bestrijding van tulpengalmijt begint in principe bij de bollenteler. Voor de gangbare teelt wordt ingezet op een éénmalige CATT-behandeling. Als blijkt dat dit niet haalbaar is dan zou CATT-behandeling kunnen worden herhaald of worden gecombineerd met etherische olie. Ook de inzet van roofmijten kan de opbouw van grote galmijtpopulaties tegengaan.

Deze werkwijze is ook voor biologische bedrijven uitvoerbaar, onder voorbehoud dat de etherische olie voldoet aan de SKAL-eisen (2017). De toepassing van een mijtpathogene schimmel (zie 3.4.4.11) en

eens in de vier of vijf jaar toepassen van ULO- of CATT-behandeling kan ook een goede werkwijze zijn binnen de biologische bollenteelt. Zo wordt het maximale effect bereikt tegen de laagst mogelijke kosten.

Bij de handelaar of exporteur komen tulpenbollen vanaf begin augustus binnen. Het belangrijkste moment van bestrijding van tulpengalmijt is dan al achter de rug. Als er toch noodzaak is voor bestrijding dan is er voor de handelsketen de keuze uit ULO- of CATT-behandeling, etherische olie of de inzet van roofmijten. Men zal rekening moeten houden met eventuele eisen aan middelengebruik van het ontvangende land.



Figuur 14. Teeltcyclus met daarin de belangrijkste maatregelen tegen galmijt die door de teler (groen) of door de handel (blauw) kunnen worden genomen.

3.4.4 Beheersmaatregelen na oogst bollen (m.n. gericht op tulp)

3.4.4.1 Algemeen.

Schade en verspreiding beperken. Mijten vermeerderen zich het snelst bij 24-27°C in combinatie met hoge luchtvochtigheid. Hoe lager de temperatuur, hoe trager de vermeerdering. In de praktijk is wat ervaring opgedaan met het monitoren van partijen. Door een monster te nemen direct na de oogst en die te bewaren bij 25°C komt een eventuele besmetting van tulpengalmijt eerder aan het licht. De mijten zelf zijn niet of nauwelijks waarneembaar, maar de rode of crème verkleuringen wel. Hiervan wordt gebruik gemaakt door besmet plantgoed eerder te planten, door de bollen te bewaren bij een lagere temperatuur (niet boven 20°C of liever maximaal 17°C) en door partijen bollen bestemd voor de broeierij voor vroege bloemproductie te gebruiken, dus eerder te koelen.

3.4.4.2 Bedrijfshygiëne (Lommen 2011)

Verspreiding van tulpengalmijt naar andere partijen kan worden voorkomen door:

- Rooi en verwerk besmette en verdachte partijen als laatste
- Reinig machines na besmette en verdachte partijen met veel water maar voorkom verwaaiing door té hoge druk
- Maak lege cellen en leeg fust schoon (wanneer onmiddellijk gebruikt voor nieuwe partijen, dan eerst ontsmetten door te verhitten: 3 dagen bij 45°C)
- Pel partijen zo snel mogelijk
- Verwijder pelresten, uitgevallen bollen en vuil van het bedrijfsterrein
- Handen wassen en kleding wisselen na werken met besmette partijen, want tulpengalmijt kan overal op zitten
- Zorg dat er geen luchtstromen van besmet plantenmateriaal naar schone partijen gaan, want galmijten worden ook door de lucht verspreid
- Bewaar verdachte en besmette partijen apart van schone partijen

- Let op met de teelt en bewaring van *Allium* (sierteelt, consumptie-uien en knoflook), dit zijn ook waardplanten voor tulpengalmijt.

3.4.4.3 Warmwaterbehandeling

Een warmwaterbehandeling (WWB) bij 55-60°C gedurende 10-15 minuten is effectief bij knoflook, de mijten worden echter niet volledig bestreden. In *Allium sphaerocephalon* bleek 1 uur bij 45°C in zekere mate effectief. Bij tulpen is 4 uur bij 45°C niet voldoende effectief gebleken voor volledige bestrijding. Sinds een aantal jaren is er voor tulpen ook een WWB ontwikkeld tegen stengelaaltjes waarbij de bollen een behandeling van 4 uur bij 48°C ondergaan. De werking van deze behandeling tegen tulpengalmijt zou goed moeten zijn, maar dit is nog niet in onderzoek aangetoond. De WWB-methode kan effectief zijn, maar is erg bewerkelijk en houdt altijd een zeker risico van schade in. Hierdoor kan WWB geen algemene methode van bestrijding van galmijt worden (Dam 2012).

3.4.4.4 Temperatuurbehandeling (droog)

Bij lage temperaturen (zie hiervoor bij Algemeen) wordt de populatiegroei van tulpengalmijt geremd. Bij 17°C staat de uitbreiding van tulpengalmijt vrijwel stil. Lagere temperaturen kunnen gedurende de bewaring van de bollen niet worden toegepast in verband met kwaliteitsverlies van de bollen.

Voor een afdoende bestrijding bij hoge temperatuur moet worden gedacht aan een behandeling van 2 weken bij 35°C. Dit geeft echter geen 100% doding en het kan nadelig zijn voor de kwaliteit van de opgeslagen bollen. Beter is het om dit te combineren met CA-bewaring zoals ULO of CATT (zie verderop in dit hoofdstuk).

3.4.4.5 ULO (Ultra Low Oxygen-bewaring)

Al een heel aantal jaren is bekend dat tulpengalmijt goed (maar niet altijd 100%) bestreden kan worden door bewaring onder omstandigheden met laag zuurstof. Deze behandeling bestaat uit het 24 uur bewaren onder ULO-omstandigheden (zuurstof 1%), bij 25°C en het herhalen daarvan na 1 week. De herhaling is nodig omdat de eieren niet afdoende bestreden worden. Het duurt tot 3 dagen voordat de gewenste zuurstofconcentratie is bereikt (Zuilichem and Conijn 2004a) (Conijn and Zuilichem 2003a, Conijn et al. 2004, Zuilichem and Conijn 2004b, Conijn 2006a). De bollen staan daardoor langer dan 24 uur achtereen in de cel, wat sterk van invloed is op de capaciteit van deze methode. Hierdoor én door het in- en uitrijden van de bollen is ULO-behandeling een intensief proces. Ook kan zich ethyleenophoping voordoen in de ULO-cel tijdens de behandeling. Een manier om schade daarvan te voorkomen is om de bollen tevoren eerst met FreshStart te behandelen.

Voor biologische bollenbedrijven is ULO de enige manier van bestrijding van tulpengalmijt. De behandeling is het meest effectief als deze binnen twee weken na de oogst van de bollen wordt uitgevoerd. Vanuit de praktijk wordt gemeld dat bij een latere ULO behandeling dan 2 weken na het rooien spruitbeschadiging kan optreden.

Het komt voor dat met ULO behandelde bollen toch niet volledig vrij van galmijt zijn. De exacte reden daarvoor is niet duidelijk. Het kan een gevolg zijn van de uitvoering, maar ook van een herbesmetting.

ULO-bewaring gebeurt in speciale gasdichte cellen, die vrij duur in aanschaf zijn. Het wordt daarom in de regel op speciale bedrijven uitgevoerd. In Nederland zijn daarvoor twee adressen: CNB Koel- en preparatiebedrijf in Bovenkarspel en Koelhuis WFO in Zwaagdijk. De kosten zijn ca. 40 á 45 euro per kuubskist afhankelijk van de hoeveelheid kisten die tegelijk wordt behandeld.

3.4.4.6 CATT (Controlled Atmosphere Temperature Treatment)

Uit de screening van een aantal fysische methoden ter bestrijding van mijten in aardbeienplanten (Van Kruistum et al., 2007) kwam de methode van CA-bewaring (Controlled Atmosphere) bij hoge temperatuur naar voren als meest veelbelovende methode. Sindsdien zijn ook andere gewassen en plagen (o.a. trips, mijten, aaltjes) onderwerp van onderzoek met deze methode, die inmiddels CATT wordt genoemd.

CATT combineert een CA-behandeling (gewijzigde lichtsamenstelling door aanpassing van CO₂- en O₂-condities) met een temperatuurbehandeling. Hiervoor wordt het plantmateriaal gedurende een bepaalde periode in een gasdichte cel bewaard. Uit het ULO onderzoek in tulpen kwam al naar voren dat dit redelijk effectief was tegen tulpengalmijt. Er zijn in 2000 en 2001 (Conijn et al. 2004, Zuilichem and Conijn 2004a) oriënterende behandelingen met zuurstof/CO₂ combinaties uitgevoerd tegen bollenmijt en tulpengalmijt. Het probleem voor bollen hierbij is dat de gehanteerde temperaturen (tot 40°C) schadelijk kunnen zijn voor het groeipunt van de bollen. Bij lagere temperatuur (30°C) werden wel gunstige CO₂/O₂ concentraties gevonden waarbij voldoende doding en

tevens weinig fytoxische effecten werden waargenomen (Interne verslagen PPO Bloembollen 343200004, 343200101, 343200103, 343200104 en 343200107).

ULO en CATT-behandelingen zijn een duurzame vorm van plaagbestrijding omdat er geen chemische middelen aan te pas komen. Deze methoden kunnen goed in de praktijk worden geïmplementeerd, omdat het geen wettelijke toelating behoeft. Het vereist wél de aanschaf van aangepaste cellen, of men moet de behandeling uitbesteden. Het onderzoek wordt nu (2016 -2017) vervolgd, waarbij om logistieke redenen gestreefd wordt naar een éénmalige behandeling.

3.4.4.7 Chemische bestrijding

De bestrijding werd jarenlang uitgevoerd door middel van ruimtebehandelingen (waaronder vroeger zelfs blauwzuurgas) tijdens de bewaring van de bollen na het rooien. Ook het laatste middel dat algemeen werd gebruikt (pirimifos-methyl, Actellic-50) is sinds 2014 niet meer toegelaten hiervoor.

Door het wegvallen van Actellic-50 verviel ook de mogelijkheid voor een corrigerende behandeling tijdens de bewaring. Hierdoor is het complex van maatregelen tegen tulpengalmijt niet meer volledig dekkend.

Movento:

De huidige bestrijdingsmethode is de toepassing van een insecticide tegen bladluis (Movento, spirotetramat), dat tevens een goede nevenwerking heeft tegen galmijt. Het middel wordt in het groeiseizoen toegepast en dan door het blad opgenomen en komt uiteindelijk in de bol terecht in een concentratie die voldoende hoog is voor een zeer goede bestrijding van galmijt tijdens de bewaring na het rooien. Het middel moet 2 keer in een specifieke periode worden gespoten. Voorwaarde van een goede nawerking in de bewaring is dat het middel voldoende wordt opgenomen en naar de bol wordt getransporteerd. Bij een schraal gewas of schade aan het blad door bijv. hagel, kan de werking van Movento tegenvallen.

Naar verwachting zou er op termijn resistentie kunnen optreden tegen Movento. Van het middel is in het begin van het gebruik ervan beperkt schade gevonden in de nateelt (broei). Mede hierdoor zal de teler het middel niet altijd, of niet optimaal toepassen, hetgeen de kans op het optreden van resistentie vergroot. De aanwijzingen op het etiket zijn een veilig advies ter voorkoming van problemen.

Apollo en Vertimec:

Enkele middelen zoals Apollo (clofentezin, tijdelijk toegelaten in 2015 en waarschijnlijk weer in oktober 2017) en Vertimec (abamectin, toelating vervallen) konden/kunnen ook als boldompeling worden toegepast na het rooien. Deze bestrijden echter niet alle stadia van de galmijt. Bovendien loopt de bol door die dompeling extra risico op andere aantastingen zoals Fusarium en is de aanwezigheid van residuen van gewasbeschermingsmiddelen op de bol een steeds vaker genoemd bezwaar bij bollen die in de consumentenhandel (tuincentra) komen.

3.4.4.8 Etherische Olie

Er is in het verleden onderzoek gedaan naar de mogelijkheid van toepassing van etherische olie (Lans and Conijn 2008) (Conijn 2006b). In een screening van 20 GNO's (vluchtige stoffen en etherische oliën) bleek een aantal van die stoffen, in dampvorm toegediend) een betere werking tegen tulpengalmijt te hebben dan Actellic. Een van die stoffen, etherische olie GNO 14 (Lemon Eucalyptus) bleek in vervolgonderzoek vergelijkbaar te werken als een ruimtebehandeling met Actellic-50. De conclusies waren:

- Meermalige verdamping van GNO 14 (vier en acht keer in het bewaar seizoen 2006, van juli - oktober) in een concentratie van 10 of 100 ml per m³ kon een aantasting van de bollen voorkomen.
- Meermalige verdamping van GNO 14 (zes keer in het bewaar seizoen 2007, van juli - oktober) in een concentratie van 10, 20, 40 ml per m³ leidde tot volledig gezonde bollen.
- Verdamping van het middel gaf zowel in 2006 alsook in 2007 geen schade aan de bollen aan het einde van de bewaring (visuele schade), bij de bloei in de kas (oogstgewicht) en na een veldteelt (oogstgewicht).

De meermalige verdamping van Actellic gedurende het bewaar seizoen ter bestrijding van galmijten kan worden vervangen worden door een meermalige verdamping met GNO 14. In het onderzoek is

GNO 14 vier, zes of acht keer gedurende minimaal 24 uur verdampt tijdens het bewaarperiode. Gedurende vierentwintig uur bleef in de cel gesloten (alleen circulatie) zonder ventilatie. Mogelijk dat bij toepassing van GNO 14 in de praktijk de ethyleenconcentratie in de bewaarruimte gedurende 24 uur te hoog kan oplopen. In vervolgonderzoek zou moeten worden onderzocht hoe lang het middel in de bewaarruimte minimaal moet circuleren voor een afdoende bestrijding van de galmijten.

Het vervolgonderzoek is na 2007 nooit uitgevoerd, omdat er geen fabrikant bereid was een toelatingsdossier te verzorgen, deze eis werd gesteld aan de financiering van het onderzoek. Vanwege het gunstige perspectief als behandelmiddel is het anno 2017 in het kader van het Phytotec-project weer in onderzoek opgenomen. Het is echter nog steeds geen toegelaten middel.

3.4.4.9 Ozon

Onderzoek bij Proeftuin Zwaagdijk laat zien dat bij zeer hoge doseringen (75 tot 100 ppm), ozon effectief is tegen galmijt (Duin 2011, 2013). Er bleek bij 100 ppm echter ook een nadelige invloed op de kwaliteit van de bloemen. Lagere doseringen (75 ppm en lager) waren niet schadelijk voor het gewas, maar ook minder effectief tegen galmijt. Een langdurig lage dosering (0,06 ppm) was niet effectief. In een tweede proefjaar werd met 5 behandelingen van 75 ppm weer wél effect gezien van ozon op tulpengalmijt, er was echter geen sprake van volledige doding.

Ozon en Arbo: Doseringen van ozon bij genoemde waarden kunnen vanwege de Arboret alleen in afgesloten cellen worden toegepast. De MAC-waarde voor ozon was 0,06 ppm (gemiddelde waarde over 8 uur), de tegenwoordig gebruikte wettelijke grenswaarde is 0,12 mg/m³ (1 uur tijd gewogen gemiddelde).

Ozon kan in de toekomst een alternatief zijn, maar er is meer onderzoek nodig naar behandelwijze en concentraties en de risico's op schade aan materialen (corrosie) en risico voor de toepasser. Het inzetten van ozon met het doel om mijten te doden is niet toegelaten.

3.4.4.10 Koud Plasma

Door elektrische energie toe te voegen aan een gas of gasmengsel ontstaat plasma. Dit kan worden opgewekt onder normale atmosferische druk en bij kamertemperatuur. Het gas heeft een ontsmettende eigenschappen, afhankelijk van tijdsduur, samenstelling van het gas en concentratie. Met de bestrijding van bacteriën en schimmels is wat ervaring. Met insecten en mijten zijn ook tests gedaan maar daar is het effect veel minder. Dit kan worden opgevangen door een langduriger behandelingsduur, maar daarmee kan dan ook weer schade aan het product ontstaan.

Met deze techniek is nog geen bruikbaar effect waargenomen tegen tulpengalmijt. (Persoonlijke ervaringen M van Dam).

Verder ontwikkeling van deze techniek is nodig. Zie ook het hoofdstuk 'Nieuwe behandeltechnieken tegen ongewenste insecten bij verse producten'.

3.4.4.11 Gammastraling

Doorstraling met gammastraling is een methode om ziektekiemen, onder andere in voedsel, te doden. In tegenstelling tot voedselproducten is het bij bollen essentieel dat de groei van de bol na de behandeling mogelijk blijft.

In het verleden is in bolgewassen geprobeerd hiermee mijten en nematoden te doden, maar de dosis was vaak te hoog waardoor de bollen ook werden gedood. In 2005 werden, in een klein experiment, gezonde tulpenbollen met de toen laagst mogelijke dosis gammastraling in een commerciële opstelling (0,5 kGray) behandeld. Bij 0,5 kGray was de spruit ernstig in de groei geremd. Ook is bruinverkleuring in de bolbodem zichtbaar. Bij de een dosering van 1 kGray is de hele bol gedood en al het weefsel bruin verkleurd. Vanwege de ontstane weefsel schade is niet verder gezocht naar doding van organismen. (Dam et al. 2006) Verder onderzoek naar doseringen rond 100 tot 300 Gy is gewenst.

3.4.4.12 Biologische bestrijding

Roofmijten

Sinds enkele jaren is er een roofmijt bekend (*Neoseiulus paspalivorus*) die veelbelovend lijkt als nieuwe bestrijder van tulpengalmijt. Er was al eerder een roofmijt bekend (*Neoseiulus cucumeris*, oude naam: *Amblyseius cucumeris*), maar deze bleek onvoldoende effectief. Het verschil zit in het feit dat de nieuwe roofmijt veel kleiner is zodat deze beter op plaatsen in de bol kan komen waar de eveneens zeer kleine tulpengalmijt zich bevindt. *N. paspalivorus* blijkt in laboratoriumonderzoek tulpengalmijt in voldoende mate te onderdrukken en kan daarbij ook zichzelf in stand houden na toediening (Lesna et al. 2014). De roofmijt *N. baraki* lijkt door zijn kleine vorm naast *N. paspalivorus* ook een goede kanshebber als biologische bestrijder.

Voor praktijktoepassing van de roofmijten is het essentieel dat er een eenvoudige kweekmethode wordt gevonden. Verder onderzoek naar alternatieve voedselbronnen om de kweekmethoden te verbeteren is daarvoor nodig. Het toepassen van de roofmijt zou een belangrijke stap kunnen zijn in de richting van biologische of geïntegreerde bestrijding van lastige en verscholen mijtsoorten in allerlei gewassen. Voordat deze roofmijt in de praktijk kan worden toegepast zijn aanvullende testen nodig voor de werking van deze roofmijt onder praktijkomstandigheden. Dit onderzoek is opgenomen in een PPS Biologische bestrijding schadelijke mijten (WUR glastuinbouw), die in juli 2017 is gestart. De beschikbaarheid van de mijt is vooralsnog een probleem.

Mijt-pathogene schimmels In PPO-onderzoek (Conijn and Zuilichem 2003b) werd uitvoerig onderzoek gedaan naar de inzet van mijt pathogene schimmels. Deze bestrijdingswijze lijkt perspectief te bieden, maar is nog niet praktijkrijp. De resultaten van het onderzoek laten wel zien dat de tulpengalmijt voor een belangrijk deel bestreden kan worden met een mijt pathogene schimmel. Effectieve toediening van de schimmel is mogelijk door dompeling van het plantgoed vlak voor het planten. Dit leidde tot veel minder aangetaste bollen in de bewaring na rooien. Toediening bij aanvang van de bewaring bleek niet effectief vanwege het droge klimaat in de bewaarcellen. Door de natte toepassing is er gevaar voor uitbreiding van o.a. Fusarium.

Inzet van mijtpathogenen is bij uitstek geschikt voor biologische teelt, want hierbij worden geen fungiciden toegepast. De bruikbaarheid in gangbare teelt is minder, omdat het pathogeen niet bestand is tegen de regulier gebruikte fungiciden in de bollenteelt.

3.5 Bemisia tabaci - groenten/fruit/bloemen/planten

(Geschreven door: Yu Tong Qiu en Klaas van Rozen)

Tabakswittevlieg *Bemisia tabaci* wordt wel gezien als één van de grootste plagen voor landbouwgewassen wereldwijd, mede door de vele virussen die door dit insect kunnen worden overgebracht. In de kasteelt van sierplanten nemen de problemen en eventuele regulering toe (De Hoop et al. 2015).

3.5.1 Quarantaine status

In Europa hebben het Verenigde Koninkrijk, Ierland, Finland, Zweden en delen van Portugal de status van beschermd gebied voor *B. tabaci*. Bij elke vondst van *B. tabaci* in deze landen voeren de fytosanitaire autoriteiten een uitroeiingsactie uit. Voor uitgangsmateriaal van de belangrijkste waardplanten zoals *Euphorbia pulcherrima* (kerstster), *Begonia*, *Ficus* en *Hibiscus* geldt een specifieke EU-regulering. Voor de eindproducten gelden geen specifieke maatregelen en geen plantenpaspoortplicht, maar de lidstaten zijn wel verplicht om de introductie van *B. tabaci* naar de beschermde gebieden te voorkomen. In het Verenigd Koninkrijk (VK) zijn in 2015 een recordaantal onderscheppingen geweest van *B. tabaci* op pot- en perkplanten uit Nederland, waardoor het land de EU-regelgeving wil aanscherpen. Dit kan grote gevolgen hebben voor de Nederlandse siertelers (De Hoop et al. 2015) en groentetelers.

3.5.2 Levenscyclus

Bemisia tabaci vermeerdert zich op arrhenotoke parthenogenetische wijze; een vorm van ongeslachtelijke voortplanting waarbij onbevuchte eitjes leiden tot haploïde mannetjes en bevruchte vrouwtjes diploïde vrouwtjes oplevert. Vrouwtjes van *B. tabaci* leggen 50-400 eieren op de bladeren, meestal aan de onderzijde, afhankelijk van plantensoort en temperatuur. Eieren worden vaak in een halve cirkel gelegd omdat vrouwtjes blijven voeden; ze draait rondom haar in het plant floëem gestoken stilet als ze haar eieren afzet. Er zijn vier larvale stadia, het eerste larvale stadium is mobiel maar de afgelegde afstand is beperkt. Dit stadium zoekt een geschikte plek om te voeden uit het floëem en de rest van de larvale stadia blijft op dezelfde plek in het floëem foerageren.

3.5.3 Gastheergewas en schade

Tabakswittevlieg heeft een zeer breed spectrum van gastheerplanten van meer dan duizend soorten uit meer dan 100 families, en deze getallen groeien nog steeds. Veel sier- groenten- en fruitgewassen zijn gevoelig voor aantasting door witte vlieg. De schade van *B. tabaci* zijn veelzijdig. Grote aantallen adulten en nimfen kunnen de plant verzwakken door het opzuigen van plantsap. Tijdens het voeden scheiden de adulten en nimfen honingdauwdruppels uit, die rijk aan plantsuikers zijn. Hierop kunnen zwarte roetdauwschimmels groeien, die fotosyntheses verhinderen en waardoor de productkwaliteit onverkoopbaar kan worden. Het voeden door nimfen kan ook problemen geven bij plantontwikkeling en bepaalde fysiologische beperkingen veroorzaken waardoor de sierwaarde of interne kwaliteit van de producten verminderd wordt. De grootste bedreiging van tabakswittevlieg is zijn vermogen om meer dan 100 virussen te verdragen (Jones 2003).

3.5.4 Temperatuurgevoeligheid

Voor alle stadia van *B. tabaci* neemt mortaliteit toe met toenemende temperatuur, hoger dan 40°C. De volwassen adulten zijn meest gevoelig voor hoge temperatuur, larven en poppen zijn minder gevoelig. De drempelwaarde qua lage temperatuur waarbij *B. tabaci* kan doorontwikkelen wordt geschat op 10.7°C (Bonato et al. 2015).

Tabel 10 Behandeltijd die benodigd is om 100% mortaliteit te bereiken voor verschillende stadia van *B. tabaci*. (Tsueda et al. 2007)

| Stadia van <i>B. tabaci</i> | 40 °C | 45 °C | 50 °C |
|-----------------------------|----------|-------|-------|
| Adulten | 12 | 1 | 0.5 |
| Poppen | NA (>24) | 7 | 7 |
| Larven | NA (>24) | 12 | 5 |

3.5.5 Bestrijding

3.5.5.1 Fysieke bestrijding

- 1 De volwassen wittevliegen komen op een gele kleur af, daarom kan met een gele vangplaat zowel de populatie gemonitord worden, alsook een deel van de populatie weggevangen worden. Een andere effectieve fysieke maatregel is het installeren van insectengaas (50-mesh) in de luchtramen, waardoor de adulten tegengehouden worden om de kassen binnen te komen. Helaas is deze maatregel weinig toegepast omdat het insectengaas negatief invloed heeft op het klimaat in de kas.
- 2 Er zijn een aantal mogelijkheden met biologische bestrijding. Een aantal sluipwespen die de nimfen van wittevliegen parasiteren zijn commercieel beschikbaar voor de bestrijding van *B. tabaci*, zoals *Encarsia formosa* en *Eretmocerus eremicus*. Ook predatorische roofwantsen (*Macrolophus pygmaeus*) en roofmijten (*Amblydromalus limonicus*, *Amblyseius swirskii*) en roofkevers (*Delphastus catalinae*) worden gebruikt voor wittevlieg bestrijding. Daarnaast worden Entomopathogisch schimmelproducten van *Verticillium lecanii* of *Beauveria bassiana* ook gebruikt.
- 3 Als chemische bestrijding zijn in Nederland 12 middelen toegelaten voor wittevlieg bestrijding in bedekte sierplantteelten.

3.5.5.2 Etherische olie op wittevliegen

Fumigatie effect van etherisch olie op volwassen wittevliegen

De meeste studies beschreven in de literatuur waarbij effectiviteit van etherisch olie tegen wittevliegen zijn uitgevoerd met volwassen witte vliesen, kennelijk omdat dit het makkelijkst uitvoerbaar is ten opzichte van proeven met andere stadia. **Tabel 11** toont een overzicht met etherische olien welke doding van adulten hebben gerealiseerd. Omdat de behandeling tijd en dosering verschillend zijn tussen verschillende studies, is het niet altijd mogelijk om een eerlijk vergelijk te maken voor de effectiviteit. In een studie waarin oliën van 90 plant soorten werden gescreend voor de effectiviteit tegen volwassen *B. tabaci*, resulteerden 17 typen in 100% doding (Kim et al. 2011). Voor de kas wittevlieg *Trialeurodes vaporariorum* doding gerealiseerd door het gebruik van olie van peterselie en *Laurelia sempervirens* (Mahmoodi et al. 2014, Zapata et al. 2016) (Tabel 3), de laatste heeft sterker dodingseffect dan de eerste.

Langere behandelingen (24-48 u) met etherische olie van *Pelargonium graveolens*, *Thymus vulgaris* of carvone (een van de actieve stoffen uit *Mentha spicata*) kunnen de volwassen *B. tabaci* 100% doden (Aslan et al. 2004) (Choi and Kim 2004). Voor kortere behandelingen (2-4 uur) kan safrole, eucalyptol of olie van *Labiatae* spp. en *Foeniculum vulgare*, 100% doding bereiken, met 10-20 mg/L dosering. In de "Notitie" column van Tabel 2 worden de bestaande toepassingen van de benoemde etherisch olie aangegeven, zoals ingrediënten voor parfum, medicijn, gezondheidszorg of in de voedingsindustrie. Deze informatie geeft indicatie voor de humane toxiciteit en moeilijkheidsgraad voor eventueel toelating.

Tabel 11 Effectiviteit van behandeling met etherisch olie op volwassen *Bemisia tabaci*

| Plantsoort/olie | Dosering | Toegepast op | Tijdsduur behandeling | Mortaliteit | Referentie | Notitie |
|---------------------------------|---------------------|-----------------|-----------------------|------------------|----------------------------|---|
| Safrole | 10 mg/L | Snijbloemen | 2 | 100% | (Kostyukovsky et al. 2002) | Ingrediënt voor insecticide en MDMA. Het is carcinogeen en in VS verboden om te gebruiken bij voedingsmiddelen. |
| Labiatae spp. | 10 mg/L | Snijbloemen | 2 | 100% | (Kostyukovsky et al. 2002) | Etherische olie of monoterpenen |
| 1.8-Cineole (eucalyptol) | 15 mg/L | Snijbloemen | 2-4h | 100% | (Kostyukovsky et al. 2002) | Eucalyptol is een expectorans en het maakt het slijm in de ademhalingswegen los. Het is een ingrediënt van verscheidene mondwaters, hoestmiddelen en middelen voor de behandeling van ademhalingsproblemen. |
| Foeniculum vulgare | 20 mg/L | Snijbloemen | 4 | 100% | (Kostyukovsky et al. 2002) | Venkelknol als groente, en zaad als kruid om mee te koken |
| Pelargonium graveolens, | 0.5ul/L | Tomaten | 24h | 100% | (Baldin et al. 2015) | Parfumindustrie voor "pelargonium-olie"; geïdentificeerd componenten: geraniol, linalool, citronellol |
| Thymus vulgaris | 1.6-3.1ul/L | Bonen | 24, 48, 96h | 80-100% | (Aslan et al. 2004) | Kruid om mee te koken en als kruidengeneeskunde |
| Carvone | 5.3 ul/L & 10.5ul/L | Tomaten | 48h | 100% | (Choi and Kim 2004) | Olie wordt gebruikt als smaakstof voor tandpasta en zoetwaren, en wordt soms toegevoegd aan shampoo's en zeepjes |
| Adenocalymma alliaceum | 0.8ul/L | Diverse planten | 3 | LC ₅₀ | (Fanela et al. 2016) | Deze plant wordt gebruikt als vervanging voor knoflook in voedsel. |
| Adenocalymma alliaceum | 0.1ul/L | Diverse planten | 6 | LC ₅₀ | (Fanela et al. 2016) | Deze plant wordt gebruikt als vervanging voor knoflook in voedsel. |
| Pelargonium graveolens | 0.6ul/L | Diverse planten | 24 | LC ₅₀ | (Fanela et al. 2016) | Gebruikt voor parfum en aroma in voeding industrie. |

| Plantsoort/olie | Dosering | Toegepast op | Tijdsduur behandeling | Mortaliteit | Referentie | Notitie |
|---|-----------------------|---------------------------------------|-----------------------|------------------|----------------------|--|
| <i>Laurelia sempervirens</i> | 10.35 ul/L | <i>Cucumis melo</i> (oosterse meloen) | 4h | LC ₉₀ | (Zapata et al. 2016) | <i>Trialeurodes vaporarioru</i> . Gebruikt door Mapuche Amerindians voor het behandelen van hoofdpijn en diuretica |
| <i>Laurelia sempervirens</i> | 2 ul/L | <i>Cucumis melo</i> | 6.84 h | LT ₉₀ | (Zapata et al. 2016) | <i>Trialeurodes vaporarioru</i> . Gebruikt door Mapuche Amerindians voor het behandelen van hoofdpijn en diuretica |
| Buchu, Kotelet, Kaneel, Citronella, Koriander, Knoflook, Lavendel, Kalk, Litsea Kubeba, Melissa, Oregano, Pennyroyal, Pepermunt, Hartig, Tijm, Wintergroen, Wortelbruin | 2.4ml/cm ³ | NR | 24h | 100% | (Kim et al. 2011) | De dosering zoals beschreven in de publicatie lijkt niet te kloppen. |

Tabel 12 Effectiviteit van etherisch olie aan volwassen kas wittevlug *Trialeurodes vaporariorum*

| Plant species | Dosering | Plant product | Stadia | Tijdsduur behandeling | Mortaliteit | Referentie | Notitie |
|--|---------------------|---------------|---------|-----------------------|-------------|---------------------|---|
| <i>salamblad, karwijzaad, citroen eucalyptus, citroengras, oregano, palmarosa, pennyroyal, pepermint, pimento bessen, spearmint, tijmwit, wormhout</i> | 2.3µl/L | Tomaat | adulten | 24u | 100% | (Choi et al. 2003) | Dit zijn allemaal eetbare planten. |
| Carvone | 5.3 ul/L & 10.5ul/L | Tomaat | adulten | 48h | 100% | (Choi and Kim 2004) | Olie wordt gebruikt als smaakstof voor tandpasta en zoetwaren, en wordt soms toegevoegd aan |

| Plant species | Dosering | Plant product | Stadia | Tijdsduur behandeling | Mortaliteit | Referentie | Notitie |
|------------------------------|------------------|---------------|---------|-----------------------|------------------|------------------------|---|
| | | | | | | | shampoos en zeepjes |
| <i>Petroselinum crispum</i> | 2.41ul/L lucht | NR | adulten | 24h | LC ₅₀ | (Mahmoodi et al. 2014) | <i>Petroselinum crispum</i> peterselie is groente |
| <i>Petroselinum crispum</i> | 2.41ul/L lucht | NR | adulten | 8.71h | LT ₅₀ | (Mahmoodi et al. 2014) | <i>Petroselinum crispum</i> peterselie is groente |
| <i>Laurelia sempervirens</i> | 10.35 ul/L lucht | NR | adulten | 4h | LC ₉₀ | (Zapata et al. 2016) | Bladeren gebruikt als medicijn tegen hoofdpijn. |
| <i>Laurelia sempervirens</i> | 2 ul/L lucht | NR | adulten | 6.84 h | LT ₉₀ | (Zapata et al. 2016) | Bladeren gebruikt als medicijn tegen hoofdpijn. |

Effect op andere stadia dan volwassen wittevlieg

Met het gebruik van een slow-release systeem van *Zanthoxylum rhoifolium* olie op een zeer hoge concentratie (5%), werd 95% reductie van eieren en nimfen van *B. tabaci* bereikt (Christofoli et al. 2015). Etherisch olie van *Adenocalymma alliaceum* damp was effectief tegen zowel adulten als nimfen van *B. tabaci*, hoewel de nimfen moeilijker te doden waren dan de adulten: om de helft van de nimfen te doden duurt het 30 uur bij een concentratie van 1ul/L, terwijl voor de adulten maar 2 uur nodig was met dezelfde concentratie ((Fanela et al. 2016)).

Uit een onderzoek met etherische oliën van 53 planten, bleken laurier, karwijzaad, kruidnagel blad, citroen-eucalyptus, kalkdis 5 F, pennyroyal, pepermunt, palissander, spearmint en thee boomoliën zeer effectief tegen *T. vaporariorum* volwassenen, nimfen en eieren bij een concentratie van respectievelijk 2.3, 9.3 en 4.7 µl / L lucht (Choi et al. 2003) (Tabel 3 en 4). Een effectieve olie voor het ene stadium heeft grote kans om effectief te zijn tegen andere stadia. Het blijkt uit deze studie dat het nimfen stadium het meest tolerant en de adult het meest gevoelig was voor etherisch oliën. Etherisch olie van citroenschil met een concentratie van 32 µl / L lucht kon 58, 70 en 56% van eieren, nimfen (1st instar) en adulten doden (Delkhooon et al. 2013) (Tabel 4). Extracten en etherische oliën van *Thymus vulgaris* L., *Achillea millefolium* L., *Lavandula angustifolia* Mill en *Foeniculum vulgare* Mill werden getest op hun werkzaamheden tegen eieren en nimfen (2e slip) van *T. vaporariorum*. De responsen varieerden naar gelang het type olie, dosis en het ontwikkelingsstadium van het insect. Olie van tijm en venkel bleken het meest effectief met respectievelijk LC50 bij 70,75 µl/ml lucht en 78,23 µl/ml lucht. Lavendel was het minst effectief met een LC50 bij 89,11 µl/ml lucht.

Concluderende opmerking:

Bovenstaande effectieve oliën beschouwende en een grove inschatting van humane toxiciteit, dan komen de volgende oliën als meest belovende kandidaten voor begassingsbehandeling tegen witte vlieg: *Labiatae* spp. *Laurelia sempervirens*, *Oregano*, pennyroyal, salamblad, citronella java, citroengras, limoen dus 5F, pepermunt, mogelijk in combinatie met CATT behandeling.

Tabel 13 Effectiviteit van etherisch olie aan andere stadia dan volwassen wittevlies

| Plant species | Dosering | Wittevlies soort | Stadia | Plant product | Tijdsduur behandeling | Mortaliteit | Referentie | Notitie |
|---|--------------|----------------------------------|---------------------------|---------------|-----------------------|-------------------|---------------------------|--|
| <i>Zanthoxylum rhoifolium</i> | 5% | <i>Bemisia tabaci</i> | eieren en nimfen | tomaat | 12u | 95% | (Christofoli et al. 2015) | Slow release system van etherisch olie |
| <i>Adenocalymma alliaceum,</i> | 0.4 µl/L | <i>Bemisia tabaci</i> | Nimfen , adulten | tomaat | 3.7u | LT50 | (Fanela et al. 2016) | |
| <i>Adenocalymma alliaceum,</i> | 1 µl/L | <i>Bemisia tabaci</i> | Nimfen , adulten | tomaat | 2u | LT50 | (Fanela et al. 2016) | |
| <i>oregano, pennyroyal</i> | 9.3µl/L | <i>Trialeurodes vaporariorum</i> | nimfen | tomaat | 24u | 100% | (Choi et al. 2003) | eetbare planten. |
| <i>salamblad, citronella java citroengras, limoen dus 5F, pepermint</i> | 9.3µl/L | <i>Trialeurodes vaporariorum</i> | eieren | tomaat | 24u | 100% | (Choi et al. 2003) | eetbare planten. |
| <i>Lemon</i> | 32ul/L lucht | <i>Trialeurodes vaporariorum</i> | Eieren, nimfen en adulten | Green bean | onbekend | 58, 70, and 69.3% | (Delkhoon et al. 2013) | |

3.5.5.3 UV-adsorberende plastic film

Er zijn verschillende studies bekend waarbij in kassen of tunnels die bedekt zijn met UV-absorberend materiaal, welke UV licht tussen 200-300nm absorbeert, minder aantasting van witte vliegen, minder problemen met virus transmissie en ook minder schade door *Frankliniella occidentalis* gemeld werd. (Mutwiwa et al. 2005, Rapisarda et al. 2005, Diaz et al. 2006, Rapisarda et al. 2006). Het gedrag en distributie van de wittevliegen wordt gestoord en daardoor maken ze minder schade op de gewassen.

3.5.5.4 Straling

Behandeling met gamma- of röntgenstraling op een redelijke lage dosering kunnen wittevliegen in elke positie in de verpakking met chrysanten doden. Röntgenstraling behandeling van 150 Gy leidt tot 100% doding van eieren, nimfen en adulten van *B. tabaci* (Yun et al. 2015, Yun et al. 2016). De dosering voor volledige doding van *B. tabaci* is iets lager dan die voor *Frankliniella intonsa* (200Gy). Bepaling van dosering is afhankelijk van de sierplant soort, insect soort en de positie in de verpakking (Yun et al. 2016).

Literatuur

- (2017) Informatieblad biologische teelt van gewassen, Zwolle, NL: Skal biocontrole.
- Abd El-Aziz, M.F., E.A. Mahmoud, and G.M. Elaragi (2014) Non thermal plasma for control of the Indian meal moth, *Plodia interpunctella* (Lepidoptera: Pyralidae). *Journal of Stored Products Research* 59, 215-221.
- Abdel-Baky, N.F., and A.A. Al-Soqeer (2017) Controlling the 2nd Instar Larvae of *Tuta absoluta* Meyrick (Lepidoptera: Gelechiidae) by Simmondsin Extracted from Jojoba Seeds in KSA. *Journal of Entomology* 14, 73-80.
- Abo-El-Saad, M.M., H.A. Elshafie, A.M. Al-Ajlan, and I.A. Bou-Khowh (2011) Non-chemical alternatives to methyl bromide against *Ephestia cautella* (Lepidoptera: Pyralidae): microwave and ozone. *Agriculture and Biology Journal of North America* 2, 1222-1231.
- Adil, B., A. Tarik, A. Kribii, and K. Ounine (2015a) The Study Of The Insecticidal Effect Of *Nigella Sativa* Essential Oil Against *Tuta Absoluta* Larvae pp. 3 *International Journal of Scientific & Technology Research*.
- Adil, B., A. Tarik, K. Abderrahim, and K. Ounine (2015b) Evaluation of the Insecticidal Effect of the Essential Oil of *Cinnamomum zeylanicum* Against *Tuta absoluta* (Meyrick) pp. 5 *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*.
- Alam, S.B., M.E. Dib, N. Djabou, B. Tabti, N.G. Benyelles, J. Costa, and A. Muselli (2017) Essential Oils as Biocides for the Control of Fungal Infections and Devastating Pest (*Tuta absoluta*) of Tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Chem Biodivers* 14,
- APHIS (2011a) USDA-APHIS-PPQ Treatment Manual. Treatment Schedules T600-Controlled Atmosphere Temperature Treatment System (CATTS). USDA-APHIS, Washington DC, USA.,
- APHIS (2011b) SUBJECT: Federal Import Quarantine Order for Host Materials of Tomato Leafminer, *Tuta absoluta* (Meyrick) pp. 6.
- Arendse, E., O.A. Fawole, L.S. Magwaza, and U.L. Opara (2016) Estimation of the density of pomegranate fruit and their fractions using X-ray computed tomography calibrated with polymeric materials. *Biosystems Engineering* 148, 148-156.
- Ariana, D.P., and R. Lu (2010) Hyperspectral waveband selection for internal defect detection of pickling cucumbers and whole pickles. *Computers and Electronics in Agriculture* 74, 137-144.
- Arthur, V. (2004) Use of gamma radiation to control three lepidopteran pests in Brazil. *International Atomic Energy Agency Technical Documents*,
- Aslan, I., H. Ozbek, O. Calmasur, and F. Sahin (2004) Toxicity of essential oil vapours to two greenhouse pests, *Tetranychus urticae* Koch and *Bemisia tabaci* Genn. *Industrial Crops and Products* 19, 167-173.
- Baldin, E.L.L., G.P. Aguiar, T.L.M. Fanela, M.C.E. Soares, M. Groppo, and A.E.M. Crotti (2015) Bioactivity of *Pelargonium graveolens* essential oil and related monoterpenoids against sweet potato whitefly, *Bemisia tabaci* biotype B. *Journal of Pest Science* 88, 191-199.
- Barkai-Golan, R., and P.A. Follett (2017) Irradiation for Quality Improvement, Microbial Safety, and Phytosanitation of Fresh Produce United States, Academic Press.
- Barnes, M. (1991) Codling moth occurrence, host, race formation, and damage pp. 313-329. [in]: *Tortricid pests, their biology, natural enemies and control. World Crop Pests. Elsevier, Amsterdam, Holland*,
- Bauch, C., and T. Rath (2005) Prototype of a vision based system for measurements of white fly infestation. *Acta Horticulturae (ISHS)* 691, 773-780.
- Bennedsen, B.S., and D.L. Peterson (2005) Performance of a System for Apple Surface Defect Identification in Near-infrared Images. *Biosystems Engineering* 90, 419-431.
- Best, A.L.I.C.d., M.J. Zwart, and C.J. Asjes (2000) Ziekten en afwijkingen bij bolgewassen - Liliaceae, Lisse, NL: Laboratorium voor Bloembollenonderzoek.
- Bhuiya, A.D., M.Z.R. Majumder, G. Nahar, R.M. Shahjahan, and M.A. Khan (1999) Irradiation as a quarantine treatment of cut flowers, ginger and turmeric against mites, thrips and nematodes pp. 57-65, IAEA.

- Blago, N., and E. Dickler (1990) Neue Methode zur Untersuchung der Ei-Phänologie des Apfelwicklers, *Cydia pomonella* L. (Lep., Tortricidae). *Journal of Applied Entomology* 109, 98-104.
- Blomefield, T.L., Pringle, K.L.**, amp, and A. Sadie (1997) Field observations on oviposition of codling moth, *Cydia pomonella* (Linnaeus) (Lepidoptera: Olethreutidae), in an unsprayed apple orchard in South Africa. *African Entomology* 5, 319-336.
- BNS (2012) Kernenergie beter begrijpen pp. 95 Belgium, Belgian Nuclear Society.
- BOC (2015) Vapormate fumigant APVMA approval number 56186/50374. Australia, BOC Limited.
- Boissard, P., V. Martin, and S. Moisan (2008) A cognitive vision approach to early pest detection in greenhouse crops. *Computers and Electronics in Agriculture* 62, 81-93.
- Brito, E.F.d., E.L.L. Baldin, R.d. Carvalho Macedo Silva, L.d. Prado Ribeiro, and J.D. Vendramim (2015) Bioactivity of Piper extracts on *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae) in tomato pp. 196-202 Pesq. agropec. bras. Brasilia.
- Bustos-Griffin, E., G.J. Hallman, and R.L. Griffin (2012) Current and potential trade in horticultural products irradiated for phytosanitary purposes. *Radiation Physics and Chemistry* 81, 1203-1207.
- Cagnotti, C.L., M.M. Viscarret, M.B. Riquelme, E.N. Botto, L.Z. Carabajal, D.F. Segura, and S.N. Lo´pez (2012) Effects of X-rays on *Tuta absoluta* for use in inherited sterility programmes. *Journal of Pest Science* 85, 413-421.
- Carletti, L., R. Botondi, R. Moschetti, E. Stella, D. Monarca, M. Cecchini, and R. Massantini (2013) Use of ozone in sanitation and storage of fresh fruits and vegetables. *Journal of Food, Agriculture & Environment* 11, 585-589.
- CBS (2017) statline.cbs.nl.
- Chegini, S.G., and H. Abbasipour (2017) Chemical composition and insecticidal effects of the essential oil of cardamom, *Elettaria cardamomum* on the tomato leaf miner, *Tuta absoluta*. *Toxin Reviews* 36, 12-17.
- Cho, J., J. Choi, M. Qiao, C. Ji, H. Kim, K. Uhm, and T. Chon (2007) Automatic identification of whiteflies, aphids and thrips in greenhouse based on image analysis. *International Journal of mathematics and computers in simulation*,
- Choi, W., E. Lee, B. Choi, H. Park, and Y. Ahn (2003) Toxicity of plant essential oils to *Trialeurodes vaporariorum* (Homoptera: Aleyrodidae). *Journal of Economic Entomology* 96, 1479-1484.
- Choi, Y., and G. Kim (2004) Insecticidal activity of spearmint oil against *Trialeurodes vaporariorum* and *Bemisia tabaci* adults. *Korean Journal of Applied Entomology* 43, 323-328.
- Christofoli, M., E.C.C. Costa, K.U. Bicalho, V.d.C. Domingues, M.F. Peixoto, C.C.F. Alves, W.L. Araujo, and C.d.M. Cazal (2015) Insecticidal effect of nanoencapsulated essential oils from *Zanthoxylum rhoifolium* (Rutaceae) in *Bemisia tabaci* populations. *Industrial Crops and Products* 70, 301-308.
- Cloyd, R.A., C.L. Galle, S.R. Keith, N.A. Kalscheur, and K.E. Kemp (2009) Effect of commercially available plant-derived essential oil products on arthropod pests. *Journal of Economic Entomology* 102, 1567-1579.
- CODEX (2003) General Standard For Irradiated Foods pp. 3 CODEX STAN 106-1983, rev. 1-2003. FAO.
- Condon, C.H., S. White, R.L. Meagher, L.A. Jeffers, W.D. Bailey, and D.A. Hahn (2017) Effects of Low-Oxygen Environments on the Radiation Tolerance of the Cabbage Looper Moth (Lepidoptera: Noctuidae). *Journal of Economic Entomology* 110, 80-86.
- Conijn, C. (2006a) Gewijzigde luchtsamenstelling bestrijdt ongedierte in bloembollenbewaarcel \ Gewasbescherming : mededelingenblad van de Nederlandse Planteziektenkundige Vereniging in samenwerking met de Coördinatiecommissie Onkruidonderzoek NRLO.
- Conijn, C. (2006b) Perspectief van alternatieven voor de bestrijding van mijten bij tulp en lelie : een vooronderzoek, Lisse, NL: Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, Bloembollen, Boomkwekerij & Fruit.
- Conijn, C., and H.v. Zuilichem (2003a) Nieuwe bewaarmethode laat tulpengalmijt stikken \ BloembollenVisie / gezamenlijke uitg. van de Cooperatieve Nederlandse Bloembollencentrale (B.A.) en de Koninklijke Algemeene Vereeniging voor Bloembollencultuur.
- Conijn, C., M. Bredeveld, H.v. Zuilichem, and M.v. Dam (2004) ULO-bewaring maakt lang bewaren en galmijtbestrijding mogelijk \ BloembollenVisie / gezamenlijke uitg. van de Cooperatieve Nederlandse Bloembollencentrale (B.A.) en de Koninklijke Algemeene Vereeniging voor Bloembollencultuur.
- Conijn, C.G.M., and J.A.A.v. Zuilichem (2003b) Overzicht onderzoek mijtpathogene schimmels tegen tulpengalmijt. Seizoen 2001 -2002 Lisse, PPO Bloembollen.
- Conijn, C.G.M., J. Van Aartrijk, and I. Lesna (1996) 3.2.12 Flower bulbs. *World Crop Pests* 6, 651-659.

- Dam, M.F.N.v., M.d. Boer, H.A.E.d. Werd, S.J. Breeuwsma, and A.J.M.v. Haaster (2006) Epidemiologie en beheersing van Fusarium in tulp : experimenten, onderzoek en literatuurstudie naar aspecten van verspreiding en beheersing van zuur in tulp, Lisse, NL: Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, Sector bloembollen en bolbloemen.
- Dam, M.v. (2012) Warmwaterbehandeling van tulpen 2012 : voortgezet onderzoek (3e jaar) naar temperatuurtolerantie van bollen en doding van tulpenstengelaaltjes in tulpen i.v.m. de mogelijke toepassing van warmwaterbehandeling tegen stengelaaltjes in tulp, Lisse, NL: Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, Sector Bomen, Bollen & Fruit.
- De Hoop, B., M. Jansen, and C. Jilesen (2015) Tabakswittevlieg (*Bemisia tabaci*) in kasteeltierplanten: meer problemen meer regulering. *Gewasbescherming* 46, 181-189.
- Delkhoon, S., M. Fahim, J. Hosseinzadeh, and O. Panahi (2013) Effect of lemon essential oil on the developmental stages of *Trialeurodes vaporariorum* West (Homoptera: Aleyrodidae). *Archives of Phytopathology and Plant Protection* 46, 569-574.
- Diaz, B.M., R. Biurrun, A. Moreno, M. Nebreda, and A. Fereres (2006) Impact of ultraviolet-blocking plastic films on insect vectors of virus diseases infesting crisp lettuce. *HortScience* 41, 711-716.
- Donohue, K.V., B.L. Bures, M.A. Bourham, and R.M. Roe (2006) Mode of Action of a Novel Nonchemical Method of Insect Control: Atmospheric Pressure Plasma Discharge. *Journal of Economic Entomology* 99, 38-47.
- Donohue, K.V., B.L. Bures, M.A. Bourham, and R.M. Roe (2008) Effects of Temperature and Molecular Oxygen on the Use of Atmospheric Pressure Plasma as a Novel Method for Insect Control. *Journal of Economic Entomology* 101, 302-308.
- Duin, P. (2011) Bestrijding van mijten bij tulpen, Zwaagdijk-Oost, NL: Proeftuin Zwaagdijk.
- Duin, P. (2013) Ozon in tulpen, Zwaagdijk-Oost, NL: Proeftuin Zwaagdijk.
- Ebadah, I.M., S.E.M. Shalaby, and S.S. Moawad (2016) Impact of Certain Natural Plant Oils and Chemical Insecticides against Tomato Insect Pests. *Journal of Entomology* 13, 84-90.
- EFSA (2011) Scientific opinion of the efficacy and microbiological safety of irradiation of food. *EFSA Journal* 9, 88.
- ELEA Pulsed Electric Field Technology & it's benefits for solid products.
- Epenhuijsen, C.W.v., K.G. Somerfield, and D. Hedderley (2008) Efficacy of plant volatiles for post-harvest control of western flower thrips in fresh produce pp. 197-204 New Zealand.
- EPPO (2009) Heat treatment of wood to control insects and wood-borne nematodes. *EPPO Bulletin* 39, 31-31.
- Erler, F., and I. Tunç (2005) Monoterpenoids as fumigants against greenhouse pests: Toxic, development and reproduction-inhibiting effects. *Zeitschrift fur Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz* 112, 181-192.
- Espinoza, K., D.L. Valera, J.A. Torres, A. López, and F.D. Molina-Aiz (2016) Combination of image processing and artificial neural networks as a novel approach for the identification of *Bemisia tabaci* and *Frankliniella occidentalis* on sticky traps in greenhouse agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture* 127, 495-505.
- EU (1999) Richtlijn 1999/2/EG; de onderlinge aanpassing van de wetgevingen van de lidstaten inzake de behandeling van voedsel en voedselingredienten met ioniserende straling pp. 7 in E. P. e. d. Raad. (Ed.).
- EU (2016a) Verslag van de Commissie aan het Europees Parlement en de Raad over de behandeling van levensmiddelen en levensmiddeleningredienten met ioniserende straling in het jaar 2015 pp. 25 in E. Unie. (Ed.).
- EU (2016b) Lijst van de erkende installaties voor de behandeling van voedsel en voedselingredienten met ioniserende straling in de lidstaten pp. 5 in E. Unie. (Ed.).
- EU (2017) Evaluation of legislation related to the irradiation of food and food ingredients.
- Fanela, T.L.M., E.L.L. Baldin, L.E.R. Pannuti, P.L. Cruz, A.E.M. Crotti, R. Takeara, and M.J. Kato (2016) Lethal and inhibitory activities of plant-derived essential oils against *Bemisia tabaci* Gennadius (Homoptera: Aleyrodidae) biotype B in tomato. *Neotropical Entomology* 45, 201-210.
- FAO (2011) FAO/IAEA Guidelines for Implementing Systems Approaches for Pest Risk Management of Fruit Flies. Working Material, Joint FAO/IAEA Division of Nuclear Techniques in Food and Agriculture.
- FDA (2000) Supplement: Kinetics of Microbial Inactivation for Alternative Food Processing Technologies, revised. *Journal of Food Science* 65, 1-108.
- FDA (2001) Secondary direct food additives permitted in food for human consumption. *Federal Registration* 66, 33829-33830.

- FDA (2016) Food Irradiation: What You Need to Know in F. a. D. Administration. (Ed.) USA.
- Fields, P.G., and W. N.D.G. (2002) ALTERNATIVES TO METHYL BROMIDE TREATMENTS FOR STORED-PRODUCT AND QUARANTINE INSECTS. *Annual Review of Entomology* 47, 331-359.
- Follett, P. (2014) Phytosanitary irradiation for fresh horticultural commodities: generic treatments, current issues, and next steps. *Stewart Postharvest Review* 3, 1-7.
- Follett, P., and L. Neven (2006) Current Trends in Quarantine Entomology. *Annual Review of Entomology* 51, 359-385.
- Follett, P., and E.D. Weinert (2012) Phytosanitary irradiation of fresh tropical commodities in Hawaii: Generic treatments, commercial adoption, and current issues. *Radiation Physics and Chemistry* 81, 1064-1067.
- Follett, P.A. (2009) Generic Radiation Quarantine Treatments: The Next Steps. *Journal of Economic Entomology* 102, 1399-1406.
- FSANZ (2013) Approval Report – Application A1069 Irradiation of Tomatoes & Capsicums pp. 36 in F. S. A. N. Z. (FSANZ). (Ed.).
- FSANZ (2017) Australia New Zealand Food Standards Code – Standard 1.5.3 – Irradiation of food.
- Gerwen, S.J.C.v., F.M. Rombouts, K.v.t. Riet, and M.H. Zwietering (1999) A Data Analysis of the Irradiation Parameter D10 for Bacteria and Spores under Various Conditions. *Journal of Food Protection* 62, 1024-1032.
- Groeservice, L. (2010) Uitwerking Consultancy Inventarisatie PFA's Nederland Tuta, LTO Groeservice.
- Grosso, G.A., and V. Arthur (1997) Determination of lethal dose of gamma radiation of Cobalt-60 to eggs of *Tuta absoluta* (Lep., Gelechiidae). *Ecossistema* 22, 122-123.
- Halliday, R.B., and D.K. Knihinicki (2004) The occurrence of *Aceria tulipae* (Keifer) and *Aceria tosichella* Keifer in Australia (Acari: Eriophyidae). *International Journal of Acarology* 30, 113-118.
- Hallman, G.J. (1999) Ionizing radiation quarantine treatments against tephritid fruit flies. *Postharvest Biology and Technology* 16, 93-106.
- Hallman, G.J. (2017) Process control in phytosanitary irradiation of fresh fruits and vegetables as a model for other phytosanitary treatment processes. *Food Control* 72, 372-377.
- Hallman, G.J., and Q.H. Zhang (1997) Inhibition of Fruit Fly (Diptera: Tephritidae) Development by Pulsed Electric Field. *Florida Entomologist* 80, 239-248.
- Hallman, G.J., and P. Loaharanu (2016) Phytosanitary irradiation – Development and application. *Radiation Physics and Chemistry* 129, 39-45.
- Hallman, G.J., V. Arthur, C.M. Blackburn, and A.G. Parker (2013) The case for a generic phytosanitary irradiation dose of 250 Gy for Lepidoptera eggs and larvae. *Radiation Physics and Chemistry* 89, 70-75.
- Hansen, J.D., M.L. Heidt, and P.A. Anderson (2006) Bin sterilization to prevent reintroduction of codling moth. *J. Agric. Urban Entomol* 23, 17-26.
- Hansen, J.D., M.A. Watkins, M. Heidt, and P. Anderson (2007) Cold storage to control codling moth larvae in fresh apples. *HortTechnology* 17, 195-198.
- Hansen, J.D., H.R. Moffitt, D.J. Albano, M.L. Heidt, S.R. Drake, and J.L. Robertson (2000) A two-component quarantine treatment for postharvest control of codling moth on apple cultivars intended for export to Japan and Korea. *HortTechnology* 10, 186-194.
- Hashem, M.Y., E.S.M. Risha, S.I. El-Sherif, and S.S. Ahmed (2012) The effect of modified atmospheres, an alternative to methyl bromide, on the susceptibility of immature stages of angoumois grain moth *Sitotroga cerealella* (Olivier) (Lepidoptera: Gelechiidae). *Journal of Stored Products Research* 50, 57-61.
- Heather, N.W., and G.J. Hallman (2008a) Pest management and phytosanitary trade barriers. Oxfordshire, United Kingdom, CAB International.
- Heather, N.W., and G.J. Hallman (2008b) Pest management and phytosanitary trade barriers Wallingford, UK, CABI.
- Hees, E., P. Leendertse, and E. Hoftijser (2016) Supermarkt aan zet voor duurzame gewasbescherming pp. 63, CLM.
- Helsen, H., M. Vlas, J.W. Klaassen, M. Polfliet, and M. Trapman (2012) The host plant affects the survival of larvae of codling moth *Cydia pomonella* (L.) (Lepidoptera: Tortricidae). *IOBC/wprs Bulletin* 74, 9-12.
- Hou, L., J. Hou, Z. Li, J.A. Johnson, and S. Wang (2015) Validation of radio frequency treatments as alternative non-chemical methods for disinfesting chestnuts. *Journal of Stored Products Research* 63, 75-79.

- IAEA (2016) IAEA Safety Glossary, Terminology used in nuclear safety and radiation protection pp. 216 Vienna, International Atomic Energy Agency.
- Ibrahim, R.A., and S.S. Al-Ahmadi (2014) Utilization of ozone to control potato tuber moth, *Phthorimaea operculella* (Lepidoptera: Gelechiidae), in storage. *African Entomology* 22, 330-336.
- Ikediala, J., J. Hansen, J. Tang, S. Drake, and S. Wang (2002) Development of a saline water immersion technique with RF energy as a postharvest treatment against codling moth in cherries. *Postharvest Biology and Technology* 24, 209-221.
- Ikediala, J.N., J. Tang, L.G. Neven, and S.R. Drake (1999) Quarantine treatment of cherries using 915 MHz microwaves: temperature mapping, codling moth mortality and fruit quality. *Postharvest Biology and Technology* 16, 127-137.
- Isman, M.B. (2000) Plant essential oils for pest and disease management. *Crop Protection* 19, 603-608.
- Janmaat, A.F., W.J. de Kogel, and E.J. Woltering (2002) Enhanced fumigant toxicity of p-cymene against *Frankliniella occidentalis* by simultaneous application of elevated levels of carbon dioxide. *Pest Manag Sci* 58, 167-173.
- Jiao, S., J.A. Johnson, J. Tang, D.S. Mattinson, J.K. Fellman, T.L. Davenport, and S. Wang (2013) Tolerance of codling moth, and apple quality associated with low pressure/low temperature treatments. *Postharvest Biology and Technology* 85, 136-140.
- Jones, D.R. (2003) Plant viruses transmitted by whiteflies. *European Journal of Plant Pathology* 109, 195-219.
- Jung, C., K. Kwon, and Y. Kim (2014) A Postharvest Control Technique of the Oriental Fruit Moth, *Grapholita molesta*, Infesting Apples Using CATTs. *Korean Journal of Applied Entomology* 53, 73-80.
- Kedia, A., B. Prakash, P.K. Mishra, P. Singh, and N.K. Dubey (2015) Botanicals as eco friendly biorational alternatives of synthetic pesticides against *Callosobruchus* spp. (Coleoptera: Bruchidae)-a review. *Journal of Food Science and Technology-Mysore* 52, 1239-1257.
- Keener, K.M., and N.N. Misra (2016) Chapter 14 - Future of Cold Plasma in Food Processing pp. 343-360 Cold Plasma in Food and Agriculture. San Diego, Academic Press.
- Kells, S.A., L.J. Mason, D.E. Maier, and C.P. Woloshuk (2001) Efficacy and fumigation characteristics of ozone in stored maize. *Journal of Stored Products Research* 37, 371-382.
- Kim, J., A.E. Yousef, and D. Sandhya (1999) Application of ozone for enhancing the microbiological safety and quality of foods: a review. *Journal of Food Protection* 62, 1071-1087.
- Kim, S., S. Chae, H. Youn, S. Yeon, and Y. Ahn (2011) Contact and fumigant toxicity of plant essential oils and efficacy of spray formulations containing the oils against B- and Q-biotypes of *Bemisia tabaci*. *Pest Management Science* 67, 1093-1099.
- Kock, M.J.D.d., M.F.N.v. Dam, M.J.A. Geerlings, M.E.C. Lemmers, C.C.M.M. Stijger, and C.G.M. Conijn (2008) Beperken van verspreiding van Tulpenvirus X in tulpen : een zoektocht naar de verschillende manieren van TVX verspreiding Lisse, Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, Bloembollen, Boomkwekerij en Fruit.
- Koo, H.-N., S.-H. Yun, H.-J. Kim, H.K. Kim, and G.-H. Kim (2017) X-ray Irradiation Control of *Frankliniella occidentalis* and *Frankliniella intonsa* (Thysanoptera: Thripidae) in the Exportation of Freshly Cut Lily Flowers. *Journal of Economic Entomology* 110, 416-420.
- Kostyukovsky, M., U. Ravid, and E. Shaaya (2002) The potential use of plant volatiles for the control of stored product insects and quarantine pests in cut flowers. *Acta Horticulturae* 576, 347-358.
- Koul, O., S. Walia, and G. Dhaliwal (2008) Essential oils as green pesticides: potential and constraints. *Biopestic Int* 4, 63-84.
- Kovalevski, A., J. Carbonari, and A. Folle. (Year) *Cydia pomonella*, the first eradicated pest in Brazil. 2014, In: IOBC-WPRS working group "Integrated plan protection in fruit crops", Sub Groups "Pome fruit arthropods" and "Stone fruits", 2014, Vienna, IOBC-WPRS, 2014.
- Krittigamas, N., S. Vearasilp, D.v. Hoersten, and W. Luecke (2012) Radio frequency thermal treatment as alternative insect pest control in storage. (Special issue on agricultural & natural resources). *Chiang Mai University Journal of Natural Sciences* 11, 277-286.
- Kumar, S., L.G. Neven, H. Zhu, and R. Zhang (2015) Assessing the Global Risk of Establishment of *Cydia pomonella* (Lepidoptera: Tortricidae) using CLIMEX and MaxEnt Niche Models. *Journal of Economic Entomology* 108, 1708-1719.
- Lacombe, A., B.A. Niemira, J.B. Gurtler, X. Fan, J. Sites, G. Boyd, and H. Chen (2015) Atmospheric cold plasma inactivation of aerobic microorganisms on blueberries and effects on quality attributes. *Food Microbiol* 46, 479-484.

- Lans, A.M.v.d., and C.G.M. Conijn (2008) alternatieve middelen voor de bestrijding van tulpengalmijten en bollenmijt in lelie - Resultaat van onderzoek 2006 - 2007 Lisse, PPO Bloembollen en Bomen.
- Lay-Yee, M., D.C. Whiting, and K.J. Rose (1997) Response of Royal Gala and Granny Smith apples to high-temperature controlled atmosphere treatments for control of *Epiphyas postvittana* and *Nysius huttoni*. *Postharvest Biology and Technology* 12, 127-136.
- Lesna, I., F. Silva, Y. Sato, M. Sabelis, and S. Lommen (2014) *Neoseiulus paspalivorus*, a predator from coconut, as a candidate for controlling dry bulb mites infesting stored tulip bulbs. *Experimental and Applied Acarology* 63, 189-204.
- Ling, B., G. Tiwari, and S. Wang (2015) Pest control by microwave and radio frequency energy: dielectric properties of stone fruit. *Agronomy for Sustainable Development* 35, 233-240.
- Liu, Y.-B. (2013) Nitric Oxide as a Potent Fumigant for Postharvest Pest Control. *Journal of Economic Entomology* 106, 2267-2274.
- Liu, Y.-B., X. Yang, and G. Simmons (2016) Efficacy of Nitric Oxide Fumigation for Controlling Codling Moth in Apples. *Insects* 7, 71.
- Lommen, S. (2011) Beheersing tulpengalmijt in teelt, handel en broeierij : veel problemen te voorkomen door jaarrond alert zijn, [S.l.], NL: PPO Bloembollen, Boomkwekerij en Fruit.
- Lurie, S. (1998) Postharvest heat treatments. *Postharvest Biology and Technology* 14, 257-269.
- Lurie, S., and R. Pedreschi (2014) Fundamental aspects of postharvest heat treatments. 1,
- Lurie, S., T. Jemric, A. Weksler, R. Akiva, and Y. Gazit (2004) Heat treatment of 'Oroblanco' citrus fruit to control insect infestation. *Postharvest Biology and Technology* 34, 321-329.
- MacLellan, C. (1977) Trends of codling moth (Lepidoptera: Olethreutidae) populations over 12 years on two cultivars in an insecticide free orchard. *The Canadian Entomologist* 109, 1555-1562.
- Maherani, B., F. Hossain, P. Criado, Y. Ben-Fadhel, S. Salmieri, and M. Lacroix (2016) World Market Development and Consumer Acceptance of Irradiation Technology (review). *Foods* 5, 1-21.
- Mahmoodi, L., O. Valizadegan, and V. Mahdavi (2014) Fumigant toxicity of *Petroselinum crispum* L. (Apiaceae) essential oil on *Trialeurodes vaporariorum* (Westwood) (Homoptera: Aleyrodidae) adults under greenhouse conditions. *Journal of Plant Protection Research* 54, 294-299.
- Manjunatha, G., V. Lokesh, and B. Neelwarne (2010) Nitric oxide in fruit ripening: Trends and opportunities. *Biotechnology Advances* 28, 489-499.
- Manson, D.C.M., and G.N. Oldfield (1996) Chapter 1.4 Biology and ecology 1.4.1 Life forms, deuteroecy, diapause and seasonal development. *World Crop Pests* 6, 173-183.
- Mansour, M. (2003) Gamma irradiation as a quarantine treatment for apples infested by codling moth (Lep., Tortricidae). *Journal of Applied Entomology* 127, 137-141.
- Martín-Belloso, O., and R. Soliva-Fortuny (2011) Pulsed Electric Fields Processing Basics pp. 155-175 *Nonthermal Processing Technologies for Food*. Wiley-Blackwell.
- Mireei, S.A., S. Amini-Pozveh, and M. Nazeri (2016) Selecting optimal wavelengths for detection of insect infested tomatoes based on SIMCA-aided CFS algorithm. *Postharvest Biology and Technology* 123, 22-32.
- Misra, N.N. (2016) Chapter 10 - Quality of Cold Plasma Treated Plant Foods pp. 253-271 *Cold Plasma in Food and Agriculture*. San Diego, Academic Press.
- Misra, N.N., O. Schlüter, and P.J. Cullen (2016a) Chapter 1 - Plasma in Food and Agriculture pp. 1-16 *Cold Plasma in Food and Agriculture*. San Diego, Academic Press.
- Misra, N.N., Schlüter, O. ter, and P.J. Cullen (2016b) *Cold plasma in food and agriculture : fundamentals and applications* London, United Kingdom, Academic Press is an imprint of Elsevier.
- Mitcham, E., L. Neven, and B. Biasi (1999) Effect of High-temperature Controlled-atmosphere Treatments for Insect Control in Bartlett Pear Fruit. *HortScience* 34, 527-527.
- Moffitt, H.R., and D.J. Albano (1972) Effects of Commercial Fruit Storage on Stages of the Codling Moth 1. *Journal of Economic Entomology* 65, 770-773.
- Moffitt, H.R., and J.A.K. Burditt (1989) Low-Temperature Storage as a Postharvest Treatment for Codling Moth (Lepidoptera: Tortricidae) Eggs on Apple. *Journal of Economic Entomology* 82, 1679-1681.
- Mutwiwa, U.N., C. Borgemeister, B. Von Elsner, and H.J. Tantau (2005) Effects of UV-absorbing plastic films on greenhouse whitefly (Homoptera : Aleyrodidae). *Journal of Economic Entomology* 98, 1221-1228.
- NAPPO (2012) Surveillance Protocol for the Tomato Leaf Miner, *Tuta absoluta*, for NAPPO Member Countries pp. 18, North American Plant Protection Organization.

- Neven, L.G. (1999) Cold hardiness adaptations of codling moth, *Cydia pomonella*. *Cryobiology* 38, 43-50.
- Neven, L.G. (2005) Combined Heat and Controlled Atmosphere Quarantine Treatments for Control of Codling Moth in Sweet Cherries. *Journal of Economic Entomology* 98, 709-715.
- Neven, L.G. (2008) Development of a model system for rapid assessment of insect mortality in heated controlled atmosphere quarantine treatments. *Journal of Economic Entomology* 101, 295-301.
- Neven, L.G., and E.J. Mitcham (1996) CATTs (Controlled Atmosphere/Temperature Treatment System): A Novel Tool for the Development of Quarantine Treatments. *American Entomologist* 42, 56-59.
- Neven, L.G., and L. Rehfield-Ray (2006a) Combined heat and controlled atmosphere quarantine treatments for control of western cherry fruit fly in sweet cherries. *Journal of Economic Entomology* 99, 658-663.
- Neven, L.G., and L. Rehfield-Ray (2006b) Confirmation and efficacy tests against codling moth and oriental fruit moth in apples using combination heat and controlled atmosphere treatments. *Journal of Economic Entomology* 99, 1620-1627.
- Neven, L.G., and L.D. Hansen (2010) Effects of Temperature and Controlled Atmospheres on Codling Moth Metabolism. *Annals of the Entomological Society of America* 103, 418-423.
- Neven, L.G., L.M. Rehfield-Ray, and D. Obenland (2006) Confirmation and efficacy tests against codling moth and oriental fruit moth in peaches and nectarines using combination heat and controlled atmosphere treatments. *Journal of Economic Entomology* 99, 1610-1619.
- Neven, L.G., N.J. Lehrman, and L.D. Hansen (2014) Effects of temperature and modified atmospheres on diapausing 5th instar codling moth metabolism. *Journal of Thermal Biology* 42, 9-14.
- Ngoh, S.P., L.E.W. Choo, F.Y. Pang, Y. Huang, M.R. Kini, and S.H. Ho (1998) Insecticidal and repellent properties of nine volatile constituents of essential oils against the American cockroach, *Periplaneta americana* (L.). *Pesticide Science* 54, 261-268.
- NVWA (2014) Protocol tomaat ivm Tuta absoluta USA, versie 5 pp. 3, Nederlandse Voedsel- en Warenautoriteit.
- NVWA (2017) Landenoverzicht exporteisen Groenten en Fruit – Verenigde Staten van Amerika pp. 4, Nederlands Voedsel- en Warenautoriteit.
- Paull, R.E., and J.W. Armstrong (1994) Insect pests and fresh horticultural products: treatments and responses, Oxon, GB: CAB International.
- Peneder, S., and E.H. Koschier (2011) Toxic and behavioural effects of carvacrol and thymol on *Frankliniella occidentalis* larvae pp. 26-30 Germany.
- Pumnuan, J., and A. Insung (2016) Fumigant toxicity of plant essential oils in controlling thrips, *Frankliniella schultzei* (Thysanoptera: Thripidae) and mealybug, *Pseudococcus jackbeardsleyi* (Hemiptera: Pseudococcidae) pp. 1-10 India.
- Pumnuan, J., L. Khurnpoon, and A. Insung (2015) Effects of insecticidal essential oil fumigations on physiological changes in cut *Dendrobium Sonia* orchid flower pp. 523-531 Thailand.
- Quadvlieg, W., J. Hofland-Zijlstra, T. Hollinger, M. Noordam, C. Sloopweg, R. Van den Broek, J.-P. Van der Kolk, J. Van Ruijven, and I. Stijger (2016) Ontwikkeling van toepassingen met plasmawater in de glastuinbouw. Rapport GTB-1391
- Rajendran, S., and V. Sriranjini (2008) Plant products as fumigants for stored-product insect control. *Journal of Stored Products Research* 44, 126-135.
- Rapisarda, C., G. Cascone, A. Colombo, G.T. Garzia, R. Mazzarella, and T. Serges (2005) Physical control possibilities of *Bemisia tabaci* (Gennadius) and tomato yellow leaf curl disease (TYLCD) in protected crops. *Culture Protette* 34, 53-64.
- Rapisarda, C., G. Tropea, A. Colombo, G. Cascone, R. Mazzarella, and T. Serges (2006) UV-absorbing plastic films for the control of *Bemisia tabaci* (Gennadius) and tomato yellow leaf curl disease (TYLCD) in protected cultivations in Sicily (South Italy). *Acta Horticulturae* 719, 597-604.
- Roberts, P.B. (2016) Food irradiation: Standards, regulations and world-wide trade. *Radiation Physics and Chemistry* 129, 30-34.
- Salgueiro, L., A.P. Martins, and H. Correia (2010) Raw materials: the importance of quality and safety. A review. *Flavour and Fragrance Journal* 25, 253-271.
- Salunkhe, D.K. (1961) Gamma radiation effects on fruits and vegetables. *Economic Botany* 15, 28-56.
- Saranwong, S., W. Thanapase, N. Suttiwijitpukdee, R. Rittiron, S. Kasemsumran, and S. Kawano (2010) Applying near infrared spectroscopy to the detection of fruit fly eggs and larvae in intact fruit. *Journal of Near Infrared Spectroscopy* 18, 271-280.

- Sauer, J.A., and M.D. Shelton (2002) High-temperature controlled atmosphere for post-harvest control of Indian meal moth (Lepidoptera: Pyralidae) on preserved flowers. *Journal of Economic Entomology* 95, 1074-1078.
- Schlüter, O., J. Ehlbeck, C. Hertel, M. Habermeyer, A. Roth, K.-H. Engel, T. Holzhauser, D. Knorr, and G. Eisenbrand (2013) Opinion on the use of plasma processes for treatment of foods*. *Molecular Nutrition & Food Research* 57, 920-927.
- Seki, M., and T. Murai (2012) Insecticidal effect of high carbon dioxide atmospheres on thrips eggs oviposited in plant tissue pp. 433-436 Japan.
- Sen, F., K.B. Meyvaci, F. Turanlı, and U. Aksoy (2010) Effects of short-term controlled atmosphere treatment at elevated temperature on dried fig fruit. *Journal of Stored Products Research* 46, 28-33.
- Smelyanets, V.P.a.K., L.A. (1973) Significance of individual terpenoids in the mechanism of population distribution of pests on Scotch pine stands. *Zashchita Rastenii (Kiev)* 17, 33-44.
- Soderstrom, E.L., D.G. Brandl, and B. Mackey (1990) Responses of Codling Moth (Lepidoptera: Tortricidae) Life Stages to High Carbon Dioxide or Low Oxygen Atmospheres. *Journal of Economic Entomology* 83, 472-475.
- Son, Y.-R., Y. Kim, and Y.-G. Kim (2010a) Control effect of a stored grain insect pest, *Tribolium castaneum*, by 'CATTS' postharvest treatment. *Korean Journal of Applied Entomology* 49, 363-369.
- Son, Y.-R., K.-H. Choi, Y. Kim, and Y.-G. Kim (2010b) Applicability of CATIS as a Postharvest Phytosanitation Technology against the Peach Fruit Moth, *Carposina sasakii* Matsumura. *Korean Journal of Applied Entomology* 49, 37-42.
- Son, Y., I. Chon, L. Neven, and Y. Kim (2012) Controlled atmosphere and temperature treatment system to disinfect fruit moth, *Carposina sasakii* (Lepidoptera: Carposinidae) on apples. *Journal of Economic Entomology* 105, 1540-1547.
- Tang, J., E. Mitcham, S. Wang, and S. Lurie (2007) Heat treatments for postharvest pest control: theory and practice Wallingford, CABI.
- Tang, J., J. Ikediala, S. Wang, J.D. Hansen, and R. Cavalieri (2000) High-temperature-short-time thermal quarantine methods. *Postharvest Biology and Technology* 21, 129-145.
- Trapman, M., and H. Helsen (2009) Gestapelde bestrijding fruitmot ook in 2008 succesvol. *Fruitteelt* 99, 12-13.
- Trapman, M., H. Helsen, and M. Polfliet. (Year) Development of a dynamic population model as a decision support system for Codling Moth (*Cydia pomonella* L) management. pp. 247-251 in Proceedings of the Ecofruit-13th International Conference on Cultivation Technique and Phytopathological Problems in Organic Fruit-Growing: Proceedings to the Conference from 18th February to 20th February 2008 at Weinsberg/Germany, 2008.
- Tsueda, H., Y. Taguchi, and N. Katsuyama (2007) Lethal high temperatures for the sweetpotato whitefly (*Bemisia labaci* (Gennadius) B biotype) and control effects under greenhouse conditions using solar radiation. *Japanese Journal of Applied Entomology and Zoology* 51, 197-204.
- USDA (2011) New Pest Response Guidelines Tomato Leafminer (*Tuta absoluta*) pp. 176.
- van Epenhuijsen, C.W., P.S. Bodger, J.P. Koolaard, J.J. Woudberg, and P.T. Johnstone (2001) Electromagnetic treatment of New Zealand flower thrips (*Thrips obscuratus*, Thysanoptera: Thripidae) in deionized water. *J Microw Power Electromagn Energy* 36, 187-192.
- van Kruistum, G., J. Verschoor, and H. Hoek (2014) CATT as a non-chemical pest and nematode control method in strawberry mother planting stock. *Journal of Berry Research* 4, 29-35.
- Van Kruistum, G., H. Hoek, J. Verschoor, and L. Molendijk (2012) Controlled Atmosphere Temperature Treatment as sustainable alternative to control strawberry tarsonemid mites and plant parasitic nematodes in strawberry plants pp. 601-608 *Acta Horticulturae*.
- Verberk, W.C.E.P., J. Overgaard, R. Ern, M. Bayley, T. Wang, L. Boardman, and J.S. Terblanche (2016) Does oxygen limit thermal tolerance in arthropods? A critical review of current evidence. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology* 192, 64-78.
- Verberne, C., J. Noordam, J. Hemming, E. Pekkeriet, and R. van Brakel (2005) Voorspelling van *Mycosphaerella* bij komkommers met NIR. *Intern rapport*,
- Verschoor, J.A., E.C. Otma, Y.T. Qiu, G. Van Kruistum, and J. Hoek (2015) Controlled Atmosphere Temperature Treatment: Non-chemical (quarantine) pest control in fresh plant products pp. 253-258 *Acta Horticulturae*.
- Wang, J.J., J.H. Tsai, W. Ding, Z.M. Zhao, and L.S. Li (2001) Toxic effects of six plant oils alone and in combination with controlled atmosphere on *Liposcelis bostrychophila* (Psocoptera: Liposcelididae). *J Econ Entomol* 94, 1296-1301.

- Wang, S., S.L. Birla, J. Tang, and J.D. Hansen (2006) Postharvest treatment to control codling moth in fresh apples using water assisted radio frequency heating. *Postharvest Biology and Technology* 40, 89-96.
- Wang, S., M. Monzon, J.A. Johnson, E.J. Mitcham, and J. Tang (2007) Industrial-scale radio frequency treatments for insect control in walnuts. *Postharvest Biology and Technology* 45, 247-253.
- Weinberger, B., D.L. Laskin, D.E. Heck, and J.D. Laskin (2001) The Toxicology of Inhaled Nitric Oxide. *Toxicological Sciences* 59, 5-16.
- Whiting, D.C., L.E. Jamieson, K.J. Spooner, and M. Lay-Yee (1999) Combination high-temperature controlled atmosphere and cold storage as a quarantine treatment against *Ctenopseustis obliquana* and *Epiphyas postvittana* on 'Royal Gala' apples. *Postharvest Biology and Technology* 16, 119-126.
- Wit, A.K.H. (1987-) Mogelijkheden voor de toepassing van gamma straling bij de bestrijding van insecten en mijten na de oogst van snijbloemen.
- Wit, A.K.H., and M.v.d. Vrie (1985) Gamma radiation for post harvest control of insects and mites in cutflowers. *Mededelingen van de Faculteit Landbouwwetenschappen, Rijksuniversiteit Gent* 50, 697-704.
- Witzgall, P., L. Stelinski, L. Gut, and D. Thomson (2008) Codling moth management and chemical ecology. *Annu. Rev. Entomol.* 53, 503-522.
- Woltering, E.J., A.F. Janmaat, and W. Jan de Kogel. (Year) USE OF CONTROLLED ATMOSPHERES TO ENHANCE ESSENTIAL OIL FUMIGANT TOXICITY AGAINST WESTERN FLOWER THRIPS, FRANKLINIELLA OCCIDENTALIS. pp. 155-159 in Proceedings of the Acta Horticulturae, 2003, International Society for Horticultural Science (ISHS), Leuven, Belgium.
- Xu, H.R., Y.B. Ying, X.P. Fu, and S.P. Zhu (2007) Near-infrared Spectroscopy in detecting Leaf Miner Damage on Tomato Leaf. *Biosystems Engineering* 96, 447-454.
- Yahia, E., and D. Ortega (2000a) Mortality of different stages of *Anastrepha ludens* and *A. obliqua* in vitro and in vivo, and mango fruit quality after exposure to controlled atmospheres (0.0% O₂ and 50% CO₂) at high temperatures. *Improving Postharvest Technologies of Fruits, Vegetables and Ornamentals* 1, 110-117.
- Yahia, E., and D. Ortega (2000b) The use of controlled atmospheres at high temperature to control fruit flies (*Anastrepha ludens* and *A. obliqua*) and their effect on mango quality. *Proceedings International Multidisciplinary*,
- Yahia, E.M. (1998) The use of modified and controlled atmospheres for insect control. *Phytoma (Spain)* 97, 18-22.
- Yahia, E.M., and D. Ortega-Zaleta (2000) Mortality of eggs and third instar larvae of *Anastrepha ludens* and *A. obliqua* with insecticidal controlled atmospheres at high temperatures. *Postharvest Biology and Technology* 20, 295-302.
- Yalemar, J.A., A.H. Hara, S.H. Saul, E.B. Jang, and J.H. Moy (2001) Effects of gamma irradiation on the life stages of yellow flower thrips, *Frankliniella schultzei* (Trybom) (Thysanoptera: Thripidae) pp. 263-268 UK.
- Yu, D., B. Shrestha, and O.-D. Baik (2016) Radio frequency (RF) control of red flour beetle (*Tribolium castaneum*) in stored rapeseeds (*Brassica napus* L.). *Biosystems Engineering* 151, 248-260.
- Yun, S., H. Koo, H. Kim, J. Yang, and G. Kim (2016) X-ray irradiation as a quarantine treatment for the control of six insect pests in cut flower boxes. *Journal of Asia Pacific Entomology* 19, 31-38.
- Yun, S.H., H.N. Koo, H.K. Kim, S. Cho, and G.H. Kim (2015) Effects of electron beam irradiation on six insect pests in different sections of flower boxes for export. *Journal of Asia-Pacific Entomology* 18, 629-636.
- Zapata, N., M. Vargas, E. Latorre, X. Roudergue, and R. Ceballos (2016) The essential oil of *Laurelia sempervirens* is toxic to *Trialeurodes vaporariorum* and *Encarsia formosa*. *Industrial Crops and Products* 84, 418-422.
- Zhou, L., B. Ling, A. Zheng, B. Zhang, and S. Wang (2015) Developing radio frequency technology for postharvest insect control in milled rice. *Journal of Stored Products Research* 62, 22-31.
- Zuilichem, J.A.A.v., and C.G.M. Conijn (2004a) Praktijkproef bestrijding tulpengalmijt met CA-bewaring Lisse, PPO Bloembollen.
- Zuilichem, J.A.A.v., and C.G.M. Conijn (2004b) Praktijkproef bestrijding tulpengalmijt met CA-bewaring, Lisse, NL: Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, Sector Bloembollen.

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



Wageningen University & Research
Praktijkonderzoek AGV
Edelhertweg 1
Postbus 430
8200 AK Lelystad
T | (+31)320 29 11 11
www.wur.nl/agv

Rapport: WPR-751

De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen 9 gespecialiseerde onderzoeksinstituten van stichting DLO en Wageningen University hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 6.000 medewerkers en 9.000 studenten behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.

