

Bestrijding van vruchtrot en schimmels met ozon en waterstofperoxide

Literatuurstudie naar het gebruik van ozon en waterstofperoxide bij plantaardige gewassen

J.M.T. Balkhoven-Baart, P.F.M.M. Roelofs en P.F. de Jong

© 2009 Wageningen, Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V.

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 Praktijkonderzoek Plant & Omgeving.

Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V. is niet aansprakelijk voor eventuele schadelijke gevolgen die kunnen ontstaan bij gebruik van gegevens uit deze uitgave.



PPO – projectnummer: 32 610843 00

PT – projectnummer: 13405

Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V.

Bloembollen, Boomkwekerij en Fruit

Adres : Lingewal 1, 6668 LA Randwijk
: Postbus 200, 6670 AE Zetten

Tel. : 0488 – 47 37 02

Fax : 0488 – 47 37 17

E-mail : infofruit.ppo@wur.nl

Internet : www.ppo.wur.nl

Inhoudsopgave

pagina

SAMENVATTING.....	5
1 INLEIDING	7
2 OZON (O ₃)	9
2.1 Werking	9
2.2 Veiligheid bij gebruik	10
2.3 Bewaring van groenten en fruit	10
2.3.1 Appel en peer	10
2.3.2 Bessen	10
2.3.3 Zoete kers	11
2.3.4 Sinaasappel, druif en perzik.....	11
2.3.5 Broccoli, kiwi en aardbei	11
2.4 Bewaring van uitgangsmateriaal.....	12
2.4.1 Bewaring van pootaardappelen	12
2.4.2 Schimmelbestrijding bij zaden.....	12
2.5 Toepassing van ozon tegen insecten.....	13
2.6 Toepassing van ozon tegen bacteriën.....	13
3 WATERSTOFPEROXIDE (H ₂ O ₂)	15
3.1 Gevoeligheid van de mens voor H ₂ O ₂	15
3.2 Werkingsmechanisme	15
3.3 Waterstofperoxide en warmtebehandeling.....	16
3.4 Toepassingsmogelijkheden.....	16
3.4.1 Appel	16
3.4.2 Druif en aardbei	17
3.4.3 Blauwe bes	17
3.4.4 Paprika	17
4 REGELGEVING	19
4.1 Toelating van de middelen	19
4.1.1 Ozon.....	19
4.1.2 Waterstofperoxide	20
4.2 Arbo gerelateerde aspecten	20
4.2.1 Ozon.....	20
4.2.2 Waterstofperoxide	20
5 KOSTEN VAN BEHANDELING MET OZON OF WATERSTOFPEROXIDE	21
5.1 Ozonbehandeling in de koelcel.....	21
5.2 Ozonbehandeling aan de sorteerlijn	21
5.3 UV-behandeling aan de sorteerlijn.....	22
6 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	23
7 GERAADPLEEGDE LITERATUUR.....	25

Samenvatting

In de landelijke pers komen geregeld meldingen voor over ongewenste residuen van gewasbeschermingsmiddelen op groenten en fruit. Dit heeft grote invloed op het koopgedrag van de consument. Winkelbedrijven stellen ook steeds strengere residu-eisen aan hun producten. Deze eisen liggen inmiddels voor sommige landen en afzetkanalen boven de wettelijke normen waaraan residuen op groenten en fruit moeten voldoen. Dit levert druk op voor de Nederlandse productiesector om te zorgen voor een residuvrij of in ieder geval residu arm product.

Bij de bewaring van fruit (appels en peren) worden de laatste jaren nieuwe technieken gebruikt om schimmels te bestrijden na de oogst zoals warm waterbehandeling. Als schimmelbestrijding pas na de oogst plaatsvindt, kan er in de boomgaardfase mogelijk minder met bestrijdingsmiddelen gespoten worden. Een nieuwe techniek is die waarbij ozon (O_3) of waterstofperoxide (H_2O_2) gebruikt wordt om schimmels en bacteriën op fruit te bestrijden. In deze literatuurstudie is informatie verzameld over het gebruik van ozon en van waterstofperoxide (H_2O_2) bij (na-)oogstbehandelingen van plantaardige gewassen om de toepassingsmogelijkheden van deze stoffen te verkennen.

Ozon oxideert organische materialen en resten van gewasbeschermingsmiddelen. Ozon is een instabiel gas, met een halfwaardetijd in lucht van 20 tot 50 minuten en in water van 1 tot 10 minuten. Bij de werking van ozon als middel tegen vruchtrot of schimmels wordt aangenomen dat door de oxidatie van ozon de membranen van schimmels, bacteriën en insecten worden aangetast, zonder de vruchten (appels en peren) te beschadigen. Ozon is in staat om allerlei vluchtige verbindingen te oxideren. Dit maakt ozon bruikbaar in de bewaring van fruit om ethyleen te oxideren. Ozon werkt vooral goed tegen schadelijke organismen als ze aan de buitenkant van het fruit aanwezig zijn. Hoe beter de bereikbaarheid, hoe beter de werking. Ozon kan ook de waslaag en de celmembranen van het te beschermen product beschadigen. De werking van ozon wordt versterkt door NAI's (Negative Air Ions), die van nature in de lucht voorkomen en de lucht zuiveren van schimmels en bacteriën.

In de lucht is ozon schadelijk voor de mens. Langdurige blootstelling aan concentraties van ≥ 4 ppm is dodelijk. In Nederland geldt de norm van maximaal 0,06 ppm voor een normale blootstelling (8 uur per dag en 5 dagen per week).

Ozon wordt in diverse landen ingezet voor schimmelbestrijding bij de bewaring van appel, peer, bessen, zoete kers, sinaasappel, druif, perzik, kiwi, aardbei en broccoli. Men gebruikt dan concentraties van 0,2 tot 1,5 ppm ozon. In de landbouw keek men naar de bewaring van zaden en pootaardappelen, waarbij hoge (700-3600 ppm) concentraties ozon werden gebruikt, gedurende korte tijd. Hoofddoel was steeds te komen tot minder inzet van bestrijdingsmiddelen. Ook voor het verminderen van residu van gewasbeschermingsmiddelen wordt het gebruikt. Voor de bestrijding van bacteriën zijn hoge concentraties nodig van 8 ppm tot 3600 ppm gedurende korte tijd (tot 38 seconden). Tegen insecten zijn concentraties van 50 ppm werkzaam. De bestrijding van insecten met ozon in de bewaring van fruit is bij bewaring bij laag zuurstof- en hoog koolzuurgehalte overbodig. Deze condities zijn voor insecten al dodelijk.

Waterstofperoxide is net als ozon schadelijk voor de mens. Waterstofperoxide ontstaat in planten door stress, waardoor er waterstofperoxide wordt geproduceerd in de cellen. Dit hoeft niet altijd tot schade aan de planten te leiden, als het snel wordt omgezet. Waterstofperoxide doodt voor mensen ziekteverwekkende bacteriën en wordt daarom gebruikt voor ontsmetting. Het wordt gebruikt via dampwerking en het werkt beter bij hogere temperaturen. Ook worden dompelbaden gebruikt. Waterstofperoxide wordt soms gebruikt als vervanger voor chloor, waar chloor niet meer als wenselijk wordt gezien voor ontsmetting.

Waterstofperoxide is in Nederland niet toegelaten voor vruchtontsmetting. Er is wel, met succes, onderzoek gedaan met de combinatie van waterstofperoxide (1,5%) en melkzuur (1,5%) voor de ontsmetting van groenten en fruit tegen ziekteverwekkende bacteriën, zoals *Salmonella*.

De inzet van 5, 10 en 15% waterstofperoxide, gedurende 30, 60 en 90 seconden tegen de schimmel *Penicillium digitatum* bij citroen was niet succesvol. De citroenen werden te zwaar beschadigd en de schimmel onvoldoende bestreden. Het toevoegen van wax kan de schilbeschadiging mogelijk voorkomen. Ook bij appel, aardbei, druif, blauwe bes en paprika is onderzoek gedaan met waterstofperoxide voor ontsmetting tegen bacteriën en schimmels.

Een dosering van 1 tot 15% was werkzaam, vooral bij hogere temperaturen tot 40°C. De toediening gebeurde via dampwerking en in dompelbaden.

Na toepassing werden de vruchten gespoeld en gepoetst om residu van waterstofperoxide te verwijderen.

Wat de arbeidsomstandigheden betreft is de Arbeidsomstandighedenwet niet meer zo duidelijk als voorheen. Tot 2007 gold dat de ozon concentratie maximaal 0,12 mg/m³ (tijdgewogen gemiddelde over één uur) mocht en dat de concentratie van een oplossing van waterstofperoxide niet meer dan 1,4 mg/m³ mocht bedragen. Sindsdien is de Arbwet echter aangescherpt en moeten werkgevers er voor zorgen dat hun medewerkers conform “de stand van de wetenschap en professionele dienstverlening” worden beschermd tegen blootstelling aan potentieel gevaarlijke of schadelijke stoffen.

Momenteel is zowel de inzet van ozon als waterstofperoxide als behandeling tegen vruchtrot niet toegestaan. De middelen worden ingezet als gewasbeschermingsmiddel. Hiervoor is een toelating nodig. De toepassing van ozon als biocide is wel toegestaan. Ook voor waterstofperoxide zijn diverse toelatingen als biocide.

Bij de gewasbeschermingsmiddelen industrie bestaat interesse om een toelating aan te vragen voor toepassing van waterstofperoxide indien werking tegen vruchtrot wordt aangetoond.

Ozonbehandelingen moeten in afgesloten ruimten toegepast worden om mensen te beschermen. Ozon kan pathogenen alleen bestrijden als die zich op de buitenkant van het product bevinden. Lage concentraties ozon beschadigen het product minder snel en verbeteren de toepasbaarheid. De concentratie, de behandelduur, de invloed op de vruchten, invloed op residu van gewasbeschermingsmiddelen en de toepasbaarheid zouden bekeken moeten worden. Ook een combinatie van lage concentraties van ozon met negatieve luchtionen (NAI) en UV-licht is mogelijk toepasbaar in de praktijk.

De kosten van een dergelijke behandeling zijn afhankelijk van de toepassing. Bij toepassing in de cel kost een ozonbehandeling (bij 10 cellen van elk 1500 m³) ongeveer €2,50 per ton appels/peren, dat is 0,25 ct/kg. Bij toepassing aan de sorteerlijn kost de extra apparatuur voor ozon en UV aan een sorteerinrichting met een capaciteit van 15 ton/uur €50.000. Als er met deze installatie 12.000 ton/jaar wordt gesorteerd zijn de totale kosten 0,1 ct/kg. De kosten van alleen een UV-behandeling bedragen bij 12.000 ton/jaar 0,002 ct/kg.

1 Inleiding

Op de website Groente & Fruitwijzer (<http://www.weetwatjeet.nl>) kunnen consumenten zien welke supermarkten in Nederland de meest met gewasbeschermingsmiddelen vervuilde producten verkopen. De website is tot stand gekomen door de samenwerking van Milieudefensie, Natuur en Milieu en Goede Waar & Co. Ook op andere manieren komt dit soort informatie bij de consumenten. Dit heeft tot gevolg dat er een telkens grotere bewustwording komt bij de consumenten over de aanwezigheid van residuen op fruit. Als reactie daarop hebben een aantal supermarkten hun normen aangescherpt.

De ontwikkeling dat supermarkten boven wettelijke normen stellen, speelde in Duitsland en Engeland nog eerder dan in Nederland. Recent speelt de MRL-problematiek rond de afzet richting Rusland. Dit brengt met zich mee dat het afgezette fruit aan scherpere eisen zal moeten voldoen. Over het algemeen zijn de overschrijdingen van residuen op Nederlands fruit minder in vergelijking met andere landen. Toch heeft die verscherping van de normen door supermarkten en landen zoals Rusland een invloed op de afzetmogelijkheden van het Nederlandse product.

Er is de laatste jaren veel gedacht voor residu arme teelt. Een ketenorganisatie (van telers en verkoopbedrijven) als Versdirect.nl, die werkt aan een residuvrij concept voor supermarkten, is een voorbeeld van hoe er op deze eisen kan worden ingespeeld. Versdirect.nl probeert in het project 'Residuvrij Telen' in mei 2009 een concept voor vermarkting te introduceren (bron Versdirect.nl in Agrarische Dagblad 06-03-2009).

Bij de bewaring van fruit (appels en peren) is het misschien mogelijk om schimmels te bestrijden in de bewaring zonder een residu achter te laten. Als schimmelbestrijding pas na de oogst plaats vindt, kan er in het veld mogelijk minder met bestrijdingsmiddelen gespoten worden. De nieuwe technieken bevatten methoden waarbij ozon (O_3) en waterstofperoxide (H_2O_2) gebruikt worden om schimmels te bestrijden. Deze technieken zouden gebruikt kunnen worden door fruit in water te dompelen of besproeien of partijen in de cellen met gasvormige middelen te behandelen. In deze literatuurstudie is informatie verzameld over ozon en waterstofperoxide bij (na-)oogstbehandelingen op plantaardige gewassen om de toepassingsmogelijkheden van deze stoffen te verkennen.

2 Ozon (O₃)

Een deeloplossing voor het residuvraagstuk wordt gezien in ozon. Er zijn diverse ondernemingen gespecialiseerd in apparaten die ozon produceren en zich richten op de agrarische sector. Ozon wordt gebruikt als ontsmettingsmiddel voor water, in de voedingsmiddelenindustrie, in wasserijen en in zwembaden, en vervangt dan het middel chloor. Ozon wordt vlak voor de toepassing geproduceerd door machines. Ozon is niet leverbaar in gasflessen.

In de fruitteelt vindt toepassing plaats bij de bewaring. Afbraak van een groot deel van het residu op het fruit is mogelijk, maar een aanvulling met andere methoden is gewenst. Ook voor toepassing tijdens de teelt is onderzoek gewenst (Assche, 2008). Er zijn bij de toepassing in de bewaring vragen over de concentratie en de duur van de behandeling met ozon.

In deze literatuurstudie is informatie verzameld over de werking en de verschillende toepassingen van ozon in diverse gewassen. In onderstaande paragrafen wordt hierop ingegaan. Er zijn ook artikelen gevonden over ozon als veroorzaker van vruchtverruwing op Golden Delicious in Noord-Italië. Hier werd ozon in vervuilde lucht beschreven als oorzaak voor het optreden van sterke vruchtverruwing op Golden Delicious (Huber, 1995). In dit rapport wordt verder niet ingegaan op ozon en vruchtverruwing.

2.1 Werking

Ozon werkt in op bacteriën en schimmels, bevordert de afbraak van pesticiden en chemische residuen en kan worden toegepast bij de bestrijding van bewaarziekten (Habibi Najafi *et al.*, 2009).

Ozon (O₃) is een natuurlijk gas. Het komt vrij bij bliksem en als lucht wordt blootgesteld aan ultraviolet licht. Het wordt dan ook niet gezien als belastend voor het milieu. Ozon is te produceren via elektrolyse in water of met de zogenoemde Corona-discharge, waarbij bliksem wordt nagebootst. Het is gemakkelijk te maken en het valt ook heel gemakkelijk uiteen. Het derde atoom zuurstof splitst er dan met een negatieve lading van af. Dat negatieve atoom kan diverse stoffen oxideren, zoals organisch materiaal en resten van gewasbeschermingsmiddelen. Als er niets meer is te oxideren voor de negatieve zuurstofatomen, reageren ze met elkaar tot zuurstof (O₂). Dit klinkt onschadelijk, maar ozon kan ook zeer schadelijk zijn.

Kopieermachines produceren ozon en worden daarom in kantoren in aparte ruimten geplaatst. Wie ozon inademt stelt de luchtwegen bloot aan de oxiderende werking ervan. Dit gaat gepaard met een prikkelend gevoel in de longen (Oostveen, 2008). Ozon-gas is door mensen al te ruiken bij concentraties van 0,02 tot 0,05 ppm. Ozon heeft in de atmosfeer een halfwaardetijd van 20 – 50 minuten, in water van 1-10 minuten. Ozon is een instabiel gas. In principe bestaat er explosiegevaar bij hoge temperaturen in de aanwezigheid van waterstof, ijzer, koper of chroom. In de praktijk zijn er echter geen gevallen bekend van explosies, met uitzondering van experimenten onder extreme omstandigheden. Bij de werking van ozon wordt aangenomen dat door de oxidatie van ozon de membranen van schimmels, bacteriën en insecten worden aangetast. Ozon is ook in staat om allerlei vluchtige verbindingen te oxideren en kan daarom ook gebruikt worden bij de bestrijding van geur. Ook ethyleen wordt geoxideerd en dit maakt ozon bruikbaar in de bewaring van ethyleen gevoelige groenten en fruit (Van den Brink en Versluis, 2004).

De effectiviteit van ozon tegen schadelijke organismen is sterk afhankelijk van de oppervlakkige aanwezigheid. Hoe beter de bereikbaarheid, des te beter de werking. Ozon kan ook het te beschermen materiaal beschadigen. Ozon kan de waslaag en celmembranen beschadigen. Plantmateriaal kan dan uitdrogen en afstervingsverschijnselen gaan vertonen (Van den Brink en Versluis, 2004).

De werking van ozon wordt bevorderd door de aanwezigheid van negatief of positief geladen luchtionen. Luchtionen (air-ions) zijn elektrisch geladen moleculen, die van nature voorkomen in de lucht. Positieve en negatieve luchtionen ontstaan bij ionengeneratoren of als bijproduct van industriële processen. Luchtionen hebben een korte levensduur, ze verliezen hun negatieve of positieve lading binnen enkele minuten. De levensduur van luchtionen wordt verkort doordat ze botsen tegen wanden of oppervlakken, of doordat ze in contact komen met vervuiling of vocht in de lucht. Negatief geladen luchtionen (Negative air ions, NAI) verminderen vervuiling door schimmels en bacteriën in de lucht. Het toevoegen van NAI's aan de lucht maakt de lucht dus schoner. De concentraties van NAI's in de lucht werden in een proef gebracht op 5x10⁴ tot 5x10⁶ ionen per cm³.

Het toevoegen van deze hoeveelheid NAI's aan ozon verbeterde de werking van ozon op de onderdrukking van de groei van micro-organismen en rot in verse producten (Forney *et al.*, 2001).

Ozon wordt in Amerika onder andere toegepast in de sojateelt. De ozon wordt toegediend met water, dat door speciale doppen een negatieve lading meekrijgt. Daardoor is de bedekking van het gewas bijzonder goed. Een gecombineerde behandeling met UV-licht wordt ook toegepast (Oostveen, 2008).

Het lijkt mogelijk om de ozonconcentratie te verlagen als NAI's gebruikt worden en/of een combinatie met UV-licht wordt toegepast. Zo is schade aan het product door ozon mogelijk te voorkomen.

2.2 Veiligheid bij gebruik

Ozon wordt voor de wet niet gezien als een bestrijdingsmiddel, maar de toepasser heeft nadrukkelijk te maken met de Arbo-wet, omdat inademing van ozon nadelig is voor de luchtwegen. Het is bekend aan welk percentage ozon in de lucht een persoon zonder problemen acht uur lang kan worden blootgesteld. Boven die concentratie neemt die termijn af (Oostveen, 2008).

Ozon kan worden toegepast als gas en als geozoneerd water. In de gasvorm worden sterk verschillende concentraties toegepast van laag (lager dan 0,1 ppm) tot zeer hoog (bijvoorbeeld 2500 ppm).

Ozon-gas is door mensen al te ruiken bij concentraties van 0,02 tot 0,05 ppm. In hoge concentraties is ozon schadelijk voor de mens. Langdurige blootstelling aan concentraties van 4 ppm is dodelijk.

In de Nederlandse wetgeving is acceptatie van blootstelling van werknemers aan (o.a.) stoffen in de lucht geregeld via de Arbeidsomstandighedenwet. Voorheen gaf die voor een groot aantal stoffen MAC-waarden aan (Maximum Accepted Concentrations), waarbij de werkgever er voor moest zorgen dat werknemers niet werden blootgesteld aan concentraties die hoger waren. Zo gold voor ozon de norm van maximaal 0,06 ppm voor een normale blootstelling (8 uur per dag en 5 dagen per week). In ruimten met een concentratie van 0,3 ppm mocht men niet langer dan een kwartier per dag verblijven (Van den Brink en Versluis, 2004). Sinds januari 2007 is in de wetgeving echter voor een geheel andere opzet gekozen, zie hoofdstuk 4.

2.3 Bewaring van groenten en fruit

2.3.1 Appel en peer

Behandeling van appels en peren met 0,4 ppm ozon, bij 0°C gedurende ruim 100 dagen gaf een sterke daling van de ethyleenconcentratie zonder nadelige effecten op de vruchtkwaliteit (Van den Brink en Versluis, 2004). Ook in Spanje vond men na het gebruik van 0,4 ppm ozon in de bewaring van appels en sinaasappels een afbraak van ethyleen. Ook vond men dat *O₃ Rhizopus stolonifer* bestreed en dat er een productie was van resveratrol en pterostilbene phytoalexines (plantversterkers) in tafeldruiven, waardoor de druiven minder vatbaar werden voor infecties. Bij inzet van 8 ppm ozon ontstond er drie keer zoveel resveratrol. Het gebruik van schoon water bevordert de werking van ozon (Artés *et al.*, 2007).

Bij de bewaring van peren bij ultra low oxigen (ULO-bewaring) heeft de toevoeging van ozon weinig aanvullend effect op het kwaliteitsbehoud (hardheid en grondkleur). In een mechanische cel breekt ozon meteen het geproduceerde ethyleen af. Hierdoor behouden de peren in zo'n cel de hardheid en de groene grondkleur beter (Oostveen, 2008).

2.3.2 Bessen

Ervaring met ozon werd bij rode en blauwe bessen opgedaan bij afzetorganisatie Fruitmasters in Geldermalsen. Door in een bewaarhoes met rode bessen gecontroleerd ozon te produceren nam de uitval met 40 tot 50% af (Oostveen, 2008). Telers vinden de toepassing van ozon nog niet gebruiksvriendelijk genoeg (Oostveen, 2008). Blauwe bessen, die 4 weken in CA-bewaring stonden met 0,2 of 0,7 ppm ozon hadden een betere kwaliteit dan na bewaring zonder ozon. Men vond wel meer ethanol en minder aroma, wat duidt op verhoogde stress en veranderingen in de ademhaling (Van den Brink en Versluis, 2004). In Italiaans onderzoek bewaarde men blauwe bessen (*Vaccinium corymbosum*) traditioneel en vergeleek men deze bewaring met toevoeging van ozon om de bewaarbaarheid te verbeteren. De proefrassen waren Bluecrop, Coville en Brigitta Blue, die begin juli tot eind juli (Brigitta) rijpen. Bewaarmonsters werden met de hand geplukt.

De traditionele bewaring gebeurde bij 3°C en 85% luchtvochtigheid. In de tweede bewaarbehandeling werd ozon toegevoegd (concentratie niet vermeld). De bewaarduur was 60 dagen. Men concludeerde dat de stevigheid van de bessen beter bleef als ozon werd toegevoegd. Er was geen invloed op het suiker- en zuurgehalte, maar men concludeerde dat meer onderzoek gewenst was aan effecten op de vruchtkwaliteit (Chiabrande *et al.*, 2006).

2.3.3 Zoete kers

In Turkije is veel onderzoek gedaan aan het gebruik van ozon bij de bewaring van zoete kers. Het in Turkije zeer veel geteelde ras 0900 Ziraat was het proefras. Kersen worden meestal direct na de oogst gekoeld, vaak al op het veld. 0900 Ziraat is een ras dat na de oogst snel achteruit gaat in vruchtkwaliteit. Bij de verkoeling heeft men het effect van ozon in water onderzocht op vruchtkwaliteit en bewaarbaarheid. De kersen werden gekoeld met water van 2 à 3 °C. Hieraan werd ozon toegevoegd op verschillende manieren. Ten eerste werd ozon gegeven gedurende 8 minuten aan het water in een leeg waterbad en gedurende 8 minuten als de kersen in het water waren. Ten tweede gaf men ozon gedurende 16 minuten aan de kersen in water. Ten derde behandelde men het water voor met ozon gedurende 8 minuten, waarna men de kersen in het water deed zonder ozon toe te voegen. Ten vierde deed men de kersen voor 16 minuten in het koude water zonder ozon als controle (0).

Behandelingen in Turks onderzoek bij zoete kers:

0. kersen in bad 16 minuten, maar zonder ozon (controle)
1. water 8 minuten met ozon, kersen in bad met 8 minuten ozon
2. water 0 minuten met ozon en kersen in bad 16 minuten ozon
3. water 8 minuten met ozon, kersen in bad voor 8 minuten zonder ozon

Na de behandelingen werden de kersen in plastic kisten gedaan en afgedekt met plastic folie. De kisten werden bewaard bij 10°C en 60-65% relatieve luchtvochtigheid. De ozonmachine produceerde 0,48 g ozon per uur. De ozonconcentratie in ppm werd niet vermeld. De kersen werden op de 3^e, 5^e en 7^e dag van bewaring bekeken op vruchtkwaliteit. Alle behandelingen hadden vochtverlies tijdens de bewaartijd. De kersen uit de controle hadden na 7 dagen het minste gewichtsverlies en de kersen uit behandeling 1 het meeste. Er was geen verschil in gewichtsverlies tussen behandeling 2 en 3, die tussen de controle en behandeling 1 in lagen, maar meer gewichtsverlies hadden dan de controle. Behandeling 3 gaf de groenste en donkerste steelkleur na de bewaring. De kersen van behandeling 1 hadden de geelste en lichtste stelen. Men vond geen invloed op de stevigheid van het vruchtvlies en van het suiker- en zuurgehalte tijdens de bewaring. De kersen van de controlebehandeling waren na 5 dagen bewaring niet meer verkoopbaar. Van de overige behandelingen waren de kersen na 7 dagen nog van een verkoopbare kwaliteit. Na 5 dagen bewaring had men nog geen verschillen in gisten en schimmels op de schil gevonden, maar na 7 dagen hadden alle kersen van de ozonbehandelingen minder micro-organismen op de schil. Er werd dus een positief effect van ozon gevonden op de bewaarbaarheid van 0900 Ziraat (Koyuncu *et al.*, 2008).

2.3.4 Sinaasappel, druif en perzik

In Chili en Amerika concludeerde men dat de toepassing van ozon op sinaasappelen, perzik en druiven geen alternatief is voor fungiciden omdat de schimmels dieper in de vruchten niet goed te bestrijden zijn. Ozonbehandelingen zouden wel ondersteunend kunnen zijn. Perziken werden gedurende 4 weken bewaard bij 5°C, 90% relatieve luchtvochtigheid en 0,3 ppm ozon. De groei van de schimmels werd vertraagd door de ozon. Bij *Monilinia fructicola* was dit effect significant, bij andere schimmels (*Botrytis cinerea*, *Mucor piriformis* en *Penicillium exoansum*) niet. Bij sinaasappel zorgde een ozonbehandeling voor een week vertraging van het optreden van *Penicillium digitatum* en *P. italicum*. Bij druiven zag men na ozonbewaring gedurende 7 weken dat de *Botrytis*-aantasting 0% was, tegen 60% bij onbehandelde druiven. Bij perziken vond men bij sommige rassen veel vochtverlies door beschadiging van de schil (Van den Brink en Versluis, 2004).

2.3.5 Broccoli, kiwi en aardbei

In Amerikaans onderzoek gaf een behandeling van 0,7 ppm ozon bij bewaring van broccoli gedurende 12 dagen, een temperatuur van 12°C en een RV van 95-99% schade toe aan het product. De broccoli had bij 0,7 ppm ozon veel uitdroging aan de stengeluiteinden. Bij 0,7 ppm constateerde men een verhoogde ademhaling en ethyleenproductie.

Men veronderstelde een beschadiging van de cuticula (opperhuid) door ozon. Bij 0,2 ppm ozon had men evenveel reductie van de schimmelvorming, maar was er geen schade aan de broccoli (Van den Brink en Versluis, 2004).

Ozonbehandeling werd ook onderzocht bij kiwi in Korea. Bij een dosering van 0,81 ppm ozon in water was er een goede werking tegen *Botryosphaeria dothidea*, bij 0,44 ppm voor *Botrytis cinerea* en 0,38 ppm voor *Diaporthe actinidiae* (*Phomopsis mali*).

In Spanje is veel onderzoek gedaan aan de effecten van ozonbehandelingen bij aardbeien. Spaanse onderzoekers constateerden een verlaging van de schimmelvorming door *Botrytis cinerea* bij bewaring gedurende 3 dagen bij 2°C en 1,5 ppm ozon. In onbehandelde ruimten hadden de aardbeien meer rot, meer gewichtsverlies en werden de aardbeien sneller week dan bij de met ozon behandelde aardbeien. Door oxidatie van vluchtige verbindingen door ozon verloren de aardbeien wel tijdelijk hun geur. Aardbeien die in een andere Spaanse proef werden bewaard bij 0,35 ppm hadden geen duidelijke voordelen van de ozon. De concentratie van ozon was te laag voor schimmelremming, maar er was wel een minder goed aroma, omdat er minder vluchtige esters vrij kwamen (Van den Brink en Versluis, 2004).

In onderzoek van Tzortzakis, Singleton en Barnes in 2007 vond men goede effecten van 0,1 ppm ozon bij tomaten, aardbeien, tafeldruiven en pruimen. Men constateerde dat deze vruchten na besmetting met *Botrytis cinerea* gevolgd door 0,1 ppm ozonbehandeling en bewaring bij 13°C veel minder vorming van schimmelgroei en sporen lieten zien. Men constateerde ook dat er meer effect van ozon was als de ozonconcentratie hoger was en de behandelduur langer. Men gaf aan dat voor diverse gewassen en bewaarcondities een optimaal ozonregime via onderzoek zou moeten worden vastgesteld.

2.4 Bewaring van uitgangsmateriaal

In Lelystad hebben Van den Brink en Versluis een literatuurstudie uitgevoerd om na te gaan wat de bruikbaarheid van ozon kan zijn bij de bewaring van uitgangsmateriaal (pootaardappelen) en zaden. Hierbij wil men met ozon de bacteriën, schimmels en insecten bestrijden op uitgangsmateriaal om de inzet van chemische middelen te beperken. Voor een goede bestrijding zijn hoge concentraties ozon (700-3600 ppm) nodig gedurende korte tijd (tot 38 seconden), waardoor de toepassing van ozon alleen in afgesloten ruimten kan plaatsvinden. De bestrijding van de genoemde organismen zal beter zijn als ze oppervlakkig op het materiaal aanwezig zijn. Voor de bestrijding van insecten zal een hoge concentratie ozon nodig zijn, waarbij er verschillen zijn in gevoeligheid voor ozon tussen verschillende insecten. Een goed effect van ozon lijkt bij plantmateriaal (zaden, bollen, knollen bereikbaar bij het toepassen van een hoge concentratie ozon en gedurende korte tijd. Per gewas zal een optimale ozonbehandeling onderzocht moeten worden (Van den Brink en Versluis, 2004).

2.4.1 Bewaring van pootaardappelen

Bij PPO-Akkerbouw in Lelystad is veel ervaring opgedaan met ozon bij de bewaring van pootaardappelen. Het blijkt dat de sporen van zilverschurft worden gedood, maar de schimmel zelf niet. Die zit namelijk onder de schil en is onbereikbaar voor ozon. Het voordeel is toch dat nestrot wordt voorkomen, zodat uitval beperkt wordt. De toegevoegde ozon bereikt het midden van de aardappelkisten goed. Dit geeft aan dat ook het midden van de kleinere fruitkisten goed bereikt kan worden om bewaarrot (*Botrytis*) te bestrijden. In de bewaring van aardappelen wordt ozon gecombineerd met de inzet van ultraviolet licht (UV-licht). Op een overkapte aanvoerband voert men eerst ozon toe en worden de aardappelen vervolgens blootgesteld aan UV-licht. Het UV-licht werkt tegen bewaarziekten en versneld de afbraak van het overtollige ozon (Oostveen, 2008).

Ozon werd bij pootaardappelen ingezet als kiemremmingsmiddel en tegen schimmels. Er werd ook onderzoek gedaan bij graszaad, gerst, maïs en rijst. Bij de bewaring waren concentraties van 0,10 ppm bij gerst voldoende voor doding van mycelium, maar niet voor het doden van sporen.

2.4.2 Schimmelbestrijding bij zaden

Van den Brink en Versluis vonden veel literatuur met beschrijvingen over het gebruik van ozon voor de schimmelbestrijding tijdens de bewaring van producten. Het mycelium van schimmels was gevoeliger voor ozon dan de sporen van de schimmel. Zo werd door de onderzoekers Allen, Wu en Doan in 2003 vastgesteld dat op gerstzaad dat met 0,10 ppm ozon mycelium werd gedood, maar de sporen niet.

Als gerst gedurende 2 minuten werd behandeld met 570 ppm ozon gevolgd door het gesloten houden van de behandelruimte voor 15 minuten gaf dit een dodingpercentage van schimmels van 99%. Het resultaat was mede afhankelijk van de temperatuur van de behandelruimte (temperatuur van 20°C had een beter effect dan bij 0°C) en het vochtgehalte van de gerst (hoe droger de korrel, hoe minder het effect). Als langdurig (30 minuten) met een hoge dosering (570 ppm) werd gewerkt, daalde het kiemingspercentage van de gerstkorrels (Van den Brink en Versluis, 2004).

Bij de behandeling van graszaad in China door Hsieh in 1998 bleek bij de bestrijding van 3 verschillende schimmels, dat naarmate de conidiën (sporen) een dikkere wand hadden, er een langere behandeltijd nodig was voor een complete doding van de conidiën.

In rijst onderzocht Van Deynze in 2004 het effect van ozon. Ozon was alleen effectief in voorgeweekt zaad en niet in droog zaad. In droge rijst bleek ook de schimmelgroei beperkt te zijn (Van den Brink en Versluis, 2004).

Zaden kunnen veel ozon verdragen voordat invloed op de kieming optreedt, vaak meer dan nodig is voor de bestrijding van schimmels. Vooral zaden met een laag vochtgehalte kunnen veel ozon verdragen. Schade door ozon aan plantmateriaal kan vrij snel ontstaan, omdat ozon onder andere de waslaag en de celmembranen kan beschadigen. Het plantmateriaal kan dan uitdrogings- en afstervingsverschijnselen gaan vertonen (Van den Brink en Versluis, 2004). De effecten van ozonconcentraties zijn per gewas verschillend. Het ene gewas kan meer ozon verdragen dan het andere.

2.5 Toepassing van ozon tegen insecten

Voor een doding van insecten is een hogere dosering ozon nodig dan voor schimmels. Van den Brink en Versluis verwijzen in hun literatuurstudie naar onderzoek van Kells et al. (2001). In een laboratoriumonderzoek vond Kells een doding van insecten, die doorgaans in bewaarsilo's van graan voorkomen, na een behandeling met 50 ppm ozon, gedurende 3 dagen. De doding van insecten in silo's met ca. 9 ton maïs was hoger dan 90% na 3 dagen behandeling met 50 ppm ozon. Het ging om de doding van larven van de Indian Meal Moth (*Plodia interpunctella* (Hübner)), volwassen Red Flour Beetle (*Tribolium castaneum* Herbst) en volwassen Maize Weevels (*Sitophilus zeamais* (Motsch.)). Een concentratie van 25 ppm ozon gedurende 5 dagen gaf vergelijkbare resultaten, behalve bij de larven van de Indian Meal Moth, die een doding had van 75%. Uit onderzoek van Mendez et al. in 2003 kwam naar voren dat er na ozonbehandeling met 50 ppm geen nadelig effect was op de kieming van maïs. In ander Amerikaans onderzoek door Leesch et al in 2003 tegen dezelfde insecten vond men dat het effect van ozon werd versterkt door het verhogen van de CO₂-concentratie (Van den Brink en Versluis, 2004).

Om insecten te bestrijden zijn dus vrij hoge concentraties van ozon nodig. Met 50 ppm en hoger is een bestrijding van 90% mogelijk. Het effect is sterk afhankelijk van de bereikbaarheid van de insecten in het product (Van den Brink en Versluis, 2004). Elk insect en elk stadium (ei, larve of adult) reageert anders op ozon. De optimale ozonconcentratie voor bestrijding zou onderzocht moeten worden. In de fruitteelt is het gebruik van hoge koolzuurconcentraties en lage zuurstofconcentraties in de bewaring normaal. Insecten worden in deze condities al gedood. Een bestrijding van insecten met ozon is dan overbodig.

2.6 Toepassing van ozon tegen bacteriën

Bij de bestrijding van bacteriën zijn hoge concentraties (700 - 3600 ppm) gedurende korte tijd (18 tot 38 seconden) effectief. Een behandeling met geozoneerd water met 8 ppm ozon gaven goede resultaten bij aardappelen. Ook hier speelt dat bacteriën beter bestreden kunnen worden als ze buiten op het product zitten. Ook als NAI's (negative air ions) werden toegevoegd was het effect beter (Van den Brink en Versluis, 2004).

3 Waterstofperoxide (H₂O₂)

In dit hoofdstuk wordt de gevoeligheid van de mens voor waterstofperoxide besproken. Er wordt ingegaan op effecten van waterstofperoxide bij de bestrijding van schimmels bij fruit. Als behandelingen in literatuur gecombineerd werden met ozon dan zijn deze beschreven in dit hoofdstuk en niet in hoofdstuk 2 Ozon.

3.1 Gevoeligheid van de mens voor H₂O₂

Waterstofperoxide is schadelijk voor de mens. Een concentratie van 75 ppm wordt als zeer gevaarlijk tot dodelijk gezien. De pH (zuurgraad) van waterstofperoxide is 8. Inademing van de gasvorm kan zeer sterke irritatie en verbranding geven van de neus, keel en luchtwegen.

Waterstofperoxide wordt voor mondverzorging gebruikt. Het is een agressieve stof, dat bij hoge concentraties en verkeerd gebruik flinke schade toebrengt aan het tandvlees en het glazuur poreus maakt. (bron: www.netdokter.nl). Waterstofperoxide wordt gebruikt bij ontstekingen van het tandvlees door bacteriën en is zonder doktersrecept in lage concentratie verkrijgbaar in apotheken (bron: www.apotheek.nl).

3.2 Werkingsmechanisme

Waterstofperoxide is een stof die in planten ontstaat in stress situaties. Zo heeft Prasad in 1994 aangetoond dat er productie van waterstofperoxide plaats vindt in zaailingen van maïs bij lage temperatuurstress. Dit hoeft niet tot schade te leiden als de overmaat aan waterstofperoxide snel wordt omgezet (geoxideerd) in H₂O na een reactie met ascorbinezuur (vitamine C). Als er geen of onvoldoende omzetting is, treedt er oxidatieschade op (Larrigaudiere *et al.*, 2003).

Bij peren kan hiervan sprake zijn als peren bewaard worden bij CA-bewaring (CA=Controlled Atmosphere). Er ontstaat ('oxidative') oxidatie-stress tijdens de beginfase van de CA-bewaring. Deze oxidatie kan gepaard gaan met schade aan het weefsel (Larrigaudiere *et al.*, 2003).

Waterstofperoxide wordt gebruikt als reinigingsmiddel van medische instrumenten. Het doodt ziekteverwekkende bacteriën (Klapes & Vesley, 1990).

Bespuitingen met ASM (Acibenzolar-S-methyl), een plantversterker zet processen in de plant aan het werk, waarbij stoffen worden gemaakt die de afweer van de plant voor schimmels vergroten. In dit proces worden er afweerenzymen (antioxidanten) gemaakt, waardoor de gevoeligheid van de plant voor ziekten afneemt. Hierbij vindt ook de productie van H₂O₂ plaats. ASM wordt ingezet tegen bewaarziekten om bespuitingen met fungiciden te verminderen. Resultaten werden gevonden bij bestrijding van bewaarziekten in Yali peren (Cao *et al.*, 2005).

Waterstofperoxide zou volgens Torres *et al.* (2003) in onrijpe appels van het ras Golden Delicious deel uitmaken van het natuurlijke resistentiemechanisme. Het maakt onrijpe appels minder gevoelig voor de schimmel *Penicillium expansum* na verwonding. In rijpe vruchten kan de schimmel wel aantasting geven na beschadiging, omdat rijpere appels minder waterstofperoxide bevatten.

Waterstofperoxide wordt gebruikt als ontsmettingsmiddel. Via verzadiging van de lucht met damp van waterstofperoxide (35% gewichtsprocenten) is er een werking tegen ziektekiemen. Op deze wijze wordt het gebruikt bij het ontsmetten van verpakkingen. Hierbij wordt gedurende korte tijd (1 minuut) damp langs polyethyleen verpakkingen geleid, waardoor er adsorptie is van werkzame stof door het folie, waardoor het verpakte product (medische instrumenten) beschermd wordt tegen bacteriën (Wang & Toledo, 1986).

3.3 Waterstofperoxide en warmtebehandeling

Aan de Universiteit van Georgia in de Verenigde Staten is onderzoek gedaan naar de werking van melkzuur (lactic acid) met waterstofperoxide bij de bestrijding van *Escherichia coli* O157:H7, *Salmonella enteritidis* en *Listeria monocytogenes* op appels, sinasappels en tomaten. Genoemde organismen zijn bacteriën die voedselvergiftiging kunnen veroorzaken. Om vruchten die vers gegeten worden (bijna) bacterievrij bij consumenten te bezorgen, zijn vruchten gekocht in een supermarkt, geïnfecteerd met bacteriën en vervolgens behandeld met melkzuur en waterstofperoxide. De resultaten gaven aan dat behandeling met 1,5% melkzuur plus 1,5% waterstofperoxide bij 40°C gedurende 15 minuten zeer effectief was om de hoeveelheid ziekteverwekkende bacteriën op de vruchten te verminderen. De behandeling had geen nadelige effecten op smaak en de vruchtkwaliteit (Venkitanarayanan *et al.*, 2002).

In de Verenigde Staten (Californië) werd waterstofperoxide gebruikt om de schimmel *Penicillium digitatum* (Green mold) te bestrijden bij citroenen. Men nam pasgeplukte citroenen, die niet behandeld werden met chemische bestrijdingsmiddelen. Men dompelde de licht beschadigde citroenen in 5, 10 en 15% waterstofperoxide gedurende 10, 30 of 90 seconden. Alle behandelingen bestreden de schimmel onvoldoende. Bij de behandeling van 90 seconden, alle drie de doseringen van waterstofperoxide en bij 25 °C ontstond een gemiddelde tot ernstige schilbeschadiging aan alle citroenen. De beschadiging was eerst rood- en bronskleurig en ging daarna over in bruinverkleuring en verdroging tijdens de bewaring. Waterstofperoxide bij deze temperatuur veroorzaakte dus onacceptabele schade aan de vruchten en was onbruikbaar voor toepassing tegen *Penicillium digitatum* (Smilanick, J.L., D.A. Margosan en D.J. Henson, 1995).

3.4 Toepassingsmogelijkheden

3.4.1 Appel

In de Verenigde Staten kunnen op appel 'sooty blotch' (*Peltaster fruticola*, *Leptodontium elatius*, *Geastrumia polystigmatis*) en 'fleyspeck' (*Schizothyrium pomi*) voorkomen op de schil. Deze schimmelaantastingen verminderen de kwaliteit van de appels sterk. De schimmels groeien op de waslaag van de appelschil. Na de oogst werden appels van de rassen Jonathan en Golden Delicious gedompeld voor 7 of 15 minuten in diverse oplossingen. Eén van de oplossingen bestond uit chloor (standaard) een tweede uit een mengsel van waterstofperoxide (11%) en peroxyzuur (peroxyacetic acid) (15%) ('Tsunami 100') in verschillende concentraties en verhoudingen. De resultaten gaven aan dat een dompeling in chloor van 7 minuten in een oplossing met een concentratie van 800 ppm, gevolgd door 30 seconden afborstelen van de appels een zeer goed resultaat had en gaf 100% appels in een hoge kwaliteitsklasse. Mengsels van waterstofperoxide en peroxyzuur hadden een minder goed effect dan chloor. De hoogste concentraties waterstofperoxide (480 ppm) en peroxyzuur (360 ppm) hadden een minder bestrijdingseffect dan chloor (Batzner *et al.*, 2002).

In Spanje hebben Venturini *et al.* (2002) onderzoek gedaan aan de effecten van waterstofperoxide tegen de schimmel *Penicillium expansum* bij appel. Men deed het onderzoek in petrischalen. Het effect van 5 en 10% waterstofperoxide was met 100% werking zeer goed. Geconcludeerd werd dat het inzetten van waterstofperoxide mogelijk een alternatief is voor het spuiten van fungiciden tegen *P. expansum* bij appel. In een ander onderzoek werden appels gewassen met water, waaraan 1% waterstofperoxide werd toegevoegd om bacteriën te verwijderen. Hierbij was het doel het voorkomen van ziekten bij mensen en niet het beschermen van de vruchten. Appels werden eerst besmet met (voor mensen schadelijke) *Escherichia coli* bacteriën en werden daarna gewassen met 1% waterstofperoxide bij 20 en bij 40°C en gedurende 15 of 30 minuten om de appels te ontsmetten. Na de behandeling werden de appels gepoetst en schoongespoten met kraanwater (20°C) gedurende 30 seconden om residu van H₂O₂ te verwijderen. De resultaten van 1% waterstofperoxide waren goed, onafhankelijk van de temperatuur en de behandeltijd en men zag geen nadelen aan het uiterlijk van de appels. Men vond geen residu van H₂O₂ op de vruchten. Men zag H₂O₂ als een alternatief voor chloorbehandeling (Sapers & Sites, 2003). Sapers verrichtte toegepast onderzoek om appels te ontsmetten van bacteriën, die ziekteverwekkend zijn voor mensen. De appels werden gebruikt voor verwerking en men keek vooral naar de steel en steelholte, waar gemakkelijk bacteriën achterbleven. Meestal werd gewerkt met Golden Delicious (Sapers & Sites, 2003).

3.4.2 Druif en aardbei

In een proef bij druiven voor verse consumptie werden goede resultaten gevonden op de bewaarbaarheid als druiven werden behandeld met waterstofperoxide in dampvorm met een concentratie van 30-35% waterstofperoxide bij 40°C. Na 12 dagen bewaring in zakken en bij 10°C waren er significant minder druiven aangetast door *Botrytis cinerea* dan bij onbehandelde druiven. Er was geen effect op de kleur en de suiker- en zuurgehalten van de druiven (Fournay, C.E. *et al.*, 1991).

Een toepassing van waterstofperoxide bij druiven, die 3 maanden werden bewaard, gaf het beste resultaat als de druiven bij inslag werden blootgesteld aan een damp van waterstofperoxide gedurende 20 minuten bij 40°C. De waterstofperoxide werd in een dampvorm met concentratie van 30-35% toegediend. Een langere behandelduur gaf weliswaar een betere bestrijding van micro-organismen, maar benadeelden de smaak en het uiterlijk van de druiven (Eris, 1994).

In India onderzochten Shitole *et al.* (2000) de werking van waterstofperoxide in petrischalen. In petrischalen werd gekeken naar de werking van waterstofperoxide (0,3%) tegen de schimmels *Rhizopus stolonifer*, *Aspergillus niger*, *Pestalotiopsis disseminata* en *Cladosporium oxysporum*. Deze schimmels veroorzaken vruchtrot in aardbeien. Tegen *Rhizopus* gaf waterstofperoxide geen werking te zien. De schimmelgroei in de petrischaal werd met 4% afname nauwelijks geremd. Hetzelfde was het geval bij *Aspergillus niger*, *Pestalotiopsis disseminata* en *Cladosporium oxysporum*. Bij alle schimmels werd ook de vorming van sporen in de petrischalen niet geremd. Mogelijk was de gebruikte concentratie waterstofperoxide van 0,3% in dit onderzoek te laag.

3.4.3 Blauwe bes

Blauwe bessen worden veel gebruikt voor verwerking. Vooral de 'lowbush' blauwe bes, ofwel wilde bosbessen, worden hiervoor gebruikt. Bij de ontsmetting van de bosbessen wordt veel gebruik gemaakt van chloor. In onderzoek worden alternatieven voor chloor gezocht om de bessen te ontsmetten tegen bacteriën. Met het gebruik van 1% waterstofperoxide en 1 ppm ozon in water vonden Crowe *et al.* (2007) goede resultaten tegen de bacteriën *Enterobacter agglomerans* en *Pseudomonas*. Met een wat lagere concentratie van waterstofperoxide (1%) ten opzichte van de veel gebruikte 30-35% had men in combinatie met ozon toch goede resultaten bij blauwe bes.

3.4.4 Paprika

In Egypte was er zeer goede onderzoekservaring met het dompelen van paprika's (*Capsicum annum*) in waterstofperoxide (Bayoumi, 2008). Hele paprika's werden gedompeld gedurende 30 minuten in een oplossing van 0, 1, 5 en 15 mM (%) waterstofperoxide, vervolgens werden paprika's gedroogd en bewaard bij kamertemperatuur (20°C) gedurende 2 weken en in een koelcel (10°C) voor 4 weken. De paprika's werden na dompeling met lucht gedroogd en bewaard. Waterstofperoxide verminderde significant het gewichtsverlies, de hoeveelheid rot en nitraat, vooral bij 15 mM in vergelijking tot onbehandeld. De waterstofperoxide verbeterde het totale uiterlijk, het ascorbinezuurgehalte (vitamine C) en de activiteit van antioxidanten. Waterstofperoxide verbeterde de bewaarbaarheid, de houdbaarheid en zorgde voor een beter behoud van de voedingswaarde (Bayoumi, 2008).

4 Regelgeving

Om middelen te mogen gebruiken tegen vruchtrot kan een toelating als gewasbeschermingsmiddel nodig zijn en mag het gebruik niet strijdig zijn met de Arbo-wet. Bij de toelating van middelen wordt beoordeeld of het middel bij toepassing onacceptabele schade kan toebrengen aan de omgeving en of er te veel schadelijke residuen achter kunnen blijven op het eindproduct. De Arbo-wet heeft betrekking op de gezondheid van degenen die met de middelen moeten werken.

De criteria die bij de beoordelingen worden gehanteerd zijn aan verandering onderhevig. Een belangrijke reden voor verandering is voortschrijdend inzicht in de mogelijke schade aan de omgeving en aan degenen die de middelen gebruikt. Een andere reden is dat de maatschappelijke acceptatie van schadelijke neveneffecten in het algemeen afneemt.

4.1 Toelating van de middelen

De toelating van gewasbeschermingsmiddelen en biociden in Nederland wordt toegekend door het College voor de toelating van gewasbeschermingsmiddelen en biociden (CTGB). Het CTGB baseert zich hierbij op de Europees geharmoniseerde wet- en regelgeving.

4.1.1 Ozon

Op 18 oktober 2008 heeft het CTGB in berichtgeving aangegeven dat voor ozon geen toelating nodig is. Op 18 oktober 2008 is de wijziging van de Regeling gewasbeschermingsmiddelen en biociden in werking getreden. De Regeling kent een Bijlage IX 'Uitgezonderde biociden' waarop de minister biociden en werkzame stoffen plaatst waarvoor geen toelating nodig is. Op deze bijlage is sinds 18 oktober 2008 opgenomen de werkzame stof "ozon, dat op de plaats van toepassing wordt opgewekt door middel van daartoe bestemde apparatuur".

Echter bij de toepassing van ozon op geoogste vruchten is er formeel sprake van een toepassing als gewasbeschermingsmiddel. In die situatie kan niet worden teruggevallen op genoemde bijlage IX 'Uitgezonderde biociden'. Dit betekent dat voor toepassing van ozon in de bestrijding van micro organismen op de schil van vruchten een toelating beschikbaar zal moeten zijn.

De Wet gewasbeschermingsmiddelen en biociden (Wgb, 2007) omschrijft een **biocide** als een werkzame stof of een preparaat dat één of meer werkzame stoffen bevat, *bestemd of aangewend om een schadelijk organisme te vernietigen, af te schrikken, onschadelijk te maken, de effecten daarvan te voorkomen of het op andere wijze langs chemische of biologische weg te bestrijden, niet zijnde een gewasbeschermingsmiddel*. Werkzame stoffen kunnen zowel chemische stoffen als micro-organismen (virussen en schimmels) zijn.

De Wet gewasbeschermingsmiddelen en biociden (Wgb, 2007) omschrijft een **gewasbeschermingsmiddel** als een werkzame stof of een preparaat met één of meer werkzame stoffen, bestemd om te worden gebruikt om:

- 1) planten of plantaardige producten te beschermen tegen alle schadelijke organismen of de werking daarvan te voorkomen;
- 2) levensprocessen van planten te beïnvloeden, voor zover het niet gaat om nutritieve stoffen;
- 3) plantaardige producten te bewaren;
- 4) ongewenste planten te doden of
- 5) delen van planten te vernietigen of een ongewenste groei van planten te remmen of te voorkomen.

In de Verenigde Staten heeft de FDA (Food and Drug Administration) in 2001 ozon toegelaten als een antimicrobieel middel voor gebruik bij de verwerking, opslag en bewerking van voedsel, waaronder groenten en fruit. Ozon heeft hiervoor de zogenaamde GRAS-status (Generally Recognized As Safe) gekregen (Van den Brink en Versluis, 2004).

In de Verenigde Staten wordt ozon ook toegepast in de biologische landbouw.

In de National List of Allowed and Prohibited Substances wordt ozon vermeld als een middel dat toegestaan wordt voor gebruik in verwerkte producten die gelabeld zijn als "organic" (Van den Brink en Versluis, 2004).

4.1.2 Waterstofperoxide

Waterstofperoxide is een desinfectiemiddel. Na het gebruik voor ontsmetten van verpakkingsmateriaal mag er niet meer dan 1 ppm waterstofperoxide op het verpakte product zitten.

Voor het gebruik van waterstofperoxide als ontsmettingsmiddel van vruchten is er geen toelating.

4.2 Arbo gerelateerde aspecten

De Arbeidsomstandighedenwet (Arbowet) bevat regels voor werkgevers en werknemers om de gezondheid, de veiligheid en het welzijn van werknemers en zelfstandig ondernemers te bevorderen. Doel is om ongevallen en ziekten, veroorzaakt door het werk, te voorkomen.

In het verleden gaf de Arbowet (in feite de Arboregeling) gedetailleerd aan welke eisen aan de werkplek werden gesteld. De Arbo-wet is een raamwet met hoofdlijnen van het arbobeleid, waaraan door middel van het Arbobesluit, de Arboregeling en Arbo-beleidsregels invulling is gegeven. Zo is voor een groot aantal stoffen vastgesteld aan welke concentraties (MAC-waarden) werkenden mochten worden blootgesteld. In het verleden was het voldoende als een werkplek aan deze eis voldeed. Sinds de Arbo-wet in 2007 is veranderd wordt echter van de werkgever verlangd dat hij zelf na gaat wat mogelijk en haalbaar is, en dat ook toepast. Hij moet namelijk "voldoen aan de stand van de wetenschap en professionele dienstverlening" (Ministerie van SZW, 2007). Het doel van deze wijziging was de verantwoordelijkheid van werkgever en werknemers voor het arbobeleid te vergroten en maatwerk mogelijk te maken. Het idee is dat vakbonden en werkgeversorganisaties een zogenaamde arbocatalogus of arbo-branchebrochures samenstellen waarin is aangegeven op welke manier en met welke middelen bedrijven de doelvoorschriften kunnen halen. Voor de fruitteelt bestaat nog geen arbo-branchebrochure, deze is wel in voorbereiding en komt waarschijnlijk in 2009 gereed (www.arbeidsinspectie.szw.nl).

4.2.1 Ozon

Inhalatie van ozon is in principe schadelijk voor de gezondheid. Symptomen van een te grote blootstelling zijn een droge mond en keel, hoesten, hoofdpijn en longproblemen. Bij zeer hoge concentraties kunnen acute problemen ontstaan (Lenntech, 2008). In de Arboregeling is voor blootstelling aan ozon vastgelegd dat de TGG-1uur (tijdgewogen gemiddelde concentratie over 1 uur) maximaal 0,12 mg/m³ mag bedragen. Bij dergelijke concentraties is de kans op de genoemde symptomen nihil.

Wat de vernieuwing van de Arbowet betekent voor het werken met ozon op fruitteeltbedrijven is nog niet duidelijk. In elk geval mag de genoemde grenswaarde van 0,12 mg/m³ (als gemiddelde over een uur) niet worden overschreden. Omdat het in principe mogelijk is om zonder ozon te werken kan de Arbeidsinspectie het gebruik van ozon helemaal verbieden. Maar omdat ozon (eventueel in combinatie met UV) het gebruik van andere middelen kan doen afnemen is er veel voor te zeggen om dat niet te doen. De Arbeidsinspectie beraadt zich nog over een standpunt in deze.

4.2.2 Waterstofperoxide

In de Arboregeling is niets opgenomen over blootstelling aan waterstofperoxide. Voorheen gold in Nederland voor waterstofperoxide in oplossing een MAC-waarde van 1ppm (1,4 mg/m³), en moesten ademhalingsbeschermingsmiddelen worden gebruikt als de oplossing (bijvoorbeeld door verneveling) in de lucht kon komen.

Echter, met het oog op de formulering dat de werkgever moet voldoen aan de stand van de wetenschap en professionele dienstverlening geldt hier hetzelfde voorbehoud als voor het werken met ozon.

5 Kosten van behandeling met ozon of waterstofperoxide

De kosten van fruitbehandeling tegen vruchtrot met ozon of met H₂O₂ (waterstofperoxide) hangen af van de manier waarop deze wordt toegepast. Omdat voor behandeling met H₂O₂ een toelating nodig is, is dit hoofdstuk vooral gericht op ozon. Wat behandeling met H₂O₂ betreft zijn er in het buitenland gunstige ervaringen met behandeling voorafgaand aan de oogst, waarbij *Botrytis* werd bestreden. Hierbij werd een 0,5% oplossing versproeit. De kosten hiervan zouden iets lager zijn dan die van een chemische bestrijding (persoonlijk mededeling Kerger¹).

Met betrekking tot behandeling met ozon kan onderscheid worden gemaakt tussen toepassing in de koelcel of aan de sorteerlijn. Bij toepassing aan de sorteerlijn wordt ozon opgelost in water en is behandeling van de appels mogelijk in een waterbad en/of door middel van sprayen of spoelen aan de sorteerlijn ('waterval'). De in paragraaf 5.2 beschreven installatie combineert het waterbad met de waterval.

5.1 Ozonbehandeling in de koelcel

Voordelen van toepassing in de koelcel zijn dat de behandeling langdurig kan zijn en dat humane blootstelling aan ozon of het H₂O₂ geheel wordt voorkomen. Een bijkomend voordeel is dat door de behandeling met ozon tevens een aanzienlijk deel van de gewasbeschermingsmiddelen op het fruit (volgens Agrozone tot 97% (Koster, 2009)) wordt afgebroken tot onschadelijke stoffen. Bij deze toepassing zijn – buiten de ozoninstallatie en apparatuur voor monitoring – geen speciale voorzieningen nodig aan de koelcel nodig. Een combinatie met UV is bij deze toepassing niet mogelijk.

De kosten van deze behandeling zijn sterk afhankelijk van de uitvoering van de koelcellen en van het aantal cellen. Het meten van de ozonconcentratie en het produceren van ozon zijn moeilijker in ULO-cellen dan in 'normale' (21% O₂) cellen. De apparatuur om de ozonconcentratie te meten en te monitoren is duur, maar deze kosten zijn vrijwel onafhankelijk van het aantal cellen. Naarmate er meer koelcellen op de apparatuur worden aangesloten zijn deze kosten dus lager.

Als ozon wordt toegepast in 10 cellen bedraagt de investering voor het meten en monitoren ongeveer €1.500,- per cel. De apparatuur voor het produceren van de ozon kost ongeveer €1.100,- voor een ULO-koelcel met een inhoud van 1.500 m³ (De Haan, persoonlijke mededeling²). Bij 6% rente en afschrijving in 8 jaar bedragen de jaarkosten van deze investering €400,-.

Daarnaast moet volgens De Haan rekening worden gehouden met ongeveer €400,- onderhoudskosten en €400,- energiekosten voor de ozonproductie, waardoor de totale kosten worden berekend op €1.200,- voor een koelcel van 1.500 m³, waar ongeveer 480 ton appels (3,15 m³ celinhoud per ton appels) in kan worden bewaard. Dit komt neer op €2,50 per bewaarde ton appels, oftewel 0,25 ct/kg.

5.2 Ozonbehandeling aan de sorteerlijn

Als de ozonbehandeling plaatsvindt in een waterbad aan de sorteerlijn duurt de blootstelling van de appels aan ozon veel korter dan bij toepassing in de koelcel. Om te voorkomen dat de ozon al verdwijnt voordat het de appels heeft bereikt kan de behandeling het beste niet plaatsvinden in de waterdumper waarin de appels uit de voorraadkisten worden gehaald, maar in een apart waterbad of door douchen. Dit biedt tevens de mogelijkheid om de appels en vooral het water (bijvoorbeeld middels een zandfilter of lamellenseparator) te ontdoen van slib en organisch vuil voordat ze in het ozonbad komen, wat gunstig is voor de effectiviteit van de behandeling.

Bij de ozonconcentraties die worden gehanteerd bij deze toepassing is er geen risico op extra corrosie aan de sorteerinrichting als gevolg van de blootstelling aan ozon.

¹ De heer Kerger is werkzaam bij ABT-Belgium, leverancier van o.a. producten op basis van H₂O₂.

² De heer De Haan is directielid van Agrozone, producent van ozonapparatuur, UV en/of elektrolyse.

Het lijkt vooralsnog niet mogelijk om de ozonbehandeling te combineren met een warmwaterbehandeling van de appels, omdat bij die temperaturen de halfwaardetijd van de ozon te kort is (De Haan, persoonlijke mededeling²).

Om het sorteerproces niet te vertragen moet de capaciteit van de ozoninstallatie zijn afgestemd op de sorteerinrichting. Voor ozonbehandeling aan een sorteerinrichting waarmee 15 ton/uur kan worden gesorteerd is een installatie nodig die ongeveer €50.000,- kost (De Haan, persoonlijke mededeling). Deze installatie produceert de ozon en doseert die in het water waarin de appels of peren liggen en in de 'waterval' waar de vruchten doorheen gaan. Omdat er bij de waterval ozon kan vrijkomen wordt hier lucht naar buiten afgezogen, om te voorkomen dat sorteersers aan ozon worden blootgesteld.

De jaarkosten als gevolg van deze investering (eveneens bij 6% rente en volledige afschrijving in 8 jaar) bedragen €7.750,-. De kosten voor energie en onderhoud zijn afhankelijk van de tijd dat de machine wordt gebruikt, maar aangezien de installatie hoofdzakelijk op intensief gebruikte sorteerinrichtingen zal worden toegepast moet rekening worden gehouden met €2.000,- voor energie en eveneens €2.000,- voor onderhoud.

Als de installatie gedurende 200 dagen 4 uur per dag wordt gebruikt zijn dat 800 draaiuren per jaar en wordt er ongeveer 12.000 ton gesorteerd. De totale jaarkosten van €11.750,- komen dan neer op € 0,98 per ton, dat is 0,1 ct/kg

5.3 UV-behandeling aan de sorteerlijn

De in paragraaf 5.2 genoemde installatie is inclusief UV-behandeling. Dit onderdeel is in relatief eenvoudig te realiseren. Voor behandeling met UV kunnen lagedruk- of hogedruklampen worden gebruikt. De UV-bron moet zodanig worden afgeschermd dat degenen die aan de sorteerlijn werken niet aan het UV-licht worden blootgesteld.

Hogedruklampen geven een veel intensievere UV-straling, maar zijn ook veel duurder dan lagedruklampen. Omdat de dosis een resultante is van intensiteit x blootstellingsduur zijn er meerdere manieren om de gewenste UV-dosis te realiseren. In de berekening is aangenomen dat een viertal lagedruklampen van 115 Watt voldoende is. Philips TUV 115W VHO lampen (een soort TL-buizen) kosten ongeveer €120,- per stuk (www.lampen.nl) en produceren 32 Watt UV-C per stuk (Philips Lighting, 1992). De intensiteit van de straling hangt af van verschillende factoren, zoals de afstand tot de lamp, de effectiviteit van de reflectoren en de mate waarin het licht wordt geconcentreerd.

Als voor de armaturen €100,- per stuk wordt gerekend zal de benodigde investering – inclusief constructie – ruim €1.000,- bedragen. De jaarkosten zijn dan ongeveer €120,-.

Onder de in paragraaf 5.2 gehanteerde aannamen is het elektriciteitsverbruik (800 uur à 460 Watt) 368 kWh, wat bij een prijs van 0,23 per kWh neerkomt op €85,-. De totale kosten van alleen de UV-behandeling bedragen dan €200,- per jaar, wat onder de in paragraaf 5.2 gehanteerde aannamen 1,7 ct per ton (0,002 ct/kg) is.

6 Conclusies en aanbevelingen

Zowel ozon als waterstofperoxide zijn voor mensen giftige stoffen. Behandelingen met deze stoffen moeten dan ook in afgesloten ruimten en met veel zorg toegepast worden om mensen te beschermen.

Aan ozon wordt in de AGF sector sinds een aantal jaren onderzoek verricht aan verschillende producten. De resultaten zijn wisselend, maar met de inzet van ozon tegen schimmels, bacteriën en insecten zijn goede resultaten haalbaar. Voor doding van genoemde organismen zijn verschillende doses ozon nodig. Voor het doden van mycelium van de meeste schimmels kan met concentraties van 0,2 tot 1,5 ppm ozon een goed resultaat behaald worden als de duur van de blootstelling lang genoeg is. Voor de bestrijding van schimmelsporen zijn hogere doses nodig dan voor mycelium. De dosering die gebruikt kan worden is sterk afhankelijk van de gevoeligheid van het te beschermen product voor ozonschade.

Om bacteriën te bestrijden werden concentraties van 700 tot 3600 ppm ozon gebruikt. De behandelduur met deze hoge doseringen was zeer kort (tot 38 seconden). Bij gebruik van geozoneerd water kon worden volstaan met 8 ppm ozon. Het effect van ozon is beter als het te bestrijden organisme op het product goed bereikt kan worden en zich dus op de buitenkant van het product bevindt.

Ozon toepassing vraagt vanwege de productafhankelijkheid en vanwege het verschil in gevoeligheid van schimmelstadia om specifieke toepassingsprotocollen.

Ook waterstofperoxide wordt gebruikt voor het ontsmetten van producten. Hierbij gaat het om schimmels en bacteriën, die schadelijk zijn voor mensen. Waterstofperoxide wordt veel gebruikt tegen bacteriën, die gevaarlijk zijn voor mensen en niet zo zeer het product zelf aantasten. Deze ontsmetting met waterstofperoxide gebeurt in dompelbaden of via dampwerking. Er wordt daarbij veel aandacht besteed aan het voldoende verwijderen van residu van waterstofperoxide op het product. De inzet van waterstofperoxide (1-10%) tegen bewaarschimmels op appels en peren vlak voor de bewaring is nog weinig onderzocht en heeft ook geen toelating. De inzet van waterstofperoxide tegen bewaarziekten zou de inzet van fungiciden voor de oogst kunnen verkleinen. Ook de toepassing van waterstofperoxide vraagt om maatprotocollen per fruitras.

Wat de arbeidsomstandigheden betreft is de Arbeidsomstandighedenwet niet meer zo duidelijk als voorheen. Tot 2007 gold dat de ozon concentratie maximaal $0,12 \text{ mg/m}^3$ (tijdgewogen gemiddelde over één uur) mocht en dat de concentratie van een oplossing van waterstofperoxide niet meer dan $1,4 \text{ mg/m}^3$ mocht bedragen. Sindsdien is de Arbwet echter aangescherpt en moeten werkgevers er voor zorgen dat hun medewerkers conform “de stand van de wetenschap en professionele dienstverlening” worden beschermd tegen blootstelling aan potentieel gevaarlijke of schadelijke stoffen.

Het verdient aanbeveling om bij de inzet van ozon en/of waterstofperoxide bij fruit tegen bewaarziekten eerst onderzoek te doen aan dosering en tijdsduur van behandeling bij het te beschermen product (appel, peer, pruim, bessen). Om schade door ozon te voorkomen biedt onderzoek aan lagere concentraties van ozon in combinatie met de inzet van negatieve luchtionen (NAI), met UV-licht of met lage concentraties van waterstofperoxide mogelijk een oplossing. Voor waterstofperoxide is een toelating nodig. Daarnaast is onderzoek nodig om vlak voor afzet te voldoen aan de residunormen voor waterstofperoxide. Ook het toevoegen van wax en uitvloeiers zou de werking van waterstofperoxide kunnen verbeteren.

Voor zowel de toepassing van ozon als waterstofperoxide op fruit is een toelating nodig als gewasbeschermingsmiddel. In het geval van waterstofperoxide is er bij de gewasbeschermingsmiddelen industrie interesse een toelating aan te vragen voor toepassing van waterstofperoxide indien een werking tegen vruchtrot wordt aangetoond. De concentratie, de behandelduur, de invloed op de vruchten, invloed op residu van gewasbeschermingsmiddelen en de toepasbaarheid zouden nader onderzocht dienen te worden. Ook een combinatie van lage concentraties van ozon met negatieve luchtionen (NAI) en UV-licht zijn mogelijk toepasbaar in de praktijk.

De kosten van een ozonbehandeling zijn afhankelijk van de toepassing. Bij toepassing in de cel kost ozonbehandeling (bij 10 cellen van elk 1.500 m³) ongeveer €2,50 per ton appels/peren, dat is 0,25 ct/kg. Bij toepassing aan de sorteerlijn kost de extra apparatuur voor ozon en UV aan een sorteerinrichting met een capaciteit van 15 ton/uur €50.000,-. Als er met deze installatie 12.000 ton/jaar wordt gesorteerd zijn de totale kosten 0,1 ct/kg. De kosten van alleen een UV-behandeling bedragen bij 12.000 ton/jaar 0,002 ct/kg.

7 Geraadpleegde literatuur

- Arbeidsinspectie, 2007. Arboregeling; versie geldig vanaf 1 januari 2007. Interne publicatie van de Arbeidsinspectie, Utrecht.
- Artés, F., P. Gómez, F. Artés-Hernández, E. Aguayo and V. Escalona, 2007. Improved strategies for keeping overall quality of fresh-cut produce. *Acta Horticulturae* 746:245-258.
- Assche, C. van, 2008. Ozon biedt deeloplossing voor residuvraagstuk. *De Fruitteelt* (98) 48: 8-9.
- Batzer, J.C., M.L. Gleason and B. Weldon, 2002. Evaluation of postharvest removal of Sooty Blotch and Flyspeck on apples using Sodium Hypochlorite, Hydrogen Peroxide with Peroxyacetic Acid, and soap. *Plant Disease* December 2002: 1325-1332.
- Brink, L. van den en H.P. Versluis, 2004. Perspectieven van ozonbehandelingen ter bestrijding van schadelijke organismen op plantaardig uitgangsmateriaal. *Praktijkonderzoek Plant en Omgeving*, rapport 510477.
- Bayoumi, Y.A., 2008. Improvement of postharvest keeping quality of white pepper fruits (*Capsicum annuum*, L.) by hydrogen peroxide treatment under storage conditions. *Acta Biologica Szegediensis* 52(1):7-15.
- Cao, J., W. Jiang and H. He, 2005. Induced resistance in Yali pear (*Pyrus bretschneideri* (Rehd.) fruit against infection by *Penicillium expansum* by postharvest infiltration of acibenzolar-S-methyl. *Phytopathology* 153: 640-646.
- Chiabrando, V., C. Peano, G. Beccaro and L. Rolle, 2006. Postharvest quality of highbush blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.) cultivars in relation to storage methods. *Acta Horticulturae* 715: 545-551.
- Crowe, K.M., A.A. Bushway, R.J. Bushway, K. Davis-Dentici and R.A. Hazen, 2007. A comparison of single oxidants versus advanced oxidation processes as chlorine-alternatives for wild blueberry processing (*Vaccinium angustifolium*). *International Journal of Food Microbiology* 116 (1): 25-31.
- Eris, A., R. Türk and C. Türkben, 1994. The effects of vapour phase hydrogen peroxide application on postharvest decay of grape cv. Muskule. *Acta Horticulturae* 368: 777-785.
- Forney, C.F., L. Fan, P.D. Hildebrand and J. Song, 2001. Do negative air ions reduce decay of fresh fruits and vegetables? *Acta Horticulturae* 553: 421-424.
- Fournay, C.F., R.E. Rijn, Dennis-Arree, R. and J. L. Smilanock, 1991. Vapor phase hydrogen peroxide inhibits postharvest decay of table grapes. *HortScience* 26(12) : 1512-1514.
- Habibi Najafi, M.B. and M.H. Haddad Khodaparast, 2009. Efficacy of ozone to reduce microbial populations in date fruits. *Food control* 20: 27-30.
- Huber, W., 1995. Ozon und Fruchtberostung. *Obstbau Weinbau* 7-8: 207-208.
- Klapes, A. and D. Vesley, 1990. Vapor-phase hydrogen peroxide as a surface decontaminant and sterilant. *Applied and environmental microbiology* (56) 2: 503-506.
- Koyuncu, M.A., A.C. Seydim, T. Dilmaçunal, H.E. Savran and T. Taş, 2008. Effect of different precooling treatments with ozonated water on the quality of '0900 Ziraat' sweet cherry fruit. *Acta Horticulturae* 795: 831-836.

Larrigaudiere, C., E. Pintó and I. Lenthéric, 2003. Oxidative behaviour of Conference pears stored in air and controlled atmosphere storage. *Acta Horticulturae* 600: 355-360

Lenntech, 2008. FAQ's Ozon. <http://www.lenntech.com/faqozon.htm>

Ministerie van SZW, 2007. Samen beter aan de slag; de nieuwe arbowet. Ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid, publicatie 417, Den Haag.

Oostveen, A., 2008. Ozon biedt fruitteelt diverse mogelijkheden. *De Fruitteelt* (98) 7: 12-13.

Philips Lighting 1992. Disinfection by UV radiation. Philips Lighting, Roosendaal.

Sapers, G.M. and J.E. Sites, 2003. Efficacy of 1% hydrogen peroxide wash in decontaminating apples and cantaloupe melons. *Journal of Food Science* (68)5:1793-1797.

Shitole, D.M., U.R. Patil and N.B. Pawar, 2000. In vitro evaluation of chemicals and antibiotics against important fruit rotting fungi of strawberry. *J.Maharashtra agric Univ.* 25(2):179-181.

Smilanick, J.L., D.A. Margosan and D.J. Henson, 1995. Evaluation of heated solutions of sulfur dioxide, ethenol and hydrogen peroxide to control postharvest green mold of lemons. *Plant Disease* (79) 7: 742-747.

Torres, R., M.C. Valentines, J. Usall, I. Viñas and C. Larrigaudiere, 2003. Possible involvement of hydrogen peroxide in the development of resistance mechanisms in 'Golden Delicious' apple fruit. *Postharvest Biology and Technology* 27: 235-242.

Tzortzakis, N., I. Singleton and J. Barnes, 2007. Deployment of low-level ozone-enrichment for the preservation of chilled fresh produce. *Postharvest Biology and Technology* 43 (2):262-270.

Venkitanarayanan, K.S., C.M. Lin, H. Bailey and M.P. Doyle, 2002. Inactivation of *Escherichia coli* O157:H7, *Salmonella* Enteritidis and *Listeria monocytogenes* on apples, oranges and tomatoes by lactic acid with hydrogen peroxide. *Journal of Food Protection* (65) 1 :100-105.

Venturini, M.E., D. Blanco and R. Oria, 2002. In vitro antifungal activity of several antimicrobial compounds against *Penicillium expansum*. *Journal of Food Protection* (65) 5: 834-839.

Wang, J. and R. T. Toledo, 1986. Inactivation of microorganisms on polyethylene posed to hydrogen peroxide vapors in air at various temperatures. *ASTM special technical publication* 912: 37-48.