

Otsoni, kasvit ja kasvintuhoojat

Risto Tahvonen

Kasvien pinnoilla olevat sienitiöt, niin taudinaiheuttajat kuin tauteja aiheuttamattomat homesienet, ovat hävitettävissä otsonisuihkutuksella, jos ne imevät itseensä vettä tai itiön pinta on altis hapettumiselle. Härmätautien kuromat ovat hyvin herkkiä otsonivedelle, mutta kasvien pinnalla loisena kasvava rihmasto kestää hyvin otsonia. Tästä syystä otsonilla voidaan vähentää vain härmätautien infektiota kasviin. Maan ja kasteluveden mukana leviävät sienet, esimerkkeinä *Pythium* spp. ja *Fusarium* spp., ovat herkkiä otsonivedelle kaikissa kehitysvaiheissa. Tuholaisista voidaan varmuudella hävittää vihannespunkki ja mahdollisesti ripsiäinen.

Edellisten laboratorio- ja kasvihuonetutkimusten perusteella on jo käytäntöön valmiita sovelluksia, kuten kasvihuoneissa viljelypöytien, kasvatusrännien, kastelujärjestelmien ja ylivuotovesien putkistojen puhdistus. Uusia käytännön sovelluksia tulevat olemaan härmän, harmaahomeen, kurkun mustapistemädän ja tomaatin varsilahon itiöiden hävitys viljelyn aikana kasvien pinnoilta. Vihannespunkin torjunta voidaan tehdä suihkuttamalla 3-5 päivän kuurina. Myöhemmin punkki pysyy hallinnassa automaattisesti, kun kas-

vustoille kehitetään pysyvät suihkutustekniikat esimerkiksi härmän torjuntaan. Kasvin maanpäälliset osat ovat otsonivedelle täysin kestäviä. Kasvin juurien juurikarvat ovat herkkiä otsonille vesiviljelyssä, mutta kasvualustan sisässä juuret ovat aina suojassa, koska turve ja kivivilla hajottavat otsonin välittömästi hapeksi. Tästä syystä kasteluputkien desinfiointi viljelyn aikana on täysin turvallista. Otsonivedestä ei vapaudu ilmaan otsonia, koska normaalipaineisessa vedessä ei ole enää kaasun mikrokuplia. Tästä syystä otsoniveden käyttö on täysin turvallista niin käyttäjille perusedesinfiointissa kuin elävien kasvien käsittelyissä. Hajoamistuotehan on aina eliöstölle tarpeellinen happimolekyylä.

Otsoni luonnossa ja otsonin perinteinen käyttö

Auringonvalon UV-säteily hajottaa ilman happimolekyylejä otsoniksi (O₃), jolloin otsonia voi olla aurinkoisena päivänä kasvillisuuskerroksessa jopa 80 ppb (ppb = miljardisosa), mutta suoran aurin gonpaisteen loppuessa pitoisuus laskee hyvin nopeasti nolnaan. Myös ukkosella muodostuu hetkellisesti salamoinnissa runsaasti ilmaan ja

sadeveteen liukenevaa otsonia, jolloin niin kasvit kuin muutkin elävät organismit ovat vuosimiljoonien aikana tottuneet myös otsoniveteen.

O₃ on eräs voimakkaimmista hapettajista, jota käytetään kaasumuodossa suljettujen tilojen puhdistukseen ja veteen liuotettuna mm. erittäin tehokkaana ja turvallisenä desinfiointiaineena varsinkin vesien puhdistuksessa. Noin 100 vuoden käyttöhistorian aikana raakavesien desinfioinnissa ja monissa muissa kohteissa on aukottomasti todettu O₃ erääksi tehokkaimmaksi aineeksi viruksia ja bakteereja vastaan. O₃ onkin ideaalinen desinfiointiaine, koska se hapettaa alttiita organismeja jopa sekunnin murto-osassa ja ylijäämä otsonin hajoamistuote on täysin turvallinen happikaasu.

Luke Piikkiössä on tutkittu 6 vuoden aikana otsonikaasun ja otsoniveden soveltumista kasvihuoneviljelyssä sienitautien desinfiointiin yhdessä Happico Oy:n (www.happico.fi) kanssa. Jäljempänä kuvattavien perusilmioiden perusteella on kehitetty otsonivettä tuottavasta otsonaattorista laitekokonaisuus, joka soveltuu suoraan käytettäväksi nykyaikaisessa kasvihuoneviljelyssä haitallisten kasvintuhoojien eliminointiin, mutta on myös sovellettavissa rajoitetusti avomaakasvien viljelyynkin. Samalla ovat kehittyneet käyttötekniikat: kuinka tyhjät tilat, viljelyalustat, kasvit ja kastelujärjestelmät desinfioidaan jopa viljelyn aikana.

Otsonin vaikutus kasviin

Kaasuna otsoni kulkeutuu kasvin lehden sisäosiin ilmarakojen kautta. Jo 100 ppb:n pitoisuus ilmassa aiheuttaa jatkuvana altistuksena kloroosia lehtiin. Erityisen herkkiä kasveja ovat salaattit ja kurkku. Kestävimpiä ovat mansikka ja monet hitaasti kasvavat koristekasvit kuten begonia. Kasvin uloin pinta on hyvin suojautunut otsonin hapettavalta vaikutukselta. Hyvänä esimerkkinä tästä on keräkaalin kerä, jossa lehtien alapinnat ovat tiiviisti alla olevaa lehteä vasten. Kerän lehti ei merkittävästi vioittunut edes tuntienkaan käsittelyissä korkeimmissa mitatuissa ilman pitoisuuksissa.

O₃ voidaan liuottaa veteen otsonin valmistuksen yhteydessä. Korkeimmat pitoisuudet voivat teknisesti olla 10-30 kertaa korkeampia kuin luonnon pitoisuudet. Kun kurkun ja salaatin lehtiä suihkutettiin päivittäin kasvintuhoojiin tehoavilla pitoisuuksilla, ei kasveihin tullut lainkaan vaituksia. Lehden pinnalla olevien pintasolujen päällä on auringon uv-valolta suojaava kutikula-kerros ja otsonialtistus on kerrallaan vain muutaman minuutin. Ilman otsonipitoisuus ei nouse ruiskutuksen aikana kasvihuoneessa, sillä O₃ ei siirry vedestä takaisin ilmaan, vaan hajoaa kokonaisuudessaan vedessä hapeksi. Paineisessa vedessä on aina otsonia mikrokuplina hiilidioksidin tapaan, jolloin O₃ purkautuu ilmaan normaalissa ilmanpaineessa hajoatakseen hapeksi vahingoittamatta kasveja tai käyttäjiä.

Terveiden kasvien päivittäinen lehtien suihkutuspöly otsonivedellä lisäsi kurkun kasvua parhaimmassa käsittelyssä 6,5 % (Taulukko 1). Tämä yllättävä tulos on selitettävissä lehtien pinnalta tuhoutuneilla mikropatogeeneilla. Mikropatogeenit ovat lehtien pinnoilla viihtyviä mikrobeja, jotka eivät aiheuta vioitusoireita kasveissa, mutta kasvit muodostavat kuitenkin niitä vastaan torjuntareaktioita, jolloin kasvu hidastuu.

Otsonivesi hapettaa välittömästi kasvualustassa orgaanista ainesta ja mineraaleja. Esimerkiksi noin 2 cm:n turvekerroksen läpi vuodatetussa otsonivedessä oli jäljellä otsonia alkuperäisestä pitoisuudesta noin 0,3 %. Tästä syystä esimerkiksi kasteluputkien desinfiointi on täysin turvallista viljelykaudenkin aikana. Ainoa herkkä kasvin osa on juurien kärjessä olevat juurikarvat. Ruukkusalaatin kasvatuksessa kerran viikossa tehty väkevä otsonivesilisäys vesirännin alkupäähän alensi 4 ensimmäisen kasvin kasvua noin 5 %. Otsoni oli jo 1,5 metrin matkalla pudonnut kymmenesosaan ja täysin hävinnyt 3 metrissä.

Otsonin vaihtelevat ominaisuudet sienitauteihin

Täysin uusi tutkimuksellinen ja yllättävä tulos saatiin kasvin maanpäällisten osien sienitaudeista. Harmaahome ja *Alternaria*-sienet täytyy käsitellä sellaisessa fysiologisessa tilassa, jolloin ne ottavat ympäristöstään vettä aloittaessaan itämisen. Täydessä nestejännityksessä ne ovat täysin kestäviä kaasumaiselle otsonille ja otsonivedelle. Härmäsienen kasvin pinnalla kasva-va sienirihma ottaa kasvista imujuurillaan isäntäkasvin pintasolukosta tarvitsemansa veden ja ravinteet. Tästä syystä sienirihma ei ota koskaan sisälleen ulkoista vettä. Sienirihma on aina evoluution aikana altistunut uv-valon ja salamoinnin tuottamalle otsonikaasulle ja otsonivedelle. Näistä syistä härmäsienen vaalea rihmasto on kehittynyt otsonia kestäväksi. Onneksi sienien itiöt ovat erittäin herkkiä otsonivedelle. Kolmas merkittävä, mutta osin odotettu tulos oli maassa kasvavien sienien herkkyys otsonoidulle vedelle kaikissa kehitysvaiheissa. Tämä tulos oli poikkeuksellisen tärkeä *Pythium*-sienien kaltaisten taudinaiheuttajien hapettamiselle.

Taulukko 1. Kasvihuonekurkun taimien kasvu, kun kasveja on ruiskutettu otsonivedellä kolmen viikon ajan. Koejäsenessä 16 kasvia.

Otsoniliuos	Paino g/kasvi	Korkeus cm	Lehtiä kpl
Liuos 1	164,9	72,6	9,1
Liuos 2	161,6	67,9	8,6
Kontrolli	154,0	69,3	8,7

Härmäsienet

Kaasumaisessa muodossa O₃ tehoa infektoivaan kuromaan vain tyydyttävästi jatkuvana O₃-altistuksena, mutta otsonivesi antaa siihen hyvän torjuntatuloksen (Taulukko 2). Koska O₃ ei tuhoa kasvin pinnalla olevaa rihmastoja, otsonilla ei ole puhdistavaa vaikutusta jo lehdellä kasvavaan tautiin. Päivittäiselle kasvien suihkutukselle voidaan käytäntöön rakentaa tekniset sovellukset kasvihuoneisiin ja jopa avomaallekin härmätautien infektiota vähentämiseen. Tämän perusratkaisun avulla tulee eliminoidua myös monia muitakin kasvintuhoojia. Tästä erinomaaisena esimerkkinä on minorpatogeenit ja vihannespunkki, joka on torjuttavissa myös otsonilla.

Lehtihomeet

Lehtihomeiden infektio onnistuu vain, jos kasvin pinnalla on vesipisaroita, joissa kuromista vapautuu vedessä uivia parveilijoita, jotka

tunkeutuvat kasvin luonnollisista aukoista kuten lehtien kärjissä olevista guttaatiopisteistä ja ilmaraoista kasvin sisälle. Infektio on lyhimillään 1 tunti ja normaalisti 2–3 tuntia. Otsoniveden käyttö härmän torjunnan yhteydessä tehoa varmasti lehtihomeisiin, sillä kuromista vapautuneet parveilijat tuhoutuvat joutuessa otsonipisaraan kuten *Pythium*-sienen parveilijat kasteluveden otsonoinnissa.

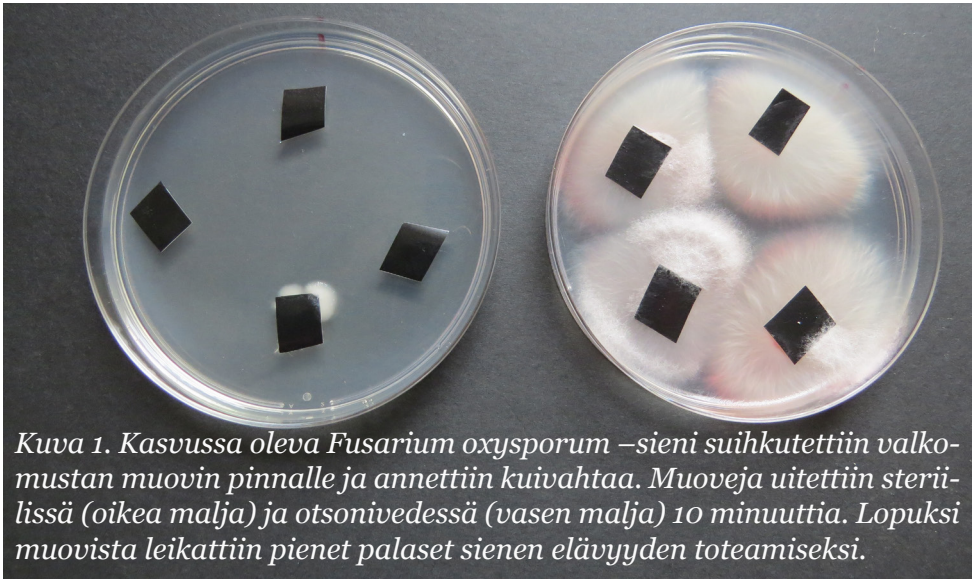
Maalevintäiset sienet

Pythium-sienten kaltaiset taudinaiheuttajat ovat kaikki maalevintäisiä taimipolteen ja juurimädän aiheuttajia, jotka leviävät kasvualustan ja ennen kaikkea veden mukana parveilijoina terveiden kasvien juuriin. Tästä syystä kastelu- ja kierrätysveden sekä viljelyrakenteiden pitämisen puhtaana tästä taudista on tärkein torjuntamenetelmä.

Pythium-sieni on erittäin herkkä otsonivedelle sekä rihmastona että parveilijoina. Jo sairastu-

Taulukko 2. Härmäsienen desinfiointi avomaakurkulla kasvihuoneessa. Otsoniruiskutukset kolme viikkoa arkipäivisin. Koealueen ympärillä sairaat kasvit. Härmäisyyden havainnot asteikolla 0-5 varren 4 alimmasta lehdestä. Toistoja 4. Arvossa 5 on yli 75 % härmän peittämää lehteä ja 0 on terve.

Kasvien O ₃ käsittely	Lehtien 1–4 härmäisyys
Kontrolli	2,8
Otsoniruiskutus 3 kertaa/viikko	2,7
Päivittäinen otsoniruiskutus 1 kpl	2,0
Päivittäinen otsoniruiskutus 2 kpl	1,7



Kuva 1. Kasvussa oleva *Fusarium oxysporum* –sieni suihkutettiin valko-mustan muovin pinnalle ja annettiin kuivahtaa. Muoveja uitettiin sterii-lissä (oikea malja) ja otsonivedessä (vasen malja) 10 minuuttia. Lopuksi muovista leikattiin pienet palaset sienen elävyyden toteamiseksi.

neisiin kasveihin O₃ ei tehoa, koska sieni on suojassa kasvin solukossa. Edellisestä johtuen *Pythium*-tau-din torjunta ja rajoittaminen pe-rustuu puhtaisiin kasvualustoihin, mahdollisimman puhtaaseen bio-suodatettuun kasteluveteen sekä kasteluputkien ja kastelurännien desinfiointiin.

Otsonoidulla vedellä tehtä-vät puhdistukset ovat nyt ensimmäi-sen kerran mahdollisia tehdä turval-lisesti myös viljelyn aikana. Kuivien, painepesurilla pudistettujen kovien pintojen käsittelyyn riittää kaste-lu väkevällä otsonivedellä. Samoin kastelujärjestelmien ja ylikasteluve-sien keräysputkien viljelyn aikainen puhdistus on mahdollista siten, että putkien huuhtelussa loppupäästä tulevassa vedessä on riittävästi ot-sonia. Tyhjien tilojen puhdistus on ideaalinen ratkaisu, koska muihin

desinfiointiaineisiin verrattuna mi-tään toksisia jäämiä ei voi syntyä ja viljelytilat voidaan ottaa käyttöön välittömästi desinfiointin jälkeen.

Kasvualustan mukana leviää lukuisia maalevintäisiä sienitauteja, jotka vioittavat kasvien juuria, tyviä ja varsien johtojän-teitä. Tunnetuin ja merkittävin sienilaji on *Fusarium oxysporum* (Kuva 1), josta on eri kasveille spesialisoituneita muoto-lajeja. Ne aiheuttavat lakastumis- ja tyvitauteja, jolloin kasvien tyvet ja varsien sisällä olevat johtojän-teet tuhoutuvat. Kasvualustoista ja vanhoista juurien kappaleista jää kasvihuoneeseen tartuntakykyistä rihmastoja ja itiöitä. Kasvihuoneet tyhjennetään kasvukauden päät-teeksi ja siivotaan kasvi- ja kas-vualustajätteistä, minkä jälkeen kas-vihuoneen ja viljelyalustojen pinnat kastellaan otsonivedellä.

Kasvituholaiset

Kasvituholaisen desinfiointia otsonilla on kokeellisesti testattu vain vihannespunkilla, joka osoittautui erittäin herkäksi otsonivedelle (Kuva 2). Jo 1970-luvulla MMT **Unto Tullisalo** totesi laboratoriossa ja Jyväskylässä tehdyissä kasvihuonekokeissa, että toistuva suihkutussvesi kulkeutuu punkin sisälle ihon läpi osmoottisen eron ansiosta. Tämän

tiedon perusteella oli helppo arvata, kuinka otsonivesi vaikutti vihannespunkkiin. Härmäsienien otsonisovellusta on jo luonnollisesti käytetty muitten tutkimusten yhteydessä Luken Piikkiön koepaikalla, jolloin on jo saatu viitteitä myös eräiden hyönteistuholaisten otsoniherkkyydestä, esimerkkinä ripsiäinen. Näiltä osin on käynnistymässä lisätutkimuksia vuonna 2021.



Kuva 2. Pensaspavun lehtien desinfiointi otsonivedellä kahden ja puolen viikon ajan hävitti vihannespunkin täysin. Punkkien siirto kasveille tehtiin 4 vuorokautta ennen desinfiointia, jolloin kaikissa koekasveissa oli tasaisesti punkkeja ilman merkittäviä lehtivioituksia. Vasemmalla käsittelemätön kasvi, keskellä otsonikäsitteily 1 ja oikealla otsonikäsitteily 2.

Otsonin käyttösovellukset desinfioidussa ja kasvinsuojelussa

Kun otsoniveden perustiedot kasvintuhoojien desinfioidussa ovat selvitet, käytännön sovellukset ovat helposti mallitettavissa eri kasveille ja viljelymenetelmiin. Käsittelemallien testaus on myös välttämätöntä ennen laajamittaista käytäntöä. Valmiita sovelluksia ovat nyt viljelytilojen, viljelyalustojen, kastelujärjestelmien ja ylikasteluviesien keräysputkien puhdistukset. Todennäköisiä sovelluksia ovat esimerkiksi kasvien maanpäällisiin

osiin iskeytyvät kasvintuhoojat automaattisilla suihkutuksilla tai pienillä pinta-aloilla käsisuihkutuksilla. Yksittäisistä kasveista suurin tarve kasvihuoneissa on ruukkusalaatin kierrätysveden puhdistukselle *Pythium*-sienen parveilutiioistä ja avomaalla mansikan maanpäällisten kasvinosien desinfiointi. Jo nyt tiedetään, että oikea-aikaisilla käsittelyillä voidaan torjua tai rajoittaa mansikkahärmää, vihannespunkkia ja harmaahometta sekä minorpatogeneja, joiden merkitys sadon kauppakelpoisuudelle voi olla yllättävänkin suuri.