Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 111/2023

Porkkanakempin ja porkkanan varastotautien hallinta uusilla biologisilla menetelmillä

Terhi Suojala-Ahlfors (toim.)

Luke
LUONNONVARAKESKUS

Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 111/2023

Porkkanakempin ja porkkanan varastotautien hallinta uusilla biologisilla menetelmillä

Terhi Suojala-Ahlfors (toim.)

Anne Nissinen, Taina Pennanen, Sannakajsa Velmala, Satu Latvala, Petteri Karisto, Pirjo Kivijärvi, Minna Haapalainen, Minna Pirhonen, Emma Kaakko, Inka Särkelä, Lauri Jauhiainen, Sylwia Adamczyk ja Oona Jääskeläinen

Luonnonvarakeskus 2023

Viittausohje:

Suojala-Ahlfors, T. (toim.) 2023. Porkkanakempin ja porkkanan varastotautien hallinta uusilla biologisilla menetelmillä. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 111/2023. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 45 s.

Viittausohje yksittäiseen artikkeliin, jos kyseessä on toimitettu raportti:
Nissinen, A., Pennanen, T. & Suojala-Ahlfors, T. 2023. Johtopäätökset: biologisten torjuntamenetelmien hyödyntämismahdollisuudet tulevaisuudessa. Julkaisussa: Suojala-Ahlfors, T. (toim.). Porkkanakempin ja porkkanan varastotautien hallinta uusilla biologisilla menetelmillä. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 111/2023. Luonnonvarakeskus. Helsinki. s. 40–41

Terhi Suojala-Ahlfors ORCID ID, https://orcid.org/0000-0001-7543-870X

ISBN 978-952-380-830-0 (Painettu)
ISBN 978-952-380-831-7 (Verkkojulkaisu)
ISSN 2342-7647 (Painettu)
ISSN 2342-7639 (Verkkojulkaisu)
URN http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-831-7
Copyright: Luonnonvarakeskus (Luke)
Kirjoittajat: Terhi Suojala-Ahlfors (toim.), Anne Nissinen, Taina Pennanen, Sannakajsa Velmala, Satu Latvala, Petteri Karisto, Pirjo Kivijärvi, Minna Haapalainen, Minna Pirhonen, Emma Kaakko, Inka Särkelä, Lauri Jauhiainen, Sylwia Adamczyk ja Oona Jääskeläinen
Julkaisija ja kustantaja: Luonnonvarakeskus (Luke), Helsinki 2023
Julkaisuvuosi: 2023
Kannen kuva: Pirjo Kivijärvi

Tiivistelmä

Terhi Suojala-Ahlfors

Luonnonvarakeskus, Toivonlinnantie 518, 21500 Piikkiö

Kasvintuhoojat aiheuttavat suuria määrällisiä ja laadullisia tappioita porkkanan tuotannossa. Porkkanakemppi (*Trioza apicalis*) voi aiheuttaa kasvukaudella jopa 100 %:n satotappion kemiallisesta torjunnasta huolimatta, jos kempin pitkä lentoaika yhdistyy ääreviin sääoloihin. Varastoinnin aikana taudit pilaavat usein 15–25 % porkkanasadosta. Tuotannon menestyksekäs jatkaminen edellyttää uusien kasvinsuojelumenetelmien kehittämistä. Tämän hankkeen päämääränä oli tuottaa uusia biologisia ratkaisuja taloudellisesti merkittävimpien kasvintuhoojien torjuntaan Suomessa. Tarkennetut tavoitteet olivat: 1. tutkia petohyönteisten ja entomopatogeenisen sienen toimivuutta kemppipopulaatioiden hallinnassa sekä kasviperäisten yhdisteiden, kuten terpeenien, toimivuutta karkotteina, 2. tutkia varastotauteja aiheuttavien sienitautien ja maan mikrobiyhteisöjen välisiä yhteyksiä porkkanapelloilla ja 3. kehittää uusia ratkaisuja porkkanan varastolaadun parantamiseen muokkaamalla maan mikrobiomia viljelytoimien avulla.

Kemppien hallintakeinoja tutkittiin peltokokeessa ja lavakauluskokeissa. Tutkitut biologiset torjuntaeliöt, tyrninokkalude (*Anthocoris nemoralis*), pihaharsokorennon (*Chrysoperla carnea*) toukat ja entomopatogeeninen sieni (*Metarhizium brunneum*), eivät olleet tehokkaita porkkanakemppien akuutissa torjunnassa, sillä aikuisten porkkanakemppien imentävioitus tapahtuu nopeasti ja johtaa muutamassa päivässä porkkanan juuren painon alenemiseen. Biologisella torjunnalla voisi olla merkitystä kemppikantojen kasvun ehkäisyssä tilanteessa hyönteisverkkojen ulkopuolelle jäävissä kasvustoissa.

Maaperän mikrobien ja varastotautien välisiä yhteyksiä tutkittiin porkkanapelloilta kerätyllä aineistolla. Varastotautien aiheuttajia pilaantumisoireissa tunnistettiin lajispesifisten PCR-menetelmien avulla. Monista näytteistä löytyi 2–4 testattua taudinaiheuttajaa, ja samoja taudinaiheuttajia löytyi erilaisista oiretyypeistä. Maaperän mikrobiyhteisöjen tutkimus antoi viitteitä siitä, että mikrobiyhteisöjen, erityisesti sienten, monimuotoisuudella on yhteys sadon terveyteen. Monimuotoisuuden ohella merkitystä on hyödyllisten mikrobien läsnäololla ja taudinaiheuttajien vähäisellä määrällä. Käytännön sovellusten kannalta on tarpeen paneutua keinoihin, joilla voidaan suosia hyödyllisiksi tunnistettujen mikrobien elinolosuhteita viljelymaassa.

Mikrobivalmisteiden tehokkuutta porkkanan tautien hallinnassa tutkittiin tilakokeissa sekä sadonkorjuun jälkeisissä käsittelykokeissa. Tulosten mukaan joissain tilanteissa voidaan käsittelyillä vähentää varastotautien aiheuttamia tappioita: siemenpeittaus *Streptomyces*-sädebakteeria sisältävällä Mycostop-valmisteella vähensi varastotappioita tilakokeessa toisena koevuonna. Sadonkorjuun jälkeinen käsittely *Clonostachys rosea* J1446 -sientä sisältävällä valmisteella vähensi tauteja joissain erissä etenkin lyhytaikaisessa varastoinnissa, mutta varastointiajan pidentyessä käsittelyiden vaikutus jäi vähäiseksi.

Asiasanat: biologinen torjunta, kasvitaudit, mikrobit, porkkana, tuhohyönteiset, varastotaudit, vihannesviljely

Sisällys

1. Johdanto ... 5

2. Porkkanakemppien hallinta biologisilla menetelmillä ... 7

2.1. Tausta ... 7

2.2. Toteutus ... 8

2.2.1. Petohyönteiset ... 8

2.2.2. *Metarhizium brunneum,* entomopatogeeninen sieni ... 9

2.2.3. Terpeenit ... 10

2.3. Tulokset ... 10

2.3.1. Petohyönteiset ... 10

2.3.2. *Metarhizium brunneum* ... 12

2.3.3. Terpeenit ... 13

2.4. Tulosten tarkastelu ... 13

4.5. Johtopäätökset ... 15

3. Porkkanan varastotautien hallinta mikrobien avulla ... 16

3.1. Taustaa ... 16

3.1.1. Taudinaiheuttajat ja niiden testausmenetelmät ... 16

3.1.2. Mikrobien hyödyntäminen tautien hallinnassa ... 17

3.2. Mikrobitutkimuksen tavoitteet Bioporkkana-hankkeessa ... 18

3.3. Peltomaan mikrobien yhteys varastotautien esiintymisen porkkanasadossa ... 18

3.3.1. Toteutus ... 18

3.3.2. Tulokset ... 21

3.3.3. Tulosten tarkastelu ... 30

3.4. Kasvukauden aikaiset mikrobikäsittelyt ... 31

3.4.1. Toteutus ... 31

3.4.2. Tulokset ... 33

3.4.3. Tulosten tarkastelu ... 34

3.5. Sadonkorjuun jälkeisten mikrobikäsittelyjen vaikutus varastotauteihin ... 34

3.5.1. Toteutus ... 34

3.5.2. Tulokset ... 36

3.5.3. Tulosten tarkastelu ... 38

3.6. Puuperäiset yhdisteet porkkanan tautimikrobien torjunnassa ... 39

4. Johtopäätökset: biologisten torjunta- menetelmien hyödyntämismahdollisuudet tulevaisuudessa ... 40

Viitteet ... 42

1. Johdanto

Terhi Suojala-Ahlfors[1], Anne Nissinen[2], Taina Pennanen[3], Sannakajsa Velmala[3], Satu Latvala[4], Petteri Karisto[4], Pirjo Kivijärvi[5], Minna Haapalainen[6] ja Minna Pirhonen[6]

[1] Luonnonvarakeskus, Toivonlinnantie 518, 21500 Piikkiö
[2] Luonnonvarakeskus, Juntintie 154, 77600 Suonenjoki
[3] Luonnonvarakeskus, Latokartanonkaari 9, 00790 Helsinki
[4] Luonnonvarakeskus, Tietotie 4, 31600 Jokioinen
[5] Luonnonvarakeskus, Lönnrotinkatu 7, 50100 Mikkeli
[6] Helsingin yliopisto, Latokartanonkaari 7, 00014 Helsingin yliopisto

Porkkana on Suomen tärkein avomaanvihannes. Vuonna 2022 sen viljelyala oli 1 584 ha ja tuotantomäärä 76 miljoonaa kiloa, mikä on 40 % avomaanvihannesten kokonaistuotannosta (SVT: Luonnonvarakeskus, Puutarhatilastot). Porkkanaa viljellään lähes koko maassa, mutta viljelyalasta 78 % sijoittuu Varsinais-Suomeen, Satakuntaan ja Hämeeseen. Porkkanan viljelyllä on tietyillä alueilla pitkät perinteet, ja myös kasvinsuojelun haasteet ovat näillä alueilla kiperimmät viljelyn keskittymisen takia.

Porkkanan ja myös muiden vihannesten tuotannossa kasvintuhoojat ovat suuri haaste, ja tuotannon menestyksekäs jatkaminen edellyttää uusien kasvinsuojelumenetelmien kehittämistä. Markkinoilla olevien torjunta-aineiden valikoima vähenee jatkuvasti, ja useille yksipuolisesti käytetyille valmisteille on jo ilmennyt resistenssiä. Tavoitteena on myös vähentää kasvinsuojeluaineiden käyttöä maataloudessa EU:n Pellolta pöytään -strategian mukaisesti. Kasvinsuojeluun kaivataankin kipeästi uusia menetelmiä.

Suomalaisten tutkimustulosten mukaan porkkanakemppi (*Trioza apicalis*) voi aiheuttaa kasvukaudella jopa 100 %:n satotappion huolimatta kemiallisesta torjunnasta, jos kempin pitkä lentoaika yhdistyy ääreviin sääoloihin (Nissinen ym. 2020). Useita pyretroidivalmisteita on poistunut markkinoilta, mikä aiheuttaa vakavaa huolta viljelijöiden keskuudessa ja pohdintaa jopa porkkanan viljelyn loppumisesta Suomessa. On huomattava, että Keski- ja Etelä Euroopassa esiintyvät *Bactericera*-sukuiset kempit eivät aiheuta suoraa vioitusta kasville kuten porkkanakemppi, joten niiden torjuntamenetelmät eivät ole sovellettavissa Pohjois-Euroopassa tai Keski-Euroopan vuoristoisilla alueilla, joissa *Trioza apicalis* -laji esiintyy tuholaisena (Suomi, Ruotsi, Norja, Tsekki, Itävalta, Saksa ja Sveitsi).

Tuholaisongelmien lisäksi varastotaudit aiheuttavat merkittäviä tappioita. Usein 15–25 % sadosta, mutta joskus jopa yli 50 % sadosta pilaantuu. Varastotauteja aiheuttava tuhoojalajisto on osin muuttunut viime vuosina (Hannukkala ym. 2020), ja myös epätyypillisiä oireita, kuten koloja ja kuoppia, esiintyy aiempaa enemmän.

Kasvintuhoojariskien hallintaan tarvitaan uusia biologisia ratkaisuja. Havupuiden haihtuvien yhdisteiden on todettu vähentävän kemppivioituksia porkkanalla (Nehlin ym. 1994). Petohyönteisistä porkkanakempin luontaisina vihollisina on tehty alustavia tutkimuksia 1970-luvulla (Laská 1974), mutta niiden kykyä saalistaa munia tai toukkia ei ole määritetty toistetuissa koejärjestelyissä.

Maan biologisen aktiivisuuden merkitystä tautien hallinnassa on korostettu, mutta maan mikrobiyhteisöjen ja varastotautien välisiä yhteyksiä ei ole tähän mennessä meillä tutkittu. Erityisesti Hollannissa on tehty tutkimuksia tauteja hillitsevistä maista (disease-suppressive-soils).

Tutkimuksissa on etsitty selittäjiä sille, miksi taudinaiheuttajat eivät tietyissä maatalousmaissa pääse valtaamaan tilaa ja vahingoittamaan satoa. Aluksi oletettiin, että tauteja hillitsevissä maissa yksittäiset hyötymikrobilajit ovat suojavaikutuksen takana. Science-lehdessä julkaistujen tulosten mukaan (Raaijmakers & Mazzola 2016) tautipaine pysyy kuitenkin parhaiten alhaisena, mikäli suojaavia mikrobiryhmiä on useita eli maaperän mikrobien monimuotoisuus on korkea. Tämän arvellaan johtuvan siitä, että mikrobien väliset todelliset vuorovaikutukset ovat erittäin monimutkaisia ja yksittäisen mikrobilajin tuoma suoja murtuu helposti esimerkiksi olosuhteiden muuttuessa. Peltomaan monimuotoisuuden hyödyntämisen on havaittu olevan yksi tehokkaimmista keinoista vähentää taudinaiheuttajien haittavaikutuksia esimerkiksi vehnäsadolle (Ridout & Newcombe 2016). Tautien hallintamekanismien parempi tuntemus on välttämätöntä uusien viljelymenetelmien kehittämiseksi ja tautien biologisen torjunnan edistämiseksi.

Tämän hankkeen päämääränä oli varmentaa porkkanan viljelyn jatkuminen Suomessa tuottamalla uusia biologisia ratkaisuja taloudellisesti merkittävimpien kasvintuhoojien torjuntaan. Tarkennetut tavoitteet olivat:

- hakea biologisia ratkaisuja porkkanakempin torjuntaan tutkimalla i) kasviperäisten yhdisteiden, kuten terpeenien, toimivuutta karkotteina ja ii) petohyönteisten/-punkkien toimivuutta kemppipopulaatioiden hallinnassa
- tutkia varastotauteja aiheuttavien sienitautien ja maan mikrobiyhteisöjen välisiä yhteyksiä porkkanapelloilla
- kehittää uusia ratkaisuja porkkanan varastolaadun parantamiseen muokkaamalla porkkanan elinympäristön mikrobiomia.

Hanke toteutettiin vuosina 2020–2023 Maatilatalouden kehittämisrahaston (Makera) rahoituksella Luonnonvarakeskuksen ja Helsingin yliopiston yhteistyönä. Varastotauteja koskevaan tutkimukseen rahoitusta saatiin Maiju ja Yrjö Rikalan Puutarhasäätiöltä. Rahoitukseen osallistui myös Verdera/Lallemand Plant Care. Verdera ja Biotus Oy osallistuivat lisäksi hankkeen toteutukseen omalla työpanoksellaan.

2. Porkkanakemppien hallinta biologisilla menetelmillä

Anne Nissinen[1], Emma Kaakko[2], Inka Särkelä[2], Lauri Jauhiainen[3], Petteri Karisto[3] ja Sylwia Adamczyk[4]

[1] Luonnonvarakeskus, Juntintie 154, 77600 Suonenjoki
[2] Helsingin yliopisto, Latokartanonkaari 7, 00014 Helsingin yliopisto
[3] Luonnonvarakeskus, Tietotie 4, 31600 Jokioinen
[4] Luonnonvarakeskus, Latokartanonkaari 9, 00790 Helsinki

2.1. Tausta

Porkkanakemppi on Suomessa pahin porkkanan tuholainen. Sen torjunta kemiallisin keinoin on hankalaa, koska se vioittaa kasveja nopeasti ja lentoaika on usein pitkä, useita viikkoja. Suomalaisten tutkimustulosten mukaan porkkanakemppi (*Trioza apicalis*) voi aiheuttaa kasvukaudella jopa 100 %:n satotappion huolimatta kemiallisesta torjunnasta, jos kempin pitkä lentoaika yhdistyy ääreviin sääoloihin (Nissinen ym. 2020). Lisäksi EU on asettanut tiukkoja tavoitteita kemiallisten torjunta-aineiden käytön rajoittamiseksi, joten uusia ympäristöystävällisiä torjuntakeinoja tarvitaan. Useita pyretroidivalmisteita on jo poistunut markkinoilta, mikä aiheuttaa vakavaa huolta viljelijöiden keskuudessa ja pohdintaa jopa porkkanan viljelyn loppumisesta Suomessa. Vuoden 2018 vakavien kemppituhojen jälkeen verkkojen käyttöön porkkanakemppien torjunnassa on siirrytty erityisesti Länsi-Suomen keskeisillä viljelyalueilla. Verkot ovat vakiolevyisiä eivätkä kata lohkojen koko viljelyalaa. Petohyönteisten tutkimuksessa oli ajatuksena, että niitä voitaisiin levittää verkkojen ulkopuolelle jääviin pellon reunoihin estämään uuden kemppisukupolven kehittyminen siellä.

Tyrninokkaluteen (*Anthocoris nemoralis*) on havaittu saalistavan 12 eri kemppilajia, kuten *Trioza urticae*, *Psyllopsis fraxini*, *Psyllopsis fraxinicola* ja *Cacopsylla pyri* (Jerinic-Prodanovic ym. 2013). Pihaharsokorento (*Chrysoperla carnea*) on petohyönteinen, joka saalistaa esimerkiksi kirvoja, ripsiäisiä, punkkeja ja kemppejä.

Petohyönteisten lisäksi hyönteisiä tappavat entomopatogeeniset sienet voisivat tulla kysymykseen biologisina torjuntakeinoina. Lajit, jotka pystyvät kasvamaan endofyytteinä kasvisolukon sisällä, ovat herättäneet suurta mielenkiintoa sekä tuhohyönteisten että kasvitautien torjunnassa. *Metarhizium brunneum* -lajia on tutkittu lukuisien niveljalkaisten kuten kaskaiden, kovakuoriaisten ja puutiaisten torjunnassa (Biryol ym. 2021, Sullivan ym. 2022, Reinbacher ym. 2021). *M. brunneum* -lajin yhdestä kannasta on olemassa myös kaupallinen valmiste, joka on rekisteröity nimellä Met52®EC. Tätä valmistetta voidaan käyttää perinteisesti ruiskuttamalla sillä kohde-eliöitä, mutta me olemme alustavasti tutkineet tämän sienikannan vaikutusta kasvin kautta endofyyttinä. Endofyyttinä kasvaessaan sieni ei tuota itiöitä, eikä se näin ollen leviä hyönteiseen suoraan, vaan vaikutus tapahtuu kasvin metabolian kautta. Tätä vaikutusmekanismia kuitenkaan ei vielä tarkkaan tunneta. Lisäksi sieneltä tunnetaan kasvua edistäviä vaikutuksia useilla kasvilajeilla (esimerkiksi Krell ym. 2018). *Metarhizium*-sienen hyödyntämistä tutkiva koejärjestelmä pystytettiin ensimmäisen vuoden mikrobitulosten pohjalta, joissa osoitettiin *Metarhizium*-suvun sienten olevan yleisempiä pelloilla, joiden porkkanasato säilyi hyvin varastointikokeissa (Kuva 18).

Havupuiden sahanpurua on tutkittu Ruotsissa porkkanakempin torjunnassa ja havupuiden haihtuvien yhdisteiden on todettu vähentävän kemppivioituksia porkkanalla (Nehlin ym. 1994). Haihtuvista aineista limoneenin karkottavuudesta on ristiriitaisia tietoja (Nehlin ym. 1994, Nissinen 2008). Tässä tutkimuksessa tutkittiin korkeampia terpeeneitä, jotka eivät ole yhtä haihtuvia kuin mono- ja seskviterpeenit.

2.2. Toteutus

2.2.1. Petohyönteiset

Esikoe petoniveljalkaisten kyvystä saalistaa porkkanakemppejä tehtiin Biotus Oy:ssä. Koe toteutettiin siten, että pedoilla ei ollut vaihtoehtoista saalista. Tulosten perusteella tyrninokkalude ja pihaharsokorennon toukat olivat tehokkaimpia saalistamaan porkkanakempin munia, joten ne valittiin peltokokeisiin. Vuoden 2021 kokeessa tutkittiin neljän eri petohyönteiskäsittelyn vaikutuksia porkkanakemppipopulaatiota hillitsevänä menetelmänä pellolla, jossa luontaisesti esiintyy porkkanakemppiä. Tutkimuksen käsittelyssä A käytettiin tyrninokkaluteita, käsittelyssä C pihaharsokorennon toukkia, käsittelyssä AC sekä tyrninokkaludetta että pihaharsokorennon toukkia samassa käsittelyssä ja käsittelyssä ACD tyrninokkaludetta ja pihaharsokorennon toukkia siten, että pihaharsokorennot levitettiin viikon myöhemmin kuin tyrninokkaluteet. Yhdistetyissä käsittelyissä petojen levitysmäärät puolitettiin suhteessa levitysmääriin käsittelyissä, joissa käytettiin vain yhtä petoa. Kontrollikäsittelyssä K ei levitetty petohyönteisiä.

Koeala oli porkkanapellon reunassa, koska aiemmissa tutkimuksissa on havaittu, että porkkanakempin vioitus keskittyy peltojen reuna-alueille. Koealan reunaan kylvettiin 29.5.2021 metrin leveä hamppukaista (*Cannabis sativa*, lajike öljyhamppu Finola) erottamaan koeala ja varsinainen viljelysala toisistaan. Nopeakasvuisen hampun oli tarkoitus toimia mekaanisena esteenä kemppien siirtymiselle pellon reunasta keskemmälle peltoa, mutta myöhäisen kylvöajankohdan ja aikaisen kemppien lentohuipun takia tätä vaikutusta ei voitu todentaa. Pellon puolella noin kasvinsuojeluruiskun leveydeltä porkkana viljeltiin integroidun kasvinsuojelun periaatteilla, käyttäen kemiallisia torjunta-aineita liima-ansoista todetun torjuntakynnyksen ylittyessä. Muilta osin pellolla käytettiin verkkoa kempin torjunnassa.

Koeala jaettiin neljään kerranneeseen, jotka käsittivät neljä 20 metriä pitkää koeruutua. Kussakin ruudussa oli kuusi porkkanariviä 62 cm:n rivivälillä. Peltokokeessa käytetyt petohyönteisten levitysmäärät perustuivat Biotus Oy:n antamiin ohjearvoihin. A-käsittelyyn levitettiin noin 250 tyrninokkaludetta (levitystiheys 3 kpl/m^2) 16.6.2021. C-käsittelyyn levitettiin yhteen-sä 4 000 pihaharsokorennon toukkaa (levitystiheys 50 kpl/m^2) kahdessa erässä siten, että ensimmäinen levitys, 2 000 kpl (levitystiheys 25 kpl/m2), tehtiin 16.6.2021 ja toinen levitys, 2 000 kpl (levitystiheys 25 kpl/m^2), viikon päästä 23.6.2021. Käsittelyissä AC ja ACD tutkittiin petohyönteisten mahdollista yhteisvaikutusta puolikkailla levitysmäärillä. Käsittelyyn AC levitettiin 125 tyrninokkaludetta (levitystiheys 1,5 kpl/m^2) ja 2 000 pihaharsokorennon toukkaa (levitystiheys 25 kpl/m^2) samalla kerralla 16.6., ja käsittelyyn ACD levitettiin 125 tyrninokkaludetta (levitystiheys 1,5 kpl/m^2) sekä 2 000 pihaharsokorennon toukkaa (25 kpl/m^2) ajallisesti hajautettuna siten, että 16.6. levitettiin tyrninokkaluteet ja 23.6. pihaharsokorennon toukat.

Näytteet kerättiin 5.7.2021, jolloin petohyönteisten ensimmäisestä levityksestä oli kulunut 2,5 viikkoa ja porkkanat olivat keskimäärin 3-kasvulehtiasteella. Näytteiden otto toteutettiin systemaattisesti V-mallisesti ottamalla kolme näytettä jokaisesta ruudusta, jotta näyte edustaisi

mahdollisimman kattavasti koko koeruudun tilannetta. Näytteet otettiin 5 metrin välein, jättämällä kuitenkin pois 5 metriä koeruudun molemmista päistä. Yksi näyte sisälsi kymmenen kasvia, jolloin joka ruudulta saatiin yhteensä 30 kasvia. Koko käsittelyn (4 kerrannetta) tulokset perustuivat 120 kasvista tehtyihin havaintoihin. Tarkempia tietoja koejärjestelyistä ja tuloksista on saatavissa Emma Kaakon pro gradu -työstä (Kaakko 2022).

Vuoden 2022 kokeessa oli tarkoitus selvittää, miten petojen levityksen ajankohta suhteessa porkkanakempin muninnan alkuun vaikuttaa petojen saalistustehokkuuteen. Ensimmäisessä kokeessa pedot levitettiin ennen porkkanakempin munintaa. Seuraavassa kokeessa pedot levitettiin viisi päivää kemppien vapauttamisen jälkeen ja kolmannessa kokeessa pedot ja porkkanakempit levitettiin lavakauluksiin yhtä aikaa.

Kokeet tehtiin 60x80 cm:n kokoisissa lavakauluksissa, joihin laitettiin kasvualustaksi Kekkilän kylvöseosta (pH 6,0, N 70 mg/l, P 21 mg/l, K 140 mg/l). Porkkanat, lajike Yellow Stone, kylvettiin kolmeen riviin. Siemenet punnittiin kuhunkin lavakaulukseen ja riviin erikseen, tavoitteena noin 40 siementä 60 senttimetrille eli noin 70 tainta rivimetrille. Kylvössä pyrittiin mahdollisimman tasaiseen tiheyteen, koska edellisen vuoden lavakauluskokeessa oli viitteitä siitä, että tiheällä kylvöllä voisi olla negatiivinen vaikutus petojen saalistukseen. Taimettuminen oli kuitenkin epätasaista varsinkin kokeessa 3, jossa kaikkia viittä kasvinäytettä ei pystytty ottamaan kaikista lavakauluksista heikon taimettumisen takia.

Porkkanakempit saatiin Luke Jokioisilla ylläpidettävästä kasvatuksesta. Niitä vapautettiin kuhunkin lavakaulukseen 30 kappaletta (15 naarasta ja koirasta) porkkanoiden ollessa sunnilleen 1-lehtiasteella. Tyrninokkaluteet ja pihaharsokorennon saatiin kaupallisilta toimittajilta Biotus Oy:n kautta. Tyrninokkaluteita vapautettiin kaksi kappaletta lavakaulusta kohti ja pihaharsokorennon toukkia 12 kappaletta. Levitysmäärät neliömetriä kohti olivat kaupallisten suositusten mukaisia ja samoja, joita käytetiin vuonna 2021 pellolla. Kokeissa käytettiin 3 x 3 latinalaisen neliön koeasetelmaa. Kustakin lavakauluksesta otettiin viisi kasvinäytettä x-kirjaimen muodossa. Kuhunkin näytteeseen otettiin kuusi kasvia. Porkkanakempin munat laskettiin siis 30 kasvista lavakaulusta kohden. Lavakauluksessa tähdättiin kylvövaiheessa noin 120 kasviin, joista noin 25 %:n otos tutkittiin.

2.2.2. *Metarhizium brunneum,* entomopatogeeninen sieni

Porkkanat kasvatettiin kasvihuoneella kolmen litran ruusuruukuissa ja kasteltiin tihkukastelulaitteistolla (Nissinen ym. 2007). Porkkanat inokuloitiin *Metarhizium brunneum* -itiösuspensiolla yksilehtivaiheessa. Viikko inokuloinnin jälkeen porkkanat altistettiin porkkanakemppien syönnille ja muninnalle. Kemppialtistuksessa vapautettiin yksi muniva kemppinaaras yhtä kaksilehtiasteella olevaa porkkanaa kohti. Kempit poistettiin kasveilta kolmen vuorokauden kuluttua vapauksesta. *M. brunneum* -käsitellyistä porkkanoista laskettiin kempin munien ja nuoruusasteiden määrä kahden viikon kuluttua. Näistä porkkanoista mitattiin myös juuren ja naatin paino, kasvulehtien lukumäärä ja vioitukset. Osa inokuloiduista ja inokuloimattomista porkkananoista jätettiin kasvamaan ja niistä mitattiin juuren ja naatin paino sekä kasvulehtien lukumäärä yhdeksän viikon kuluttua kylvöstä, jotta saatiin selville *M. brunneum*-sienen vaikutus porkkanan kasvuun.

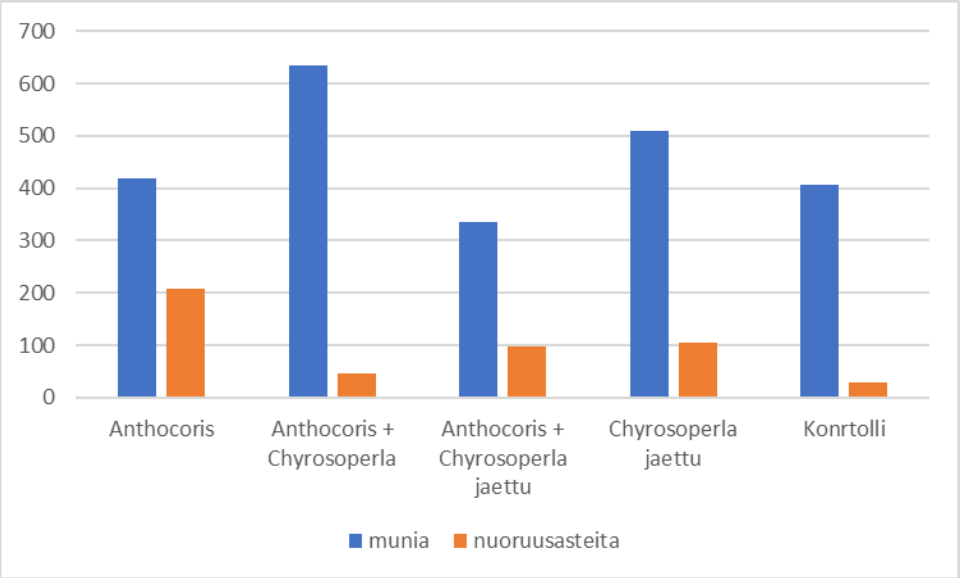
2.2.3. Terpeenit

Kokeeseen valittiin kolme korkeampaa terpeeniä. Näistä abietiinihappo on diterpenoidi, jonka on havaittu vähentävän sienten ja bakteerien kasvua, betasitosteroli on kasvisteroli, jota käytetään myös elintarvikkeiden lisäaineena, ja kolofoni on luonnon hartsi, jota käytetään pintakäsittelyaineena. Korkeammilla terpeeneillä on heikko liukenevuus veteen, joten ne jouduttiin liuottamaan 70 %:een etanoliin. Vaikutusta kempin munintaan tutkittiin vapauttamalla kempit ennen terpeenikäsittelyä tai terpeenikäsittelyn jälkeen. Ennen käsittelyä kemppien vapautuksella oli se ajatus, että esim. kolofoni, joka on pintakäsittelyaine, voisi vioittaa munia ja estää niiden kuoriutumisen. Käsittelyn jälkeen vapautuksessa oli taas se ajatus, että pintakäsittelyaine porkkanan lehden pinnalla voisi estää kempin munien kiinnittymisen.

2.3. Tulokset

2.3.1. Petohyönteiset

Vuoden 2021 peltokokeessa vain käsittelyssä, jossa levitettiin molempia petoja puolella käsittelymäärällä viikon välein, porkkanakempin munien määrä oli merkitsevästi pienempi kuin kontrollissa, johon petoja ei ollut levitetty (Kuva 1). Sen sijaan toukkien lukumäärässä ei havaittu tilastollisesti merkitsevää eroa eri käsittelyiden välillä, eivätkä tulokset eronneet tilastollisesti merkitsevästi verrattaessa näytteitä kontrolliin.



Kuva 1. Porkkanakempin munien ja nuoruusasteiden lukumäärä keskimäärin eri käsittelyissä peltokokeessa 2021.

Vuoden 2022 rajoitetuissa alustoissa (lavakaulus) tehdyissä kokeissa (Kuvat 2 ja 3) pihaharsokorennon toukat vähensivät porkkanakempin munia kaikissa kolmessa kokeessa, mutta vaste tyrninokkaluteeseen oli vaihteleva. Kahdessa kokeessa munia oli jopa enemmän kuin kontrollissa, johon petoja ei ollut levitetty ollenkaan. Vaikutti siltä, että käsittelyjen ja kokeiden välillä olisi yhdysvaikutusta, mutta tilastollisissa analyyseissä sitä ei havaittu. Myöskään käsittelyiden ja kokeen päävaikutukset munien määrään eivät olleet tilastollisesti merkitseviä. Sen sijaan porkkanan koon (kasvulehtien määrä) vaikutus oli merkitsevä, siten että munien määrä kasvoi porkkanan kasvulehtien määrän lisääntyessä.

Tämän jälkeen testattiin, oliko käsittelyiden vaikutus erilainen eri kokeissa. Tulokset osoittivat, että tyrninokkaludekäsittelyllä kokeiden välille tuli merkitsevä ero. Tyrninokkaluteen vaikutus oli kokeessa 2 erilainen kuin muissa kokeissa. Se lisäsi kempin munien määrää.

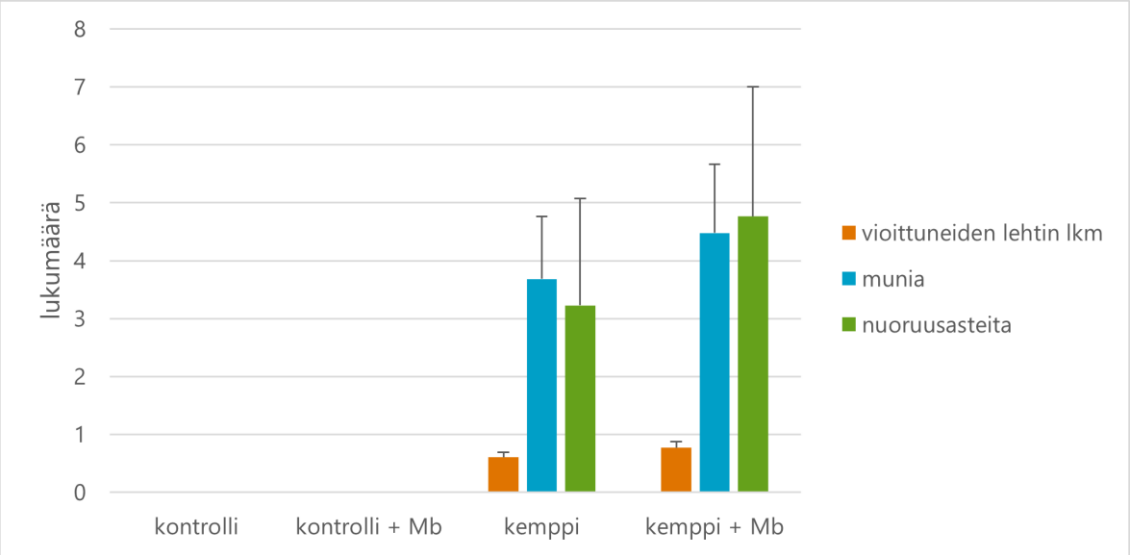
Porkkanantaimien tiheydellä oli erilainen vaikutus eri koejäseniin, eli tiheyden ja käsittelyn yhdysvaikutus oli tilastollisesti merkitsevä. Tiheyden päävaikutus ei ollut merkitsevä, eikä se ollut siksi mukana ensimmäisessä mallissa. Kontrolli- tai pihaharsokorentokäsittelyssä porkkanan taimitiheys ei vaikuttanut kempin munien määrään. Sen sijaan tyrninokkaluteita käytettäessä porkkanoiden tiheyden vaikutus oli merkitsevä. Kokeessa 2 porkkanoiden tiheys oli suurin, keskimäärin 71 kpl/m, kun taas kokeissa 1 ja 3 porkkanoiden tiheys oli keskimäärin 61 ja 62 kpl/m.

Kuva 2. Vuoden 2022 kaksi ensimmäistä lavakauluskoetta kylvettynä kentälle. Kuva: Anne Nissinen.

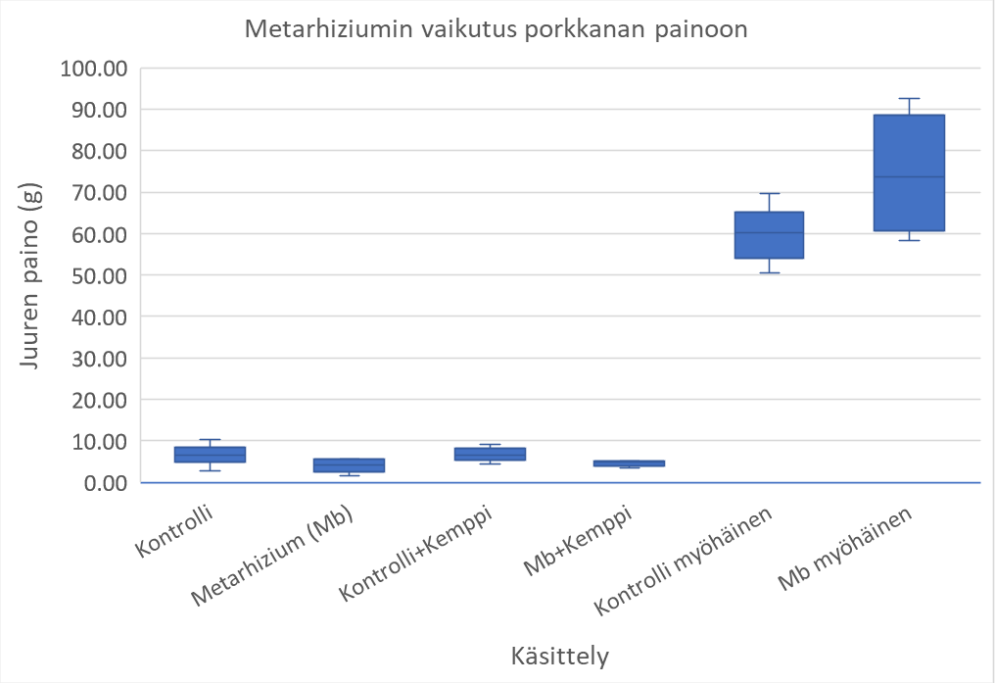
Kuva 3. Vuoden 2022 ensimmäisen lavakauluskokeen kontrolliporkkanoita (vain porkkanakemppejä vapautettu lavakaulukseen) näytteenottovaiheessa. Kuva: Anne Nissinen.

2.3.2. *Metarhizium brunneum*

M. brunneum-käsitellyissä porkkanoissa keskimääräinen kempin munien ja nuoruusasteiden määrä ei eronnut tilastollisesti käsittelemättömistä porkkanoista (Kuva 4). Juuren paino oli *M. brunneum*-käsitellyissä porkkanoissa merkitsevästi suurempi noin 1,5 kk käsittelyn jälkeen (Kuva 5). Alussa juuren paino oli *M. brunneum*-käsitellyissä porkkanoissa merkitsevästi pienempi, mikä ilmaisee, että sienen endofyyttinen kasvu aiheuttaa porkkanalle metabolisia kustannuksia.



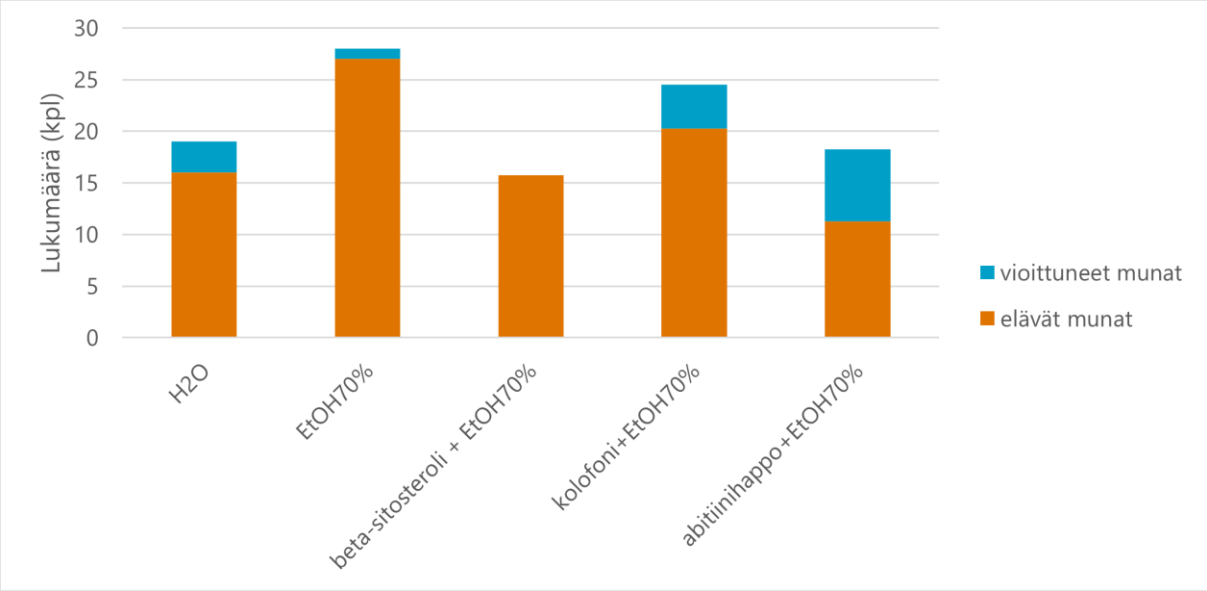
Kuva 4. *M. brunneum*-sienen inokuloinnin vaikutus porkkanakempin vioitukseen, munintaan ja nuoruusasteiden kehitykseen porkkanalla ei eronnut merkitsevästi vesikäsittelyn vaikutuksesta. Pylväissä oleva jana esittää keskiarvon keskivirheen.



Kuva 5. Kasvun alkuvaiheessa (käsittelyt 1–4) *Metarhizium*-käsitellyt porkkanat olivat hieman pienempiä kuin tartuttamattomat (mahdollinen metabolinen kustannus), mutta juuren täyttä kokoa lähestyttäessä tilanne kääntyy selvästi käsiteltyjen eduksi (käsittelyt 5 ja 6). Laatikko-jana-kuvio esittää mittauksissa havaitun vaihtelun ja laatikon keskellä oleva viiva juuren painon mediaanin kussakin käsittelyssä.

2.3.3. Terpeenit

Terpeenikäsittelyt, jotka tehtiin ennen kempin munintaa, eivät estäneet kempin munintaa toivotusti. Kahden kokeen tulokset olivat kuitenkin ristiriitaiset. Ensimmäisessä kokeessa kontrollikäsittelyyn tuli varsin vähäinen munamäärä, joten näytti, että terpeenikäsittelyt olivat pikemminkin houkuttelevia. Kun terpeenikäsittely tehtiin munituksen jälkeen, abietiinihapolla näytti olevan jonkin verran kemppien munia tuhoavaa vaikutusta (Kuva 6). Koska abietiinihappo jouduttiin liuottamaan 70 %:een etanoliin, sitä ei pidetty käytännön mittakaavassa toimivana vaihtoehtona ja jatkotutkimuksista luovuttiin.



Kuva 6**.** Porkkanakempin munien vioittuminen terpeenikäsittelyissä, kun kemppien munitus oli tehty ennen käsittelyä.

2.4. Tulosten tarkastelu

Vuoden 2021 peltokokeessa tyrninokkaluteen ja pihaharsokorennon yhdistelmä oli tehokkain vähentämään porkkanakempin munia. Tuolloin porkkanan taimettuminen jäi heikoksi ja kasvusto oli poikkeuksellisen harva koealueella, mikä on saattanut vaikuttaa tyrninokkaluteen saalistustehokkuuteen. Aikuiset tyrninokkaluteet levitettiin ensin, joten ne ovat lentävinä saalistajina saattaneet liikkua harvassa kasvustossa nopeammin kuin pihaharsokorennon toukat ja saalistaneet muninnan alussa tehokkaammin. Lentokyvyttömät pihaharsokorennon toukat taas pysyvät kasveilla pitempään, ja niistä on voinut olla enemmän hyötyä saalistajina munintahuipun jatkuessa heinäkuun puolelle, kun porkkanat ovat kasvaneet isommiksi.

Vuoden 2021 kokeen vähäiseen porkkanakempin munien ja nuoruusasteiden määrään kontrollikäsittelyssä on saattanut vaikuttaa se, että pellon reunassa sijainneiden petokäsittelyjen ja varsinaisen porkkanapellon väliin oli kylvetty öljyhamppukaista. Öljyhamppukaista suojasi koealuetta tehokkaasti pyretroidiruiskutuksilta ja luontaisesti esiintyvät petohyönteiset, kuten leppäpirkot, säilyivät koealueella elossa, kun taas hamppukaistan pellon puolella ne olivat ruiskutuksen jälkeen kuolleita (Kuva 7).

Kuva 7. Öljyhamppukaistalla viihtyivät luontaisesti esiintyvät petohyönteiset.
Kuva: Anne Nissinen.

Vuoden 2022 kokeessa oli tarkoitus selvittää, miten petojen levityksen ajankohta suhteessa porkkanakempin muninnan alkuun vaikuttaa petojen saalistustehokkuuteen. Tyrninokkaluteen osalta tulokset olivat vaihtelevia. Ensimmäisessä kokeessa, jossa pedot levitettiin ennen porkkanakempin munintaa, molemmat petolajit vähensivät kempin munien määrää kasveilla. Seuraavassa kokeessa, jossa pedot levitettiin viisi päivää kemppien vapauttamisen jälkeen, tyrninokkaluteiden vaikutus lisäsi kempin munien määrää merkitsevästi. Kolmannessa kokeessa, jossa pedot ja porkkanakempit levitettiin lavakauluksiin yhtä aikaa, pihaharsokorennon vaikutus oli munintaa vähentävä, mutta tyrninokkaluteen lievästi, mutta ei merkitsevästi munintaa lisäävä.

Toisessa kokeessa saattaa olla kyseessä pelkästään satunnaisvaihtelu: näihin lavakauluksiin osui kemppejä, joiden jälkeläistuotto on ollut erityisen korkea. Porkkanantaimien tiheydellä oli merkitsevä yhdysvaikutus tyrninokkaluteen saalistuksen kanssa. Ensimmäisen peltokokeen perusteella vaikutti, että tyrninokkalude on tehokkaampi saalistaja nimenomaan harvoissa kasvustoissa. Vuonna 2022 tyrninokkaluteen saalistusteho oli heikoin kokeessa 2, jossa taimitiheys oli suurin. Lavakauluskokeessa, joka oli peitetty harsolla, suuri taimitiheys yhdistettyä kasvuston päällä olevaan harsoon, on saattanut häiritä lentäen liikkuvan tyrninokkaluteen saalistusta. Sekä vuoden 2021 peltokokeen että vuoden 2022 lavakauluskokeen perusteella vaikuttaa, että suuri porkkanan taimitiheys heikentää tyrninokkaluteen kykyä saalistaa kasvustossa, kun taas pihaharsokorennon toukkien saalistukseen tai porkkanakempin munintaan taimitiheys ei vaikuta. Pihaharsokorennon toukat siirtyvät kävellen kasvilta toiselle, ja niiden kannalta on edullista, jos porkkanantaimien lehdet koskettavat toisiaan. Sama pätee myös munimassa oleviin porkkanakemppeihin. Ne eivät juurikaan liiku lentäen vaan siirtyvät vähitellen eteenpäin pitkin porkkanan lehden reunoja ja munien samalla. Myös niiden kannalta suuri taimitiheys, jossa porkkanantaimien lehdet menevät limittäin, helpottaa siirtymistä kasvilta toiselle.

Porkkanan lehtien vioitusprosentti tarkastetuissa taimissa oli suurin kokeessa 2 tyrninokkaludekäsittelyssä, mutta kuitenkaan elossa löydettyjen aikuisten kemppien määrä ei ollut suurin tässä kokeessa eikä tässä käsittelyssä, joten aikuisten kemppien määrä ei tue tyrninokkaluteen saalistuksen epäonnistumista. Suurin lehtien vioitusprosentti kertoo siitä, että porkkanakempit oli vapautettu ennen petoja, joten ne olivat ehtineet aiheuttaa vioitusta. Munat saattoivat

olla kihartuneiden lehtien alla parhaiten tyrninokkaluteen saalistukselta suojassa. Siltikään poikkeava, merkitsevästi suurempi porkkanakempin munien määrä tyrninokkaludekäsittelyssä ei selity täysin porkkanoiden suuremmalla tiheydellä ja suuremmalla lehtien kihartumisprosentilla, jotka ovat mahdollisesti heikentäneet tyrninokkaluteen saalistustehoa. Kirjallisuudessa tunnetaan joitakin tapauksia, joissa petohyönteisen läsnäolo on lisännyt saaliseliön ravinnonottoa (Bucher ym. 2014, Rendon ym. 2016) tai muuttanut saaliseliön ravinnon laatua (Hawlena & Schmitz 2010), mitkä seikat saattaisivat johtaa suurempaan jälkeläistuottoon porkkanakempin tapauksessa. Jos porkkanakempit esimerkiksi siirtyvät saalistajan läsnäollessa syömään lähemmäksi porkkanan kasvupistettä, ne saattavat saada ravinnostaan enemmän aminohappoja, mikä voisi johtaa suurempaan munien määrään. Tyrninokkaluteen erittämillä hajuilla, esim. feromoneilla, voisi periaatteessa olla vaikutusta porkkanakempin käyttäytymiseen, mikä vaatisi lisätutkimusta.

Kokeiden perusteella voidaan sanoa, että pihaharsokorennon toukat vähensivät porkkanakempin munia porkkanakasvustoissa taimitiheydestä riippumatta. Pihaharsokorennon toukkien levitysmäärät ovat kuitenkin niin suuria, että suurelle porkkanapinta-alalle niiden levittäminen on liian kallista. Harsokorentoja on torjuntaeliöinä saatavana kaupallisesti myös munina, jotka ovat edullisempia. Niiden käyttö vaatisi kuitenkin tarkempaa tutkimusta.

M. brunneum -käsittely ei vaikuttanut porkkanakempin munien eikä nuoruusasteiden määrään, mikä antaa viitteitä siitä, että *M. brunneum* endofyyttinä kasvaessaan porkkanan soluväleissä ei vaikuttaisi kemppien ravinnonottoon. Kempin vioitusta oli saman verran *M. brunneum* -käsittelyissä porkkanoissa kuin kontrollissa, mikä vahvistaa käsitystä, että *M. brunneum* ei estä aikuisten kemppien syöntiä. Kempit ottavat ravintonsa suoraan kasvin nilasta, joten ne pystyvät väistämään monet kasvin lehdissä esiintyvät puolustusaineet samaan tapaan kuin jauhiaiset tai kirvat.

Porkkanoiden kastelu tässä kokeessa oli niukkaa, joten *Metarhizium*-sienellä endofyyttinä kasvaessaan saattaa olla positiivisia vaikutuksia myös porkkanan kuivuusstressiin, mikä vaatisi lisätutkimusta. Kuivuusstressi näyttää pahentavan porkkanakemppivioitusta (Nissinen ym. 2020). Ilmastonmuutoksen myötä kokonaissadanta lisääntyy mutta kesän kuivuusjaksot pahenevat (Lehtonen ym. 2014). Kuivuusjaksojen vaikutus on erityisen suuri alkukesällä, mikä on porkkanan kehityksen kannalta kriittistä aikaa sekä rikkakasvikilpailun että porkkanakempin vioituksen suhteen. Se, onko *Metarhizium*-tartutuksen aiheuttama metabolinen kustannus liian suuri alkukesästä yhdistettynä muihin stressitekijöihin (rikkakasvikilpailu, porkkanakempit) tuottaakseen satohyötyä syksyllä, olisi selvitettävä kenttäkokeessa.

Terpeenikäsittelyillä ei ollut toivottua kempin munintaa estävää vaikutusta. Abietiinihapolla näytti olevan jonkin verran kemppien munia tuhoavaa vaikutusta, mutta koska se jouduttiin liuottamaan 70 %:een etanoliin, sitä ei pidetty käytännön mittakaavassa toimivana vaihtoehtona, eikä kokeita jatkettu pidemmälle.

4.5. Johtopäätökset

Biologiset torjuntaeliöt – petohyönteiset tai entomopatogeeninen sieni – eivät estä aikuisten porkkanakemppien syöntiä. Aikuisten porkkanakemppien imentävioitus tapahtuu nopeasti ja johtaa muutamassa päivässä porkkanan juuren painon alenemiseen. Biologiset torjuntakeinot eivät siten ole tehokkaita akuuttiin torjuntaan. Niiden merkitys voisi olla porkkanakempin kantojen kasvun ehkäisyssä tilanteessa, jossa suurin osa porkkanoista on verkon alla ja vain näillä lohkojen reuna-alueilla voisi kehittyä uusi talvehtiva sukupolvi. Biologiset torjuntaeliöt ovat vielä peltomittakaavassa levitettäviksi kalliita suhteessa sadon arvoon.

3. Porkkanan varastotautien hallinta mikrobien avulla

Sannakajsa Velmala[1], Taina Pennanen[1], Terhi Suojala-Ahlfors[2], Satu Latvala[3], Petteri Karisto[3], Pirjo Kivijärvi[4], Minna Haapalainen[5], Minna Pirhonen[5], Sylwia Adamczyk[1] ja Oona Jääskeläinen[6]

[1] Luonnonvarakeskus, Latokartanonkaari 9, 00790 Helsinki
[2] Luonnonvarakeskus, Toivonlinnantie 518, 21500 Piikkiö
[3] Luonnonvarakeskus, Tietotie 4, 31600 Jokioinen
[4] Luonnonvarakeskus, Lönnrotinkatu 7, 50100 Mikkeli
[5] Helsingin yliopisto, Latokartanonkaari 7, 00014 Helsingin yliopisto
[6] Verdera/Lallemand Plant Care, Kurjenkellontie 5 B, 02270 Helsinki

3.1. Taustaa

Varastotautien aiheuttamalla hävikillä on suuri taloudellinen merkitys porkkanan tuotannossa. Aiemmassa tutkimuksessa (Hannukkala ym. 2020, Latvala ym. julkaisematon), jossa tutkittiin porkkanan varastotauteja porkkanatiloilta kerätyllä aineistoilla kolmena kasvukautena, todettiin tautien pilaaman osuuden olleen keskimäärin 20 % maaliskuulle asti kestävässä varastoinnissa. Tautien runsaus vaihteli kuitenkin huomattavasti peltolohkojen välillä: vähimmillään tauteja esiintyi varastointikauden lopulla alle 5 %:ssa porkkanoita, mutta pahimmin saastuneissa erissä tautioireita oli yli 50 %:ssa porkkanoita. Samansuuntaisia tuloksia varastohävikin suuruudesta 5–6 kuukauden varastoinnin jälkeen on saatu myös muissa aiemmissa suomalaisissa tutkimuksissa (Suojala 1999, Vanhala ym. 2008, Suojala-Ahlfors & Laamanen 2014).

Intensiivinen viljelykierto, jossa porkkanaa viljellään usein samoilla lohkoilla, ja varhainen sadonkorjuuaika lisäävät varastotappioiden esiintymistä (Suojala 1999, Hannukkala ym. 2020, Latvala ym. julkaisematon). Myös maaperätekijöiden, kuten maalaji, happamuus ja ravinnetila, merkitystä varastolaadun kannalta on pyritty selvittämään (Vanhala ym. 2009, Suojala-Ahlfors & Laamanen 2014, Hannukkala ym. 2020), mutta selvää yhteyttä mitattujen maaperätekijöiden ja säilyvyyden välillä ei ole löydetty.

3.1.1. Taudinaiheuttajat ja niiden testausmenetelmät

Porkkanan varastotautien aiheuttajia on tutkittu laajemmin ensi kerran 1950-luvulla, jolloin tärkeimmiksi taudinaiheuttajiksi todettiin harmaahome (*Botrytis cinerea*) ja pahkahome (*Sclerotinia sclerotiorum*) (Mukula 1957). Porkkananmustamätä (*Mycocentrospora acerina*) alkoi yleistyä 1980-luvulla (Tahvonen 1989), ja satunnaisesti esiintyi myös *Fusarium*-, *Stemphylium*- ja *Phoma*-lajeja (Tahvonen 1985). 2000-luvulla mustamätää on pidetty tärkeimpänä varastotautien aiheuttajana pitkäaikaisessa varastoinnissa Suomessa, ja myös harmaa- ja pahkahome voivat yhä aiheuttaa merkittäviä tappioita parantuneista varasto-oloista huolimatta (Parikka 2008).

Muualla Pohjois-Euroopassa myös *Alternaria radicina*-, *Rhizoctonia carotae*- ja *Rhexocercosporium carotae* -sienet ovat aiheuttaneet varastotuhoja (Årsvoll 1969, Hermansen ym. 2012, Kastelein ym. 2007). Näitä sieniä ei ole tähän mennessä kuitenkaan tavattu Suomessa (Hannukkala ym. 2020).

Taudinaiheuttajien tunnistus on aiemmin perustunut taudinaiheuttajasienten viljelyyn kasvatusalustoilla. Resurssitehokas vihannestuotanto -hankkeessa tätä perinteistä maljausmenetelmää verrattiin molekyylibiologiseen menetelmään, jossa monistetaan tunnistesekvenssiä, josta taudinaiheuttaja voidaan luotettavasti havaita (polymerase chain reaction eli PCR-menetelmä). Tulokset osoittivat, että etenkin *Mycocentrospora*- ja *Fusarium*-lajit saatiin PCR-menetelmällä varmemmin esiin kuin maljausmenetelmällä (Hannukkala ym. 2020, Latvala ym. julkaisematon). Molempien menetelmien käyttöön liittyy vahvuuksia ja heikkouksia, joista pitää olla tietoinen menetelmää valitessa. Maljausmenetelmän etuna on se, että ravintoalustalla kasvavan sienen tiedetään olevan elinkelpoinen ja tartutuskykyinen, ja sieni voidaan tunnistaa morfologisten ominaisuuksiensa perusteella. Menetelmän heikkoutena on kuitenkin se, että usein ravintoalustalla kasvavat parhaiten nopeakasvuiset ja aggressiiviset sienilajit, jotka voivat tukahduttaa näytteessä olevat hitaammin kasvavat lajit ja tulos voi näin ollen olla puolueellinen. PCR-menetelmän etuna on se, että näytteestä voidaan tunnistaa samanaikaisesti useita sienilajeja, jos tunnistettavista sienilajeista vain on sekvenssitietoa saatavilla. Menetelmä on hyvin herkkä ja pienetkin sienipitoisuudet näytteessä voidaan havaita. Menetelmän heikkoutena on se, ettei tunnistetusta DNA:sta tiedetä, oliko se peräisin elävästä sienestä vai oliko havainto näytteessä ollutta hajonnutta sieni-DNA:ta. Kummallakaan menetelmällä ei voida varmuudella osoittaa, mikä havaituista sienistä on varsinainen taudinaiheuttaja. Menetelmät ovat myös työläitä ja hitaita. Uudet sekvensointimenetelmät helpottavat näytteessä olevien taudinaiheuttajien ja muiden mikrobien tunnistusta, koska sekvensoimalla saadaan teoriassa kaikki näytteessä olevat sienet ja bakteerit selville samalla kertaa. Sekvensoimalla havaituille uusille taudinaiheuttajille on mahdollista kehittää lajispesifiset PCR-menetelmät ja kohdentaa testaus näin haluttuihin taudinaiheuttajiin.

3.1.2. Mikrobien hyödyntäminen tautien hallinnassa

Maaperän mikrobeilla on useita tärkeitä toimintoja viljelymaassa. Ne hajottavat eloperäistä ainesta ja edistävät näin ravinteiden kiertoa. Osa mikrobeista edistää kasvien veden ja ravinteiden saantia sienijuurisymbioosin kautta. Mikrobeilla on tärkeä merkitys myös maan mururakenteen muokkaajina: juuriston ja maaperän mikrobit erittävät maahan ”liima-aineita”, jotka sitovat maahiukkasia toisiinsa aggregaateiksi, joiden pinnoilla on myös suuri osa maan hiilivarastoista.

Maaperässä olevilla mikrobeilla on merkitystä myös kasvien terveyden kannalta. Useimmat mikrobit ovat kasveille haitattomia, mutta osa mikrobeista on haitallisia heikentämällä kasvien terveyttä aiheuttamatta varsinaisesti tauteja. Taudinaiheuttajamikrobit aiheuttavat kasvitauteja, sen sijaan antagonistiset mikrobit estävät taudinaiheuttajien kasvua ja kasveille hyödylliset mikrobit auttavat kasvia puolustautumaan tauteja vastaan.

Maan biologisen aktiivisuuden merkitystä tautien hallinnassa on korostettu, mutta sen mekanismeja ja soveltamista käytännön viljelyyn ei vielä riittävästi tunneta. Tauteja hillitsevien maiden (disease-suppressive soils) tutkimuksessa on todettu, että peltomaan mikrobiologista monimuotoisuutta lisäämällä voidaan parantaa esimerkiksi vehnän kykyä kestää taudinaiheuttajia (Ridout & Newcombe 2016). Sokerijuurikaspelloilla tehdyissä tutkimuksissa havaittiin, että terveitä kasveja sisältäneillä pelloilla mikrobien monimuotoisuus oli suurempi ja lajiston koostumus oli erilainen kuin tautiongelmista kärsivillä pelloilla (Kuststascher ym. 2019).

Mikrobivalmisteita käytetään käytännön viljelyssä jo nyt. Osa niistä on rekisteröityjä kasvinsuojeluaineita, osaa markkinoidaan biostimulantteina, jotka edistävät kasvien stressin sietoa

tai hyvinvointia. Näiden vaikutus perustuu yleensä yhteen tai muutamaan mikrobikantaan, joilla on todettu olevan hyödyllisiä vaikutuksia joko suoraan taudinaiheuttajaorganismiin tai kasvien puolustautumiseen. Mikrobiyhteisöjen hyödyntäminen kasvinterveyden edistämisessä vaatii erilaisia sovelluksia, sillä perusajatuksena on vaikuttaa eri mikrobiryhmien elinmahdollisuuksiin viljely-ympäristössä ja siten hallita kasvitautien lisääntymistä ja niiden aiheuttamia tuhoja.

3.2. Mikrobitutkimuksen tavoitteet Bioporkkana-hankkeessa

Bioporkkana-hankkeessa tutkittiin mikrobien vaikutusta porkkanan varastotautien esiintymiseen eri lähestymistavoilla.

- Porkkanatiloilta kerättyjen näytteiden avulla haluttiin selvittää, mikä on maan mikrobiyhteisöjen ja varastotauteja aiheuttavien sienitautien yhteys porkkanapelloilla (luku 3.3.) sekä miten maaperän ominaisuudet vaikuttavat näihin.
- Mikrobikäsittelyjen vaikutusta porkkanan tauteihin tutkittiin sekä kasvukaudella (luku 3.4.) että sadonkorjuun jälkeisten käsittelyiden avulla (luku 3.5.). Tutkimusten tavoitteena oli selvittää, voidaanko porkkanan varastolaatua parantaa muokkaamalla porkkanan mikrobiomia saatavilla olevilla mikrobivalmisteilla.

Tutkimuksen taustalla oli hypoteesi, jonka mukaan monimuotoinen maan mikrobiyhteisö parantaa porkkanan säilyvyyttä.

3.3. Peltomaan mikrobien yhteys varastotautien esiintymisen porkkanasadossa

3.3.1. Toteutus

Näytteiden keruu ja käsittely

Porkkanapeltojen mikrobiyhteisöjä koskevaan tutkimukseen otettiin mukaan peltolohkoja, jotka viljelijöiden arvioiden mukaan tuottivat varastokestävyydeltään vaihtelevaa porkkanasatoa. Lohkot vaihtelivat mm. maalajin ja aiemman viljelykierron suhteen. Vuonna 2020 näytteitä kerättiin 14 peltolohkolta ja vuonna 2021 kaikkiaan 12 peltolohkolta. Molempina vuosina kolme peltolohkoista oli luomutuotannossa. Pellot sijaitsivat Varsinais-Suomen, Hämeen, Pirkanmaan ja Etelä-Savon maakunnissa. Lohkoilla viljeltiin pääsääntöisesti porkkanan Maestro- tai Romance-lajiketta, yhdellä lohkolla lajikkeena oli Newhall.

Sato- ja maanäytteet kerättiin jokaiselta peltolohkolta kuudelta näytealalta hieman ennen viljelijän suunnittelemaa sadonkorjuuaikaa syys-lokakuussa. Näytealoilta kerättiin seuraavat näytteet:

- maanäytteet mikrobianalyysiin porkkanan ritsosfääristä eli juuriston välittömässä läheisyydessä olevasta maasta (20 porkkanaa/näyteala)
- maanäytteet mikrobianalyysiin porkkanarivin läheisyydestä syvyydeltä 0–10 cm (6 osanäytettä/näyteala)
- satonäytteet (vähintään 16 kg porkkanoita/näyteala)
- maanäytteet viljavuusanalyysiin syvyydeltä 0–25 cm (6 osanäytettä/näyteala).

Ritsosfäärinäytteet otettiin maasta nostetuista porkkanoista rapsuttamalla juuriin kiinni jäänyt multa hammasharjalla muovipussiin (Kuva 8). Muut maanäytteet otettiin kairalla (halkaisija 2,5 cm). Mikrobianalyyseihin tarkoitetut näytteet säilytettiin kylmälaukussa, kunnes ne pakastettiin (-20 °C) 24 tunnin kuluessa näytteenotosta. Viljavuusanalyysiin otetut näytteet yhdistettiin yhdeksi kokoomanäytteeksi/pelto. Näytteistä analysoitiin Eurofins Viljavuuspalvelussa maalaji, pH, johtoluku, hehkutuskevennys, pääravinteiden pitoisuudet (P, K, Mg, Ca, Mg, S ja liukoinen typpi) sekä laskennallinen kationinvaihtokapasiteetti. Satonäytteet jokaiselta koealalta jaettiin kahteen varastosäkkiin, joista toisen säilyvyys tarkistettiin tammikuussa ja toisen säilyvyys maaliskuussa.

Kuva 8. Ritsosfäärinäytteen ottoa porkkanan pinnasta. Kuva: Marja Harmoinen

Varastointikokeet ja tautianalyysit

Vuoden 2020 satonäytteet varastoitiin Luonnonvarakeskuksen Piikkiön toimipaikan tutkimusvarastossa, jossa lämpötila oli 0–1 °C ja suhteellinen kosteus yli 90 %. Seuraavan talven varastointikoe toteutettiin Luken varaston uudistamisen vuoksi yksityisen porkkanatilan kylmävarastossa. Porkkanat varastoitiin kudotuissa polypropeenisäkeissä noin 8 kg:n erissä. Säkit pakattiin kuution kokoisiin muovisiin varastolaatikoihin, jotka peitettiin kannella.

Porkkanoiden säilyvyys tarkistettiin tammi- ja maaliskuussa eli noin 3,5 ja 5,5 kuukauden varastoinnin jälkeen. Porkkanasäkkien painot punnittiin ennen varastointia ja sen jälkeen. Painon muutoksen perusteella laskettiin varastoinnin aikainen painohävikki. Varastoidut porkkanat lajiteltiin silmin havaittavien oireiden perusteella terveisiin ja varastotautien vioittamiin juuriin, jotka jaoteltiin edelleen pääasiallisen oireen sijainnin mukaan seuraaviin vioitusluokkiin: 1. juuren kärjestä alkaneet vioitukset, 2. porkkanan kannasta alkaneet vioitukset, 3. kyljissä olevat kuopat ja kolot sekä 4. pitkälle mädäntyneet porkkanat. Eri lajitteluluokkien porkkanoiden kappalemäärät laskettiin ja punnittiin säkeittäin.

Taudinaiheuttajien tunnistusta varten osasta eri vioitusluokkiin jaotelluista porkkanoista leikattiin vioituskohdasta näytepala (noin 5 mm x 5 mm x 5 mm) vioittuneen ja oireettoman solukon

rajapinnasta. Näytepalat silputtiin hienoksi veitsellä, laitettiin näytteenmurskausputkeen, ja säilytettiin -80 °C:ssa. DNA-uuttoa varten pakastetut näytteet sulatettiin, näyteputkiin lisättiin näytepuskuria ja näytteet murskattiin FastPrep 24 –laitteella (MP Biomedicals). Näyteputkissa oleva keraaminen kuula yhdessä voimakkaan ravistelun kanssa murskaa putkessa olevan porkkanasolukon. Tämän jälkeen näytteistä uutettiin kokonais-DNA Qiagenin kaupallisella DNA-eristyssarjalla (Dneasy Plant Mini kit).

Taudinaiheuttajat tunnistettiin yksittäisistä porkkanoista uutetuista DNA-näytteistä PCR-menetelmällä Luken Jokioisten toimipaikalla. Aiemman tutkimustiedon pohjalta (Hannukkala ym. 2020, Latvala ym. julkaisematon) taudinaiheuttajamääritykset painottuivat Suomessa tyypillisiksi havaittuihin varastotautien aiheuttajiin, joita ovat *Mycocentrospora a*cerina, *Fusarium avenaceum*, *Botrytis cinerea* ja *Cylindrocarpon* sp. Lisäksi näytteistä testattiin *Alternaria* sp., koska *Alternaria radicina* -sienen on muissa Pohjoismaissa todettu aiheuttavan kuoppaoireita porkkanalla. *M. acerina-*, *F. avenaceum-*, *B. cinerea-, Cylindrocarpon* sp.- ja *Alternaria* sp. -sienet tunnistettiin lajispesifisten tunnistejaksojen perusteella (Hermansen ym. 2012, Mishra ym. 2003, Rigotti ym. 2006, Dubrovsky & Fabritius 2007, Tewoldemethin ym. 2011 ja Pavón ym. 2010). Vuoden 2020 näytteiden osalta PCR-testaus kohdennettiin kolmen lohkon (D, H ja N) näytteisiin. Vuoden 2021 näytteitä testattiin kaikilta tutkimuslohkoilta jonkin verran.

Osasta vuoden 2021 porkkana-DNA-näytteistä syväsekvensoitiin mikrobien ribosomaaliset tunnistealueet (sieniltä ITS2 ja bakteereilta 16S rRNA) Illumina MiSeq -sekvensoinnilla. Sekvensointiin valittiin näytteitä kaikilta vuoden 2021 tutkimuslohkoilta niin, että kaikki pääoiretyypit (kärki-, kylki- ja kantaoireet) olivat edustettuina, jos mahdollista. Syväsekvensointia varten yhdistettiin yhdeksi näytteeksi 2–5 saman lohkon porkkanaa, joissa oli samanlaisia oireita, ja DNA uutettiin näytteistä edellä esitetyllä tavalla. Sekvensointiin menneet yhdistelmänäytteet testattiin myös *M. acerina-*, *F. avenaceum-*, *B. cinerea-, Cylindrocarpon* sp. ja *Alternaria* sp. -lajispesifisillä PCR-testeillä.

Sekvenssiaineistosta tutkittiin edellä mainittuja tunnettuja taudinaiheuttajia ja tuloksia verrattiin aiemmin saatuihin PCR-tuloksiin. Aineistosta etsittiin myös uusia mikrobeja, jotka esimerkiksi ilmaston muuttuessa voisivat olla porkkanalle haitallisia.

Helsingin yliopistossa tutkittiin kesäkuussa 2023 tartutuskokeella neljän eri sienen taudinaiheutuskykyä porkkanalla. Aiemmin eristetyt *Fusarium avenaceum*, *Fusarium torulosum*, *Plectosphaerella plurivora* ja *Plectosphaerella cucumerina* -isolaatit kasvatettiin puhdasviljelminä peruna-dekstroosi-agarilla (PDA). Pestyjä, vasta nostettuja uuden kauden porkkanoita ja vanhoja (viime kauden) porkkanoita haavoitettiin steriloidulla terävällä veitsellä, ja 4 mm leveä pala PDA:lla oleva sieniviljelmää asetettiin haavoituskohtaan, yksi kullekin juurelle. Kontrolliporkkanoihin asetettiin steriili PDA-pala haavakohtaan. Kutakin sieni-isolaattia tai kontrollia kohden käsiteltiin 10 vanhaa ja 10 uutta porkkanaa. Tartutetut juuret asetettiin steriilille liinalle muovilaatikoihin ja pidettiin pimeässä huoneenlämmössä (22 °C). Näkyvän oireen ja/tai sienikasvuston leveys ja korkeus mitattiin digitaalisella työntömitalla 7 päivää ja 18 päivää tartutuksen jälkeen.

Mikrobiyhteisöjen tutkimus

Mikrobitutkimukseen otetuista 312 maa- ja ritsosfäärinäytteestä uutettiin DNA Luken Viikin laboratoriossa. Pakastetuista maanäytteistä otettiin 250 mg osanäyte, josta eristettiin DNA Dneasy Power soil Pro (Qiagen) eristyssarjan avulla QIAcube Connect laitteistolla. DNA-

näytteistä syväsekvensoitiin mikrobien ribosomaaliset tunnistealueet (sieniltä ITS2 ja bakteereilta 16S) Illumina MiSeq -sekvensoinnilla Tarton yliopiston Genomiikan laitoksella Virossa. Datasta analysoitiin sieni- ja bakteerilajisto, niiden määräsuhteet ja monimuotoisuus.

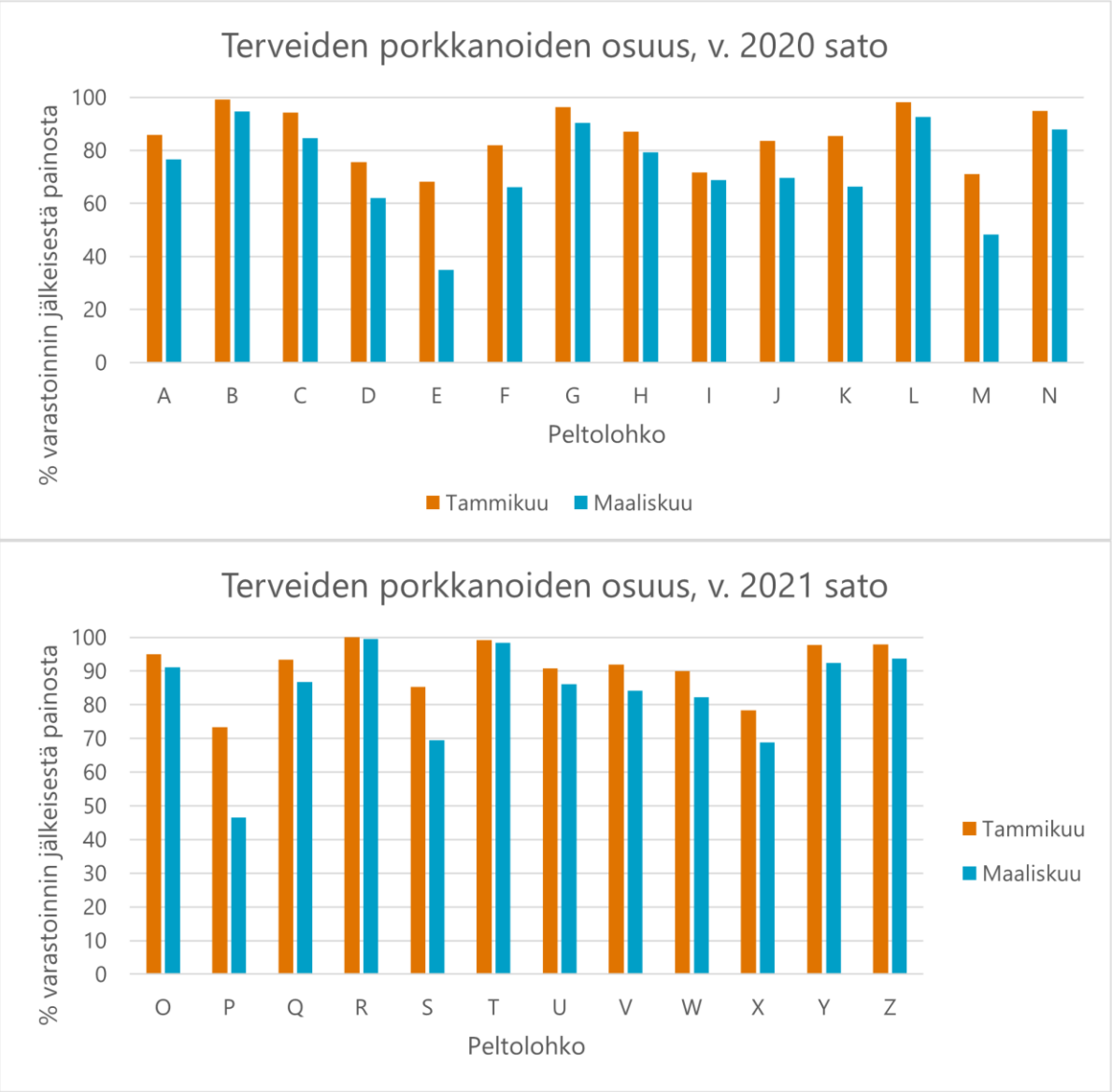
Sekvenssiaineisto käsiteltiin PipeCraft 2.0- ohjelmistolla (Anslan ym. 2017). Bakteerien sekvenssikirjaston keskimääräinen koko oli 22 000 ja sienten 17 000 sekvenssiä. Sekvenssit ryhmiteltiin toiminnallisiksi taksonomisiksi yksiköiksi (OTUiksi) 97 % samankaltaisuusastetta käyttäen, ja lopuksi kaikki OTUt, joilla oli sama lajivastaavuus, yhdistettiin (Kõljalg ym. 2013). Bakteerien ja sienten lajivastaavuus saatiin vertaamalla OTU-sekvenssejä SILVA (Quast ym. 2013) ja UNITE (Nilsson ym. 2018) tietokantojen verrokkisekvensseihin. Aineisto normalisoitiin parittaisten suhdelukujen geometrinen keskiarvo (GMPR) -menetelmällä (Chen ym. 2018). Menetelmä soveltuu hyvin runsaasti nollia sisältävien aineistojen normalisointiin, ja se säilyttää näytteiden väliset suhteelliset erot. Aineiston tilastollinen analyysi ja kuvat tehtiin R tilastoohjelmistolla (R Core Team 2022), ja sienilajit luokiteltiin ravinnonkäytön mukaan esim. taudinaiheuttajiksi ja symbionteiksi FUNGuild tietokannan avulla (Nguyen ym. 2016).

3.3.2. Tulokset

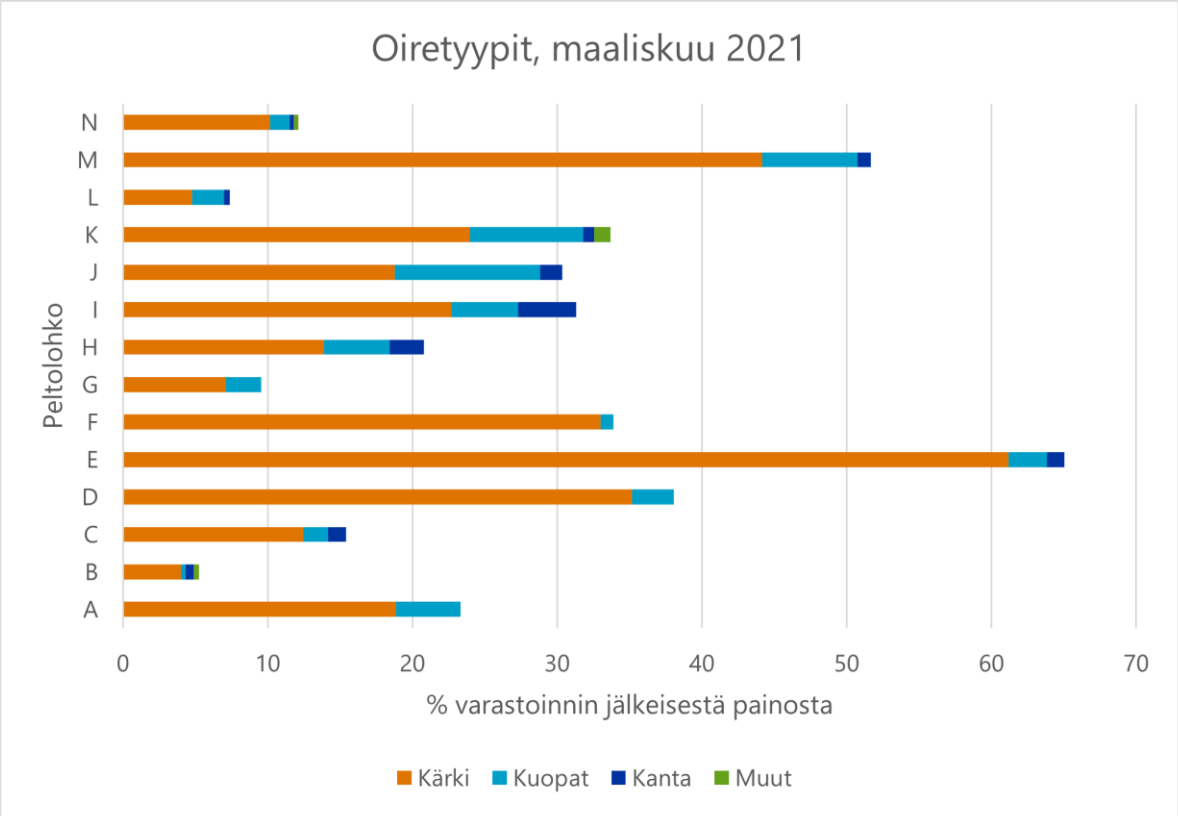
Varastotautien aiheuttama hävikki

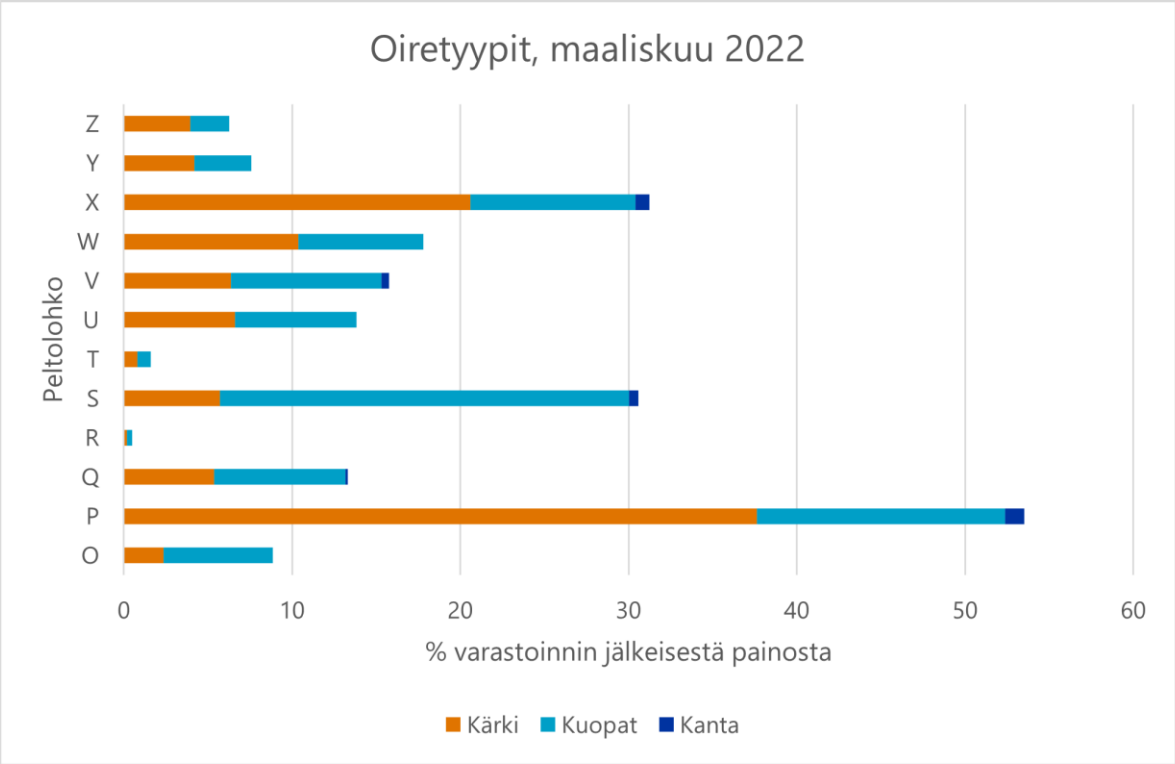
Tiloilta kerättyjen satonäytteiden varastohävikki tarkistettiin talven aikana kaksi kertaa – tammikuussa noin 3,5 kuukauden varastoinnin jälkeen ja maaliskuussa noin 5,5 kuukauden varastoinnin jälkeen. Odotusten mukaisesti varastohävikin suuruus vaihteli peltolohkojen mukaan: syksyn 2020 sadossa terveitä porkkanoita oli tammikuussa 68–99 % varastoinnin jälkeisestä painosta ja syksyn 2021 sadossa 73–100 % (Kuva 9). Maaliskuuhun mennessä säilyvyys heikkeni erityisesti heikoimmissa erissä, joista huonoiten säilyneissä erissä terveitä porkkanoita oli enää alle 50 %. Varastokestävyydeltään parhaissa erissä terveiden porkkanoiden osuus oli maaliskuussa edelleen selvästi yli 90 %. Keskimäärin vuoden 2021 satoa edustavat näytteet säilyivät paremmin kuin edellisen vuoden satonäytteet.

Vuoden 2020 näytteissä porkkanan kärjestä alkaneet vioitukset olivat vallitsevia (Kuva 10). Seuraavan vuoden sadossa porkkanan kyljissä esiintyvät kuopat ja kolot olivat lähes yhtä yleisiä. Tautien vioittamat porkkanat luokiteltiin eri oiretyyppeihin vakavimman oireen mukaan, mutta samassa porkkanassa saattoi esiintyä myös useampaa oiretta yhtä aikaa.



Kuva 9. Terveiden porkkanoiden osuus varastoinnin jälkeen tammi- ja maaliskuussa eri peltolohkojen satonäytteissä vuosina 2020 ja 2021.



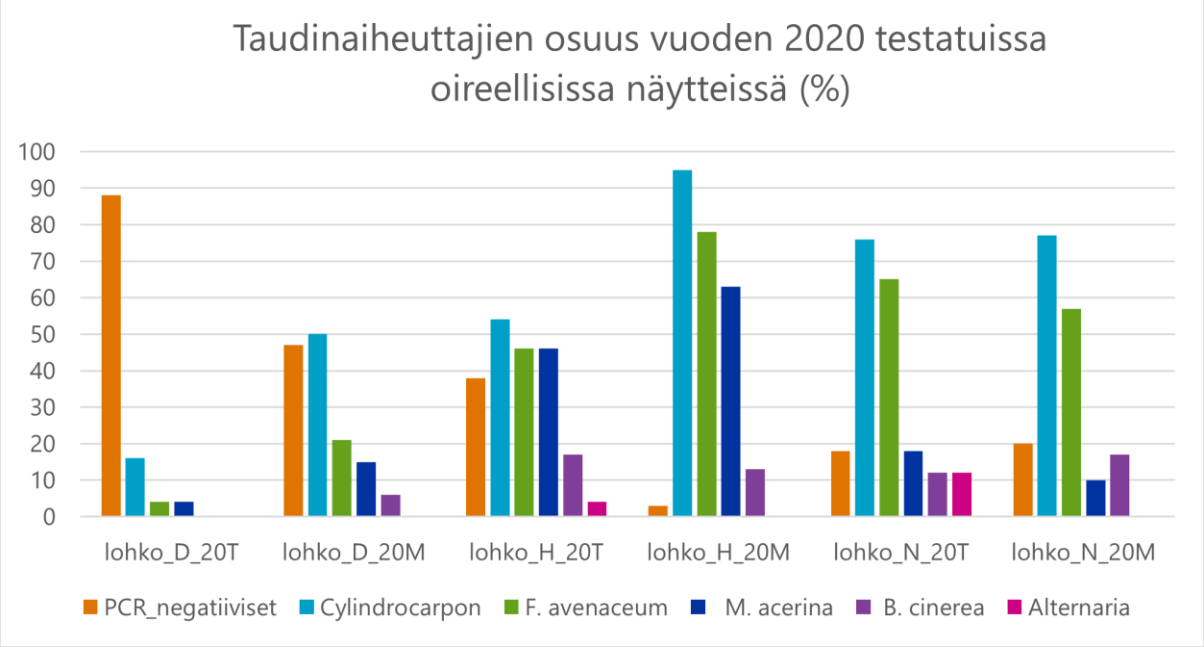


Kuva 10. Eri peltolohkojen sadossa esiintyneet varastotautien aiheuttamat oireet maaliskuun varastoanalyysissä.

Varastotautien aiheuttajat

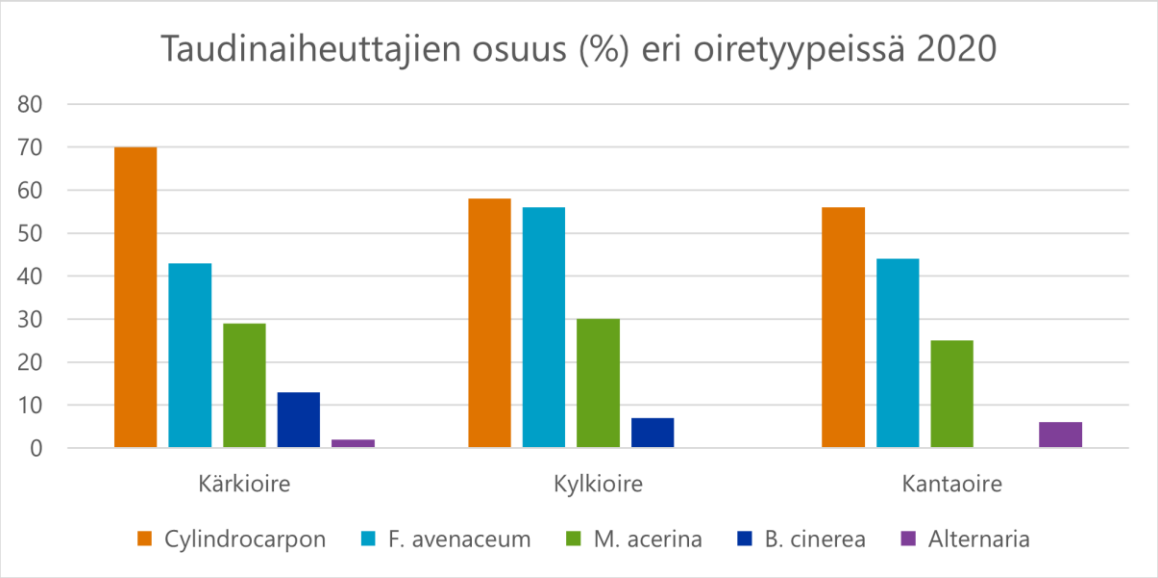
Varastoitujen porkkanoiden oirekohdista uutetuista DNA-näytteistä testattiin lajispesifisillä PCR-menetelmillä *Mycocentrospora acerina*, *Fusarium avenaceum* ja *Botrytis cinerea* -sieniä, jotka on aiemmin todettu yleisimmiksi ja haitallisimmiksi meillä porkkanaa varastossa pilaaviksi sieniksi, sekä *Cylindrocarpon*- ja *Alternaria*-sukuihin kuuluvia sieniä.

Vuoden 2020 näytteitä testattiin pääasiassa kolmelta lohkolta (D, H ja N). Lohkot erosivat toisistaan porkkanoiden varastosäilyvyyden, lohkon maalajin, viljelytavan ja porkkanan viljelyhistorian perusteella. Havaittujen sienten määrät ja sienilajit vaihtelivat lohkon mukaan ja vaihtelua esiintyi myös erien välillä (tammikuu vs. maaliskuu) (Kuva 11).

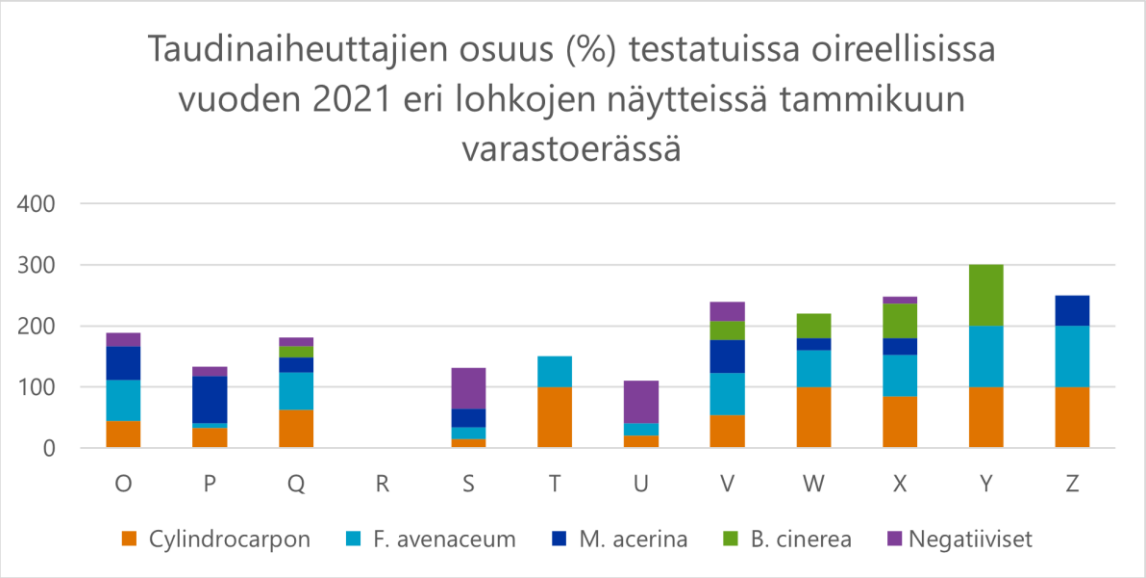


Kuva 11. Taudinaiheuttajien osuus (%) testatuissa oireellisissa vuoden 2020 näytteissä. Taudinaiheuttajat tutkittiin kolmen lohkon (D, H, N) näytteistä tammikuun (T) ja maaliskuun (M) varastoeristä lajispesifisillä PCR-menetelmillä. PCR_negatiiviset = oireelliset näytteet, joista ei PCR-menetelmällä havaittu tutkittuja taudinaiheuttajia.

Vuoden 2020 porkkanoiden testaustuloksista havaittiin, ettei tiettyyn oiretyyppiin liity tiettyjä taudinaiheuttajia, vaan testattuja sieniä löytyi kaikista oiretyypeistä (Kuva 12). Testatuille näytteille oli yleistä se, että monista näytteistä löytyi 2–4 testattua taudinaiheuttajaa eli kyseessä oli sekainfektio (Kuva 13). Tunnistejakson monistamiseen perustuva testi ei kuitenkaan paljasta ensisijaista taudinaiheuttajaa.



Kuva 12. Taudinaiheuttajien osuus (%) eri oiretyypeissä vuoden 2020 näytteissä. Tulokset on laskettu kaikkien lohkojen ja erien (tammikuu/maaliskuu) lajispesifisillä PCR-menetelmillä testatuista oireellisista näytteistä.



Kuva 13. Taudinaiheuttajien osuus (%) vuoden 2021 tammikuun varastoerän testatuissa oireellisissa näytteissä. Useissa näytteissä esiintyi 2–4 taudinaiheuttajaa eli kyseessä oli sekainfektio. Negatiiviset = oireelliset näytteet, joista ei havaittu tutkittuja taudinaiheuttajia

Syväsekvensointitulosten mukaan oireellisissa porkkanoissa yleisimmin esiintyviä tärkeitä taudinaiheuttajia olivat *Mycocentrospora acerina*, *Botrytis cinerea* ja kotelosienet, joihin *Fusarium* -lajit kuuluvat. Taudinaiheuttajien havaitseminen näytteistä riippui sienilajista. Monet tärkeät taudinaiheuttajat, kuten edellä mainitut *M. acerina* ja *B. cinerea* havaittiin runsaina. Eri *Fusarium*-lajeja ei pystytä kuitenkaan erottelemaan sekvensoinnissa käytetyillä sienten ITS2-alukkeilla, ja niitä tunnistettiinkin näytteistä enemmän PCR-testillä kuin sekvensoimalla. Syväsekvensointi paljasti, ettei porkkanoissa esiintynyt muissa Pohjoismaissa havaittuja haitallisia, porkkanoita varastossa pilaavia *Rhexocercosporidium carotae*-, *Rhizoctonia carotae*- tai *Alternaria radicina* -sieniä. Porkkanoissa havaittiin kuitenkin *Cadophora*- ja *Plectosphaerella* -sukujen sieniä, joiden on aikaisemmissa tutkimuksissamme todettu olevan haitallisia perunalla.

Nämä sienet saattavat ilmaston muuttuessa ja etenkin kasvukauden lämmetessä muuttua porkkanalle haitallisiksi ja aiheuttaa varastoinnin aikana porkkanoiden pilaantumista. Syväsekvensoinnissa oireellisista porkkananäytteistä havaittiin myös *Rhizoctonia solani* -sientä, joka on perunalla todettu haitalliseksi ja voi muodostua porkkanallekin ongelmaksi, jos viljelykierrossa on runsaasti perunan ja porkkanan viljelyvuosia.

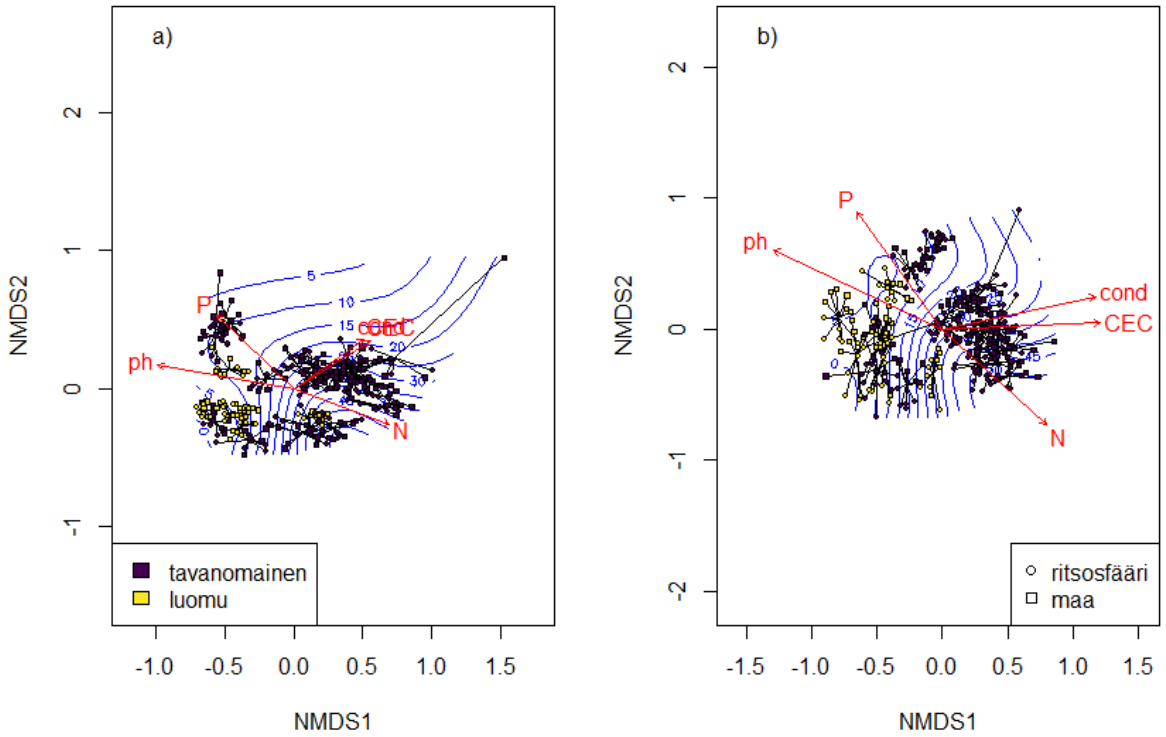
Hankkeessa kehitettiin *Cadophora*- ja *Plectosphaerella*-sienille lajispesifiset tunnistejaksot (Haapalainen, julkaisematon). Testaus kohdennettiin rajatulle näytemäärälle ja niille lohkoille, joiden näytteissä sekvenssiaineiston perusteella olisi pitänyt esiintyä näitä testattavia sieniä. Uudet tunnistejaksot toimivat hyvin. *Cadophora*-sieni havaittiin kaikissa 14:ssa testatussa yksittäisessä DNA-näytteessä, ja *Plectosphaerella*-sieni havaittiin kahdessa näytteestä kolmesta. Tutkimustyössä käytetty konsepti, eli ensin selvitetään syväsekvensoinnilla mitä mikrobeja näytteet sisältävät ja sen jälkeen käytetään tunnistejakson monistamiseen perustuvaa PCR-menetelmää löydetyille taudinaiheuttajille, osoittautui toimivaksi.

Porkkanan tartutuskokeissa tutkittiin *Fusarium avenaceum*- ja *F. torulosum* -lajien sekä *Plectosphaerella*-lajien infektiokykyä nuorissa ja edellisen kasvukauden porkkanoissa. Molemmat *Fusarium*-lajit kasvoivat tartutetuissa porkkanoissa ja aiheuttivat näkyviä oireita. *F. avenaceum* aiheutti laajoja oireita, joiden päällä oli valkoista sienikasvustoa. Myöhemmässä vaiheessa oireet ulottuivat useimmissa porkkanoissa koko juuren ympäri. *F. torulosum* aiheutti pienempiä ja kuivemman näköisiä pyöreitä kuoppia, jotka ajan mittaan syvenivät kohti juuren sisäosaa ja laajenivat myös sivusuunnassa. Kumpikaan *Plectosphaerella*-laji ei aiheuttanut porkkanoille oireita. Kontrolliporkkanoissa ei havaittu oireita tartutuskohdassa.

Vanhat porkkanat olivat alttiimpia *Fusarium*-sienille kuin uudet porkkanat. Kahden mittausajankohdan (7 ja 18 päivää tartutuksesta) välillä *F. avenaceum* -sienen aiheuttamat oireet kasvoivat myös uusissa porkkanoissa, kun taas *F. torulosum* -sienellä tartutetuissa uusissa porkkanoissa oireet eivät juuri edenneet. Vanhoissa porkkanoissa molempien *Fusarium*-lajien aiheuttamat oireet lisääntyivät merkittävästi seuranta-ajan kuluessa.

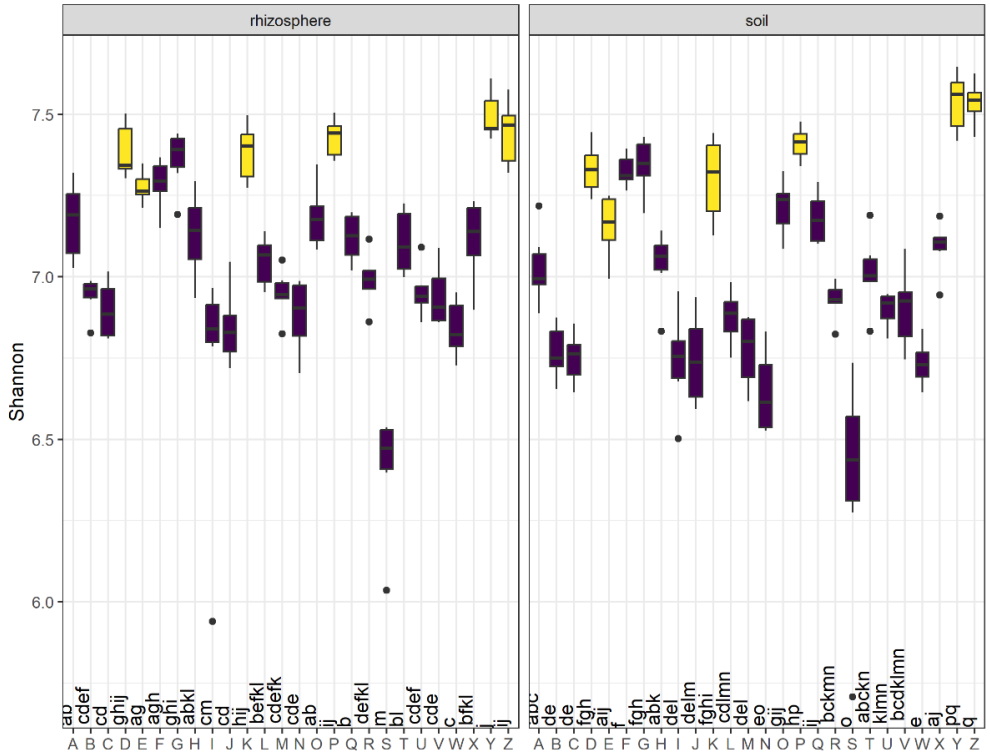
Maaperän mikrobiyhteisöt ja niiden yhteys säilyvyyteen

Tutkituista porkkanapeltojen maa- ja ritsosfäärinäytteistä tunnistettiin yhteensä noin 15 000 bakteerityyppiä ja 4 000 sienityyppiä. Yksittäisen pellon näytteissä esiintyi keskimäärin (mediaani) runsaat 3 000 bakteerityyppiä ja vajaa 500 sienityyppiä. Pääsääntöisesti sama lajisto havaittiin sekä ritsosfäärinäytteissä että rivin viereltä otetuissa maanäytteissä. Jokaisella pellolla esiintyi omanlainen mikrobisto, johon vaikutti mm. maan happamuus, johtoluku, orgaanisen aineksen määrä ja kationinvaihtokapasiteetti (Kuva 14). Tämä merkitsee sitä, että maaperän kemiallisilla ominaisuuksilla on suuri vaikutus pellon mikrobilajistoon. Maaperän ominaisuuksilla oli sen sijaan selvästi heikompi yhteys varastotautien esiintymiseen. Kaikkein parhaiten säilyvät porkkanaerät tulivat kivennäismaapelloilta, joissa oli alhainen orgaanisen aineen ja korkea fosforin pitoisuus, mutta hyvin säilyviä porkkanaeriä löytyi sekä mineraali- että turvemailta.

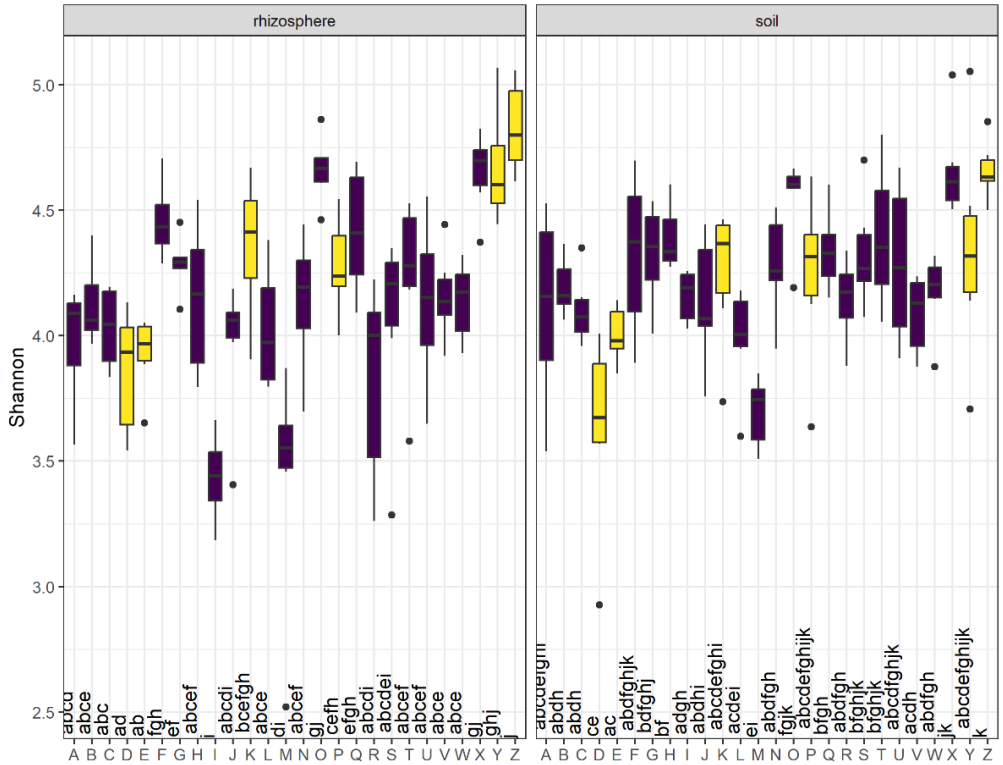


Kuva 14. Näytealojen jakautuminen a) bakteeri- ja b) sieniyhteisöjen 2-ulotteisessa ordinaatiossa maaperämuuttujien ja viljelymenetelmän (tavanomainen, luomu) mukaan. Maaperän orgaanisen aineen pitoisuus on sovittu pintana kuvan taustalle sinisellä: orgaanisen aineen pitoisuus kasvaa kuvassa oikealle. Nuolet näyttävät fosforipitoisuuden (P), pH:n, johtoluvun (cond) ja kationinvaihtokapasiteetin (CEC) kasvavan suunnan. Saman tilan näytteet yhdistyvät toisiinsa mustin viivoin.

Luomupelloilla erityisesti bakteerien monimuotoisuus oli suurempi kuin tavanomaisesti viljellyillä pelloilla, sen sijaan sienten monimuotoisuutta tarkasteltaessa ei havaittu vastaavaa eroa luomu- ja muiden peltojen välillä (Kuvat 15 ja 16).

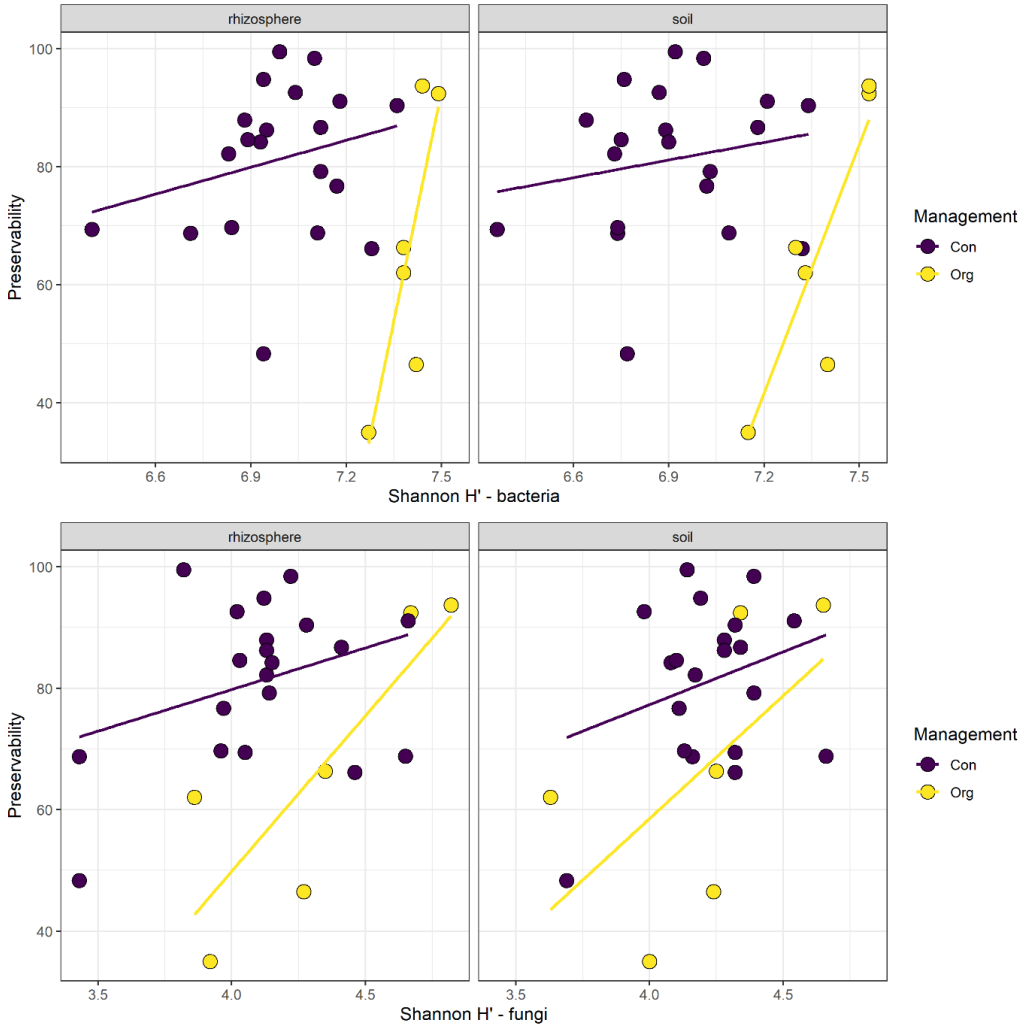


Kuva 15**.** Bakteerien monimuotoisuutta kuvaavan Shannon-indeksin arvo eri peltolohkoilla (A-Z) ritsosfäärissä ja maanäytteissä. Tavanomainen viljelymenetelmä = tumma lila, luomu = keltainen). Pienet kirjaimet kaavion alaosassa viittaavat eri peltolohkojen erojen tilastolliseen merkitsevyyteen. Laatikko-jana-kuvio esittää saman pellon eri näytealojen välisen vaihtelun.



Kuva 16**.** Sienten monimuotoisuutta kuvaava Shannon-indeksin arvo eri peltolohkoilla (A-Z) ritsosfäärissä ja maanäytteissä. Tavanomainen viljelymenetelmä = tumma lila, luomu = keltainen. Pienet kirjaimet kaavion alaosassa viittaavat eri peltolohkojen erojen tilastolliseen merkitsevyyteen. Laatikko-jana-kuvio esittää saman pellon eri näytealojen välisen vaihtelun.

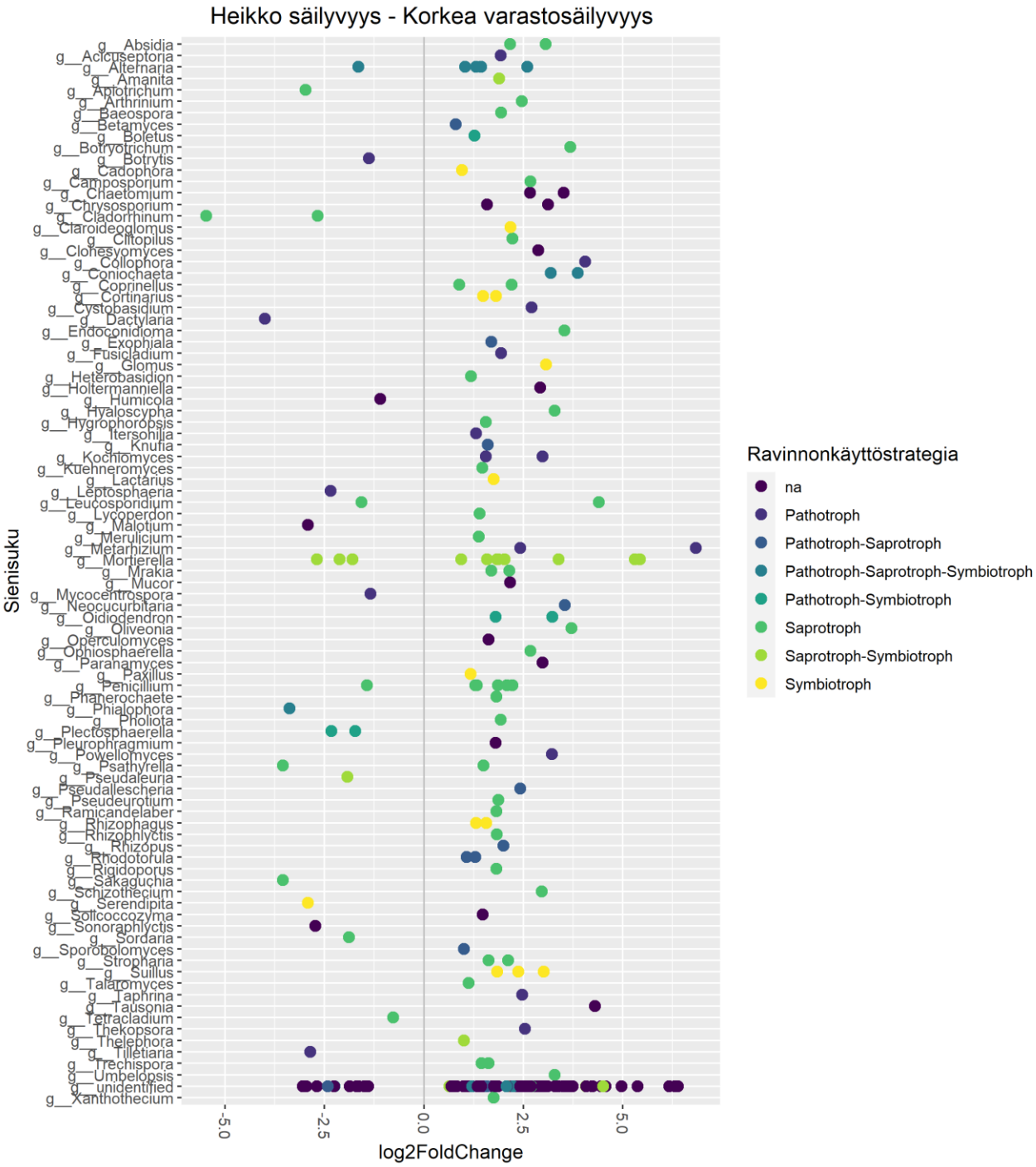
Sienten monimuotoisuudella havaittiin olevan positiivinen yhteys porkkanasadon säilyvyyteen Kuva 17): sieniyhteisöiltään monimuotoisimmilla pelloilla tuotettu sato oli jonkin verran terveempää kuin pelloilla, joiden sienidiversiteetti oli pienempi. Bakteeriyhteisöjen monimuotoisuus selitti sadon terveyttä heikommin; positiivinen yhteys bakteerien monimuotoisuuteen havaittiin vain luomupelloilla, joita aineistossa oli kuusi peltoa 24:stä, ja kaikilla niissä oli jo lähtötasoltaan korkea monimuotoisuus.



Kuva 17**.** Bakteerien ja sienten monimuotoisuuden (Shannon-indeksi) yhteys sadon säilyvyyteen (pystyakseli). Keltainen piste = luomupelto, violetti piste = tavanomainen pelto.

Aineistosta pyrittiin erottamaan sellaisia sieni- ja bakteeriryhmiä, joiden esiintyminen liittyi hyvään tai huonoon säilyvyyteen. Yleisesti hyvään säilyvyyteen pystyttiin yhdistämään useampia mikrobiryhmiä kuin huonoon säilyvyyteen (Kuva 18), mikä saattaa viitata siihen, että sadon terveyden kannalta oleellisempaa on hyödyllisten mikrobien läsnäolo kuin haitallisten mikrobien tai patogeenien puuttuminen.

Erityisen usein *Metarhizium*-sienisuvun lajeja esiintyi pelloilla, joiden porkkanasato säilyi hyvin. Muita hyvään säilyvyyteen liittyneitä sieniä olivat useat kotelosienet, kuten hajottajana tunnettu yleinen *Mortierella*-suku, hiivasieni *Tausonia pullulans* ja *Botryotrichum verrucosum*, *Onygenales*- ja *Sordariales*-ryhmien sienet sekä mm. piiskasiimasieniin kuuluva *Powellomyces hirtus*. Sen sijaan huonosti säilyvää satoa tuottaneilla pelloilla havaittiin muita runsaammin taudinaiheuttajasieniä, kuten *Mycocentrospora acerina* ja lukuisia piiskasiimasieniin kuuluvia sienilajeja.



Kuva 18. Hyvään ja huonoon varastosäilyvyyteen yhdistyvät ritsosfäärin sienisuvut ja niiden ravinnonkäyttöstrategia (Pathotroph= taudinaiheuttajasieni, Saprotroph=lahottajasieni, Symbiotroph=symbionttinen sieni, na=ei määritetty)

3.3.3. Tulosten tarkastelu

Tässä tutkimuksessa saatiin tarkennettu käsitys porkkanaa vioittavista taudinaiheuttajista ja niiden aiheuttamista oireista. Porkkanan kärjistä, kyljistä tai kannasta tehty oiretyyppien tutkimus paljasti, että kaikista oiretyypeistä löytyi samoja taudinaiheuttajasieniä. Monista näytteistä löytyi 2–4 testattua taudinaiheuttajaa eli kyseessä oli sekainfektio. Tämä tulos ei kuitenkaan paljasta ensisijaista taudinaiheuttajaa.

Sekvensointiaineistosta saatiin laajemmin tietoa lajistosta, joita porkkanoiden oirekohdissa esiintyi. Runsaimpina myös sekvensointiaineistossa esiintyivät tunnetut taudinaiheuttajasienet, kuten mustamädän aiheuttaja *Mycocentrospora acerina*, harmaahome ja *Fusarium*-lajit. Porkkanoista löydettiin myös perunalla oireita aiheuttavia *Rhizoctonia solan*i-, *Cadophora*- ja *Plectosphaerella-sieniä*. Tartutuskokeessa kuitenkin todettiin, että porkkanoista eristetyt *Plectosphaerella*-lajit eivät aiheuttaneet oireita porkkanoille. Tulokset antavat kuitenkin viitteitä siitä, että perunalla ja porkkanalla voi olla useita yhteisiä taudinaiheuttajia, joten perunoiden ja porkkanan toistuva viljely samassa viljelykierrossa ei ole suositeltavaa.

Porkkanasadon säilyvyys vaihteli huomattavasti eri peltojen välillä, samoin kuin peltojen maanäytteiden mikrobiyhteisöjen koostumus ja monimuotoisuus. Peltojen maaperäominaisuuksilla oli vain suhteellisen heikko yhteys porkkanoiden säilyvyyteen. Maaperän ominaisuudet sen sijaan vaikuttivat suuresti mikrobiston lajikoostumukseen. Mikrobiston monimuotoisuudella, erityisesti sienillä, oli puolestaan positiivinen yhteys sadon terveyteen. Monimuotoisuuden ohella merkitystä on hyödyllisten mikrobien läsnäololla ja taudinaiheuttajien vähäisellä määrällä. Hyödyllisten mikrobien merkitys korostui aineiston analyysissä, joten käytännön sovellusten kannalta on tarpeen paneutua viljelymenetelmiin sekä muihin keinoihin, joilla voidaan suosia hyödyllisiksi tunnistettujen mikrobien elinolosuhteista viljelymaassa.

Tutkimusaineistomme muodostui käytännön toimijoiden viljelylohkoista, ei systemaattisista ja toistoja sisältävistä viljelykokeista, joten eri viljelymenetelmien vaikutuksia ei aineistosta voi tarkkaan tutkia. Toinen mahdollisuus hyötymikrobien lisäämiseksi porkkanantuotantoon on kaupallisesti saatavilla olevien mikrobituotteiden keinollinen lisääminen. Jälkimmäistä lähestymistapaa testattiin projektissa kasvihuoneolosuhteissa (kts luvut 2.2.2. ja 2.3.2.), sillä hyvin säilyviä porkkanoita tuottavilla pelloilla yleisestä *Metarhizium*-sienestä on kaupallisia valmisteita saatavilla.

3.4. Kasvukauden aikaiset mikrobikäsittelyt

3.4.1. Toteutus

Vuosina 2020 ja 2021 toteutettiin Verderan ja yhden viljelijän kanssa yhteistyössä porkkanan taimipoltteen ja lehtilaikkutautien torjuntakoe biologisilla torjuntavalmisteilla (Mycostop, Prestop) luomuporkkanalohkoilla Etelä-Savossa. Ensimmäisenä koevuonna kokeet kylvettiin kahdelle lohkolle (kivennäismaa ja multamaa) lajikkeena Maestro. Käsittelyinä olivat:

1. Mycostop-siemenpeittaus
2. Mycostop-siemenpeittaus + yksi Prestop-kasvustokäsittely
3. peittaamaton siemen + kaksi Prestop-kasvustokäsittelyä.

Verranteena oli peittaamaton siemen ja käsittelemätön kasvusto.

Siementen peittaus tehtiin käsin juuri ennen kylvöä sekoittamalla huolellisesti purkissa 8 g Mycostop-jauhetta/1 kg siemeniä. Yksi Prestop-kasvustokäsittely (ruiskutteen käyttömäärä 800 l/ha, 0,05 % seos) tehtiin noin neljän viikon kuluttua kylvöstä ruiskuttamalla käsiruiskulla penkin pintaan taimien tyvelle. Kahdessa kasvustokäsittelyssä ensimmäinen ruiskutus tehtiin välittömästi kylvön jälkeen penkin pintaan (Kuva 19) ja toinen ruiskutus kuten edellä on kerrottu.

Vuonna 2021 koe kylvettiin yhdelle kivennäismaan lohkolle. Käsittelyt olivat Mycostop-siemenpeittaus ja peittaamaton kontrolli. Lajikkeena oli Maestro. Siementen peittaus tehtiin samalla määrällä ja samalla tavoin kuin edellä on kuvattu. Peittauksen jälkeen lähetettiin pieni määrä siemeniä Verderalle analysoitavaksi peittauksen onnistumisesta. Peittaus oli onnistunut sataprosenttisesti. Jokaisesta tarkastetusta 200 siemenestä löytyi *Streptomyces*-sädebakteeria ja myös sädebakteerin määrä siementä kohti oli hyvä. Peittaamattomilla siemenillä tehdyn alustavan tautitarkastuksen mukaan siemenistä löytyi *Alternaria*-, *Cylindrocarpon*-, *Stemphylium*- ja *Fusarium*-taudinaiheuttajasieniä.

Peitatulla siemenellä kylvettiin lohkoille 6–12 riviä siten, että peitatulla siemenellä kylvettyjen rivien molemmilla puolilla oli peittaamattomalla siemenellä kylvettyä kasvustoa. Rivien pituudet olivat lohkon mukaan 115–200 metriä. Prestop-ruiskutukset, havainnot ja satonäytteiden nostot kohdistettiin kullakin koelohkolla neljän näytealan alueelle, joiden koko oli 48 m^2/näyteala vuonna 2020 ja 16 m^2/näyteala vuonna 2021. Näytealojen väli oli 15 metriä. Näytealoilta havainnoitiin molempina koevuosina taimitiheydet, lehtilaikkutaudit ja nostettiin satonäytteet. Sato nostettiin käsin näytealoilta kahden metrin matkalta yhdestä rivistä/näyteala kaikista käsittelyistä. Satonäytealan koko oli näin 1,6 m^2. Näytealojen sato kuljetettiin viljelijän varastotilaan, jossa se punnittiin. Punnituksen jälkeen kunkin käsittelyn neljän näytealan sadot yhdistettiin ja yhdistetystä näytteestä otettiin kahteen eri varastosäkkiin (polypropeenisäkki) noin 8 kg:n porkkanaerä varastosäilyvyyskokeeseen (Kuva 20). Säkit punnittiin ennen varastoon laittoa. Varastosäkit sijoitettiin tilan varastolaatikkoon siten, että laatikko oli noin puolillaan nostettua porkkanaa ja säkit laitettiin porkkanoiden päälle. Tällä haluttiin varmistaa se, että varastosäkeissä olevat porkkanat eivät jäädy varastoinnin aikana. Varastolaatikko oli huputettu mikrorei'itetyllä muovilla. Varastoidut porkkanat käsiteltiin varastosta seuraavan vuoden maaliskuussa. Varastointiaika oli vuoden 2020 kokeessa 160 vuorokautta ja seuraavan vuoden kokeessa 140 vuorokautta.

Kuva 19. Prestop-ruiskutus tehtiin reppuruiskulla penkin päälle heti kylvön jälkeen. Kuva: Pirjo Kivijärvi.

Kuva 20. Varastointikoetta varten porkkanat pakattiin noin 8 kg:n polypropeenisäkkeihin. Kuva: Pirjo Kivijärvi

3.4.2. Tulokset

Vuonna 2020 tehdyissä havainnoissa ja mittauksissa ei havaittu käsittelyiden välillä johdonmukaisia eroja taimikuolemissa, kasvuston tiheydessä, naatiston terveydessä ja satomäärässä. Sen sijaan 160 päivän varastoinnissa saatiin viitteitä siitä, että Mycostopilla peitatulla siemenellä kylvetty sato säilyi varastossa hieman paremmin kuin peittaamattomalla siemenellä kylvetty sato. Tulos oli samansuuntainen molemmilla koelohkoilla. Molempien lohkojen näytealojen keskiarvoilla tarkasteltuna Mycostop-peitatulla siemenellä kylvetyn sadon terveiden porkkanoiden osuus varastoinnin jälkeen oli noin 10-painoprosenttiyksikköä suurempi kuin muiden käsittelyjen, joilla terveiden osuus oli 76–77 %. Prestop-ruiskutuksilla ei saatu kokeessamme parannettua varastointikestävyyttä kontrollikäsittelyyn (peittaamaton siemen, ei Prestop-kasvustokäsittelyjä) verrattuna.

Kasvukausi 2021 oli porkkanan viljelyssä haasteellinen. Kylvöt myöhästyivät keväällä sateiden ja pellon märkyyden vuoksi. Itäminen oli heikkoa ja taimikuolemia esiintyi koelohkolla paljon. Taimitiheyslaskentojen yhteydessä emme pystyneet havainnoimaan kuolleita taimia, koska rikkakasveja esiintyi runsaasti porkkanarivissä. Joka tapauksessa taimitiheydet olivat alhaiset joko huonon itävyyden tai taimikuolemien vuoksi molemmissa käsittelyissä. *Mycostop*-peitatulla siemenellä kylvetyssä kasvustossa taimitiheydet olivat hieman suuremmat, keskimäärin 48 tainta/rivimetri, kuin peittaamattomalla siemenellä kylvetyssä kasvustossa, keskimäärin 45 tainta/rivimetri. Lehtilaikkutautia (porkkanapolte) esiintyi runsaasti naatistossa molemmissa käsittelyissä sadonkorjuuvaiheessa. Satotaso jäi alhaiseksi molemmissa käsittelyissä, mutta peitatulla siemenellä kylvetystä kasvustosta saatiin noin 1 000 kg/ha enemmän satoa kuin peittaamattomalla siemenellä kylvetystä kasvustosta.

Vaikka maa oli porkkanoiden sadonkorjuuaikaan hyvin märkää ja porkkanat olivat ”keskenkasvuisia” ja kokovaihtelu oli suurta (Kuva 21), säilyivät molempien käsittelyjen porkkanat hyvin varastossa. Lähes kaikki porkkanat olivat terveitä käsittelystä riippumatta: molemmissa käsittelyissä terveiden porkkanoiden osuus oli 96,7 % neljän varastosäkin keskiarvona laskettuna. Porkkanoissa esiintyi vain vähäisiä kärkivioituksia sekä kuoppia ja koloja. Yhtään kantavioitusta tai yhtään mätää porkkanaa ei havaittu.

Kuva 21. Vuonna 2021 porkkanoiden kokovaihtelu oli suurta ja porkkanat olivat ”keskenkasvuisia” vielä sadonkorjuuvaiheessa. Kuva: Pirjo Kivijärvi

3.4.3. Tulosten tarkastelu

Porkkanan siemenen Mycostop-peittauksella pyrittiin vähentämään taimipoltteen aiheuttamia taimikuolemia. Vuonna 2020 emme kokeissa pystyneet osoittamaan Mycostop-peittauksen vaikutusta taimikuolleisuuteen. Seuraavana vuonna, jolloin kylvöolosuhteet olivat haasteelliset märkyyden vuoksi, saatiin Mycostop-peitatulla siemenellä hieman suuremmat taimitiheydet kuin peittaamattomalla siemenellä. Kasvuston käsittely Prestop-valmisteella vuonna 2020 ei vaikuttanut naatiston terveyteen, koska lehtilaikkutauteja ei esiintynyt muutoinkaan koelohkoilla. Käsittely ei myöskään vaikuttanut porkkanoiden varastokestävyyteen. Vuonna 2020 peitatulla siemenellä kylvettyjen kasvustojen porkkanoiden varastosäilyvyys oli parempi kuin muiden käsittelyjen, mutta vastaavaa ilmiötä ei havaittu seuraavana koevuonna, jolloin kaikkien porkkanoiden varastosäilyvyys oli erinomainen.

3.5. Sadonkorjuun jälkeisten mikrobikäsittelyjen vaikutus varastotauteihin

3.5.1. Toteutus

Sadonkorjuun jälkeisen mikrobikäsittelyn vaikutusta porkkanan varastotautien ilmenemiseen tutkittiin yhteistyössä Verderan kanssa. Kokeissa hyödynnettiin hyötymikrobivalmistetta, *Clonostachys rosea* (kanta J1446), jonka on aiemmin todettu hillitsevän mm. hedelmien pilaantumista varastoinnin aikana.

Koe toteutettiin kolmena syksynä hyödyntämällä viljelijöiltä saatuja, koneellisesti nostettuja porkkanoita tutkimusmateriaalina. Vuosina 2020 ja 2021 kokeessa oli kolme eri lohkoilla viljeltyä porkkanaerää, ja vuonna 2022 eriä oli neljä. Vuoden 2020 tutkimus oli osa Oona Jääskeläisen pro gradu -työtä Helsingin yliopistoon (Jääskeläinen 2022).

Käsittelyt tehtiin Luonnonvarakeskuksen Piikkiön toimipaikalla 1–2 päivää aiemmin nostetuille porkkanoille, joille mikrobisuspensio ruiskutettiin käsin. Kokeessa verratut käsittelyt ja mikrobisuspension käyttömäärät vaihtelivat hieman vuosittain (Taulukko 1). Vuonna 2020 ruiskutus tehtiin akkukäyttöisellä BioProffa-sumuttimella ja seuraavina vuosina käsikäyttöisellä sumupullolla (Kuva 22). Porkkanat asetettiin muovilla suojatulle pöydälle ja sumutettiin kevyesti mikrobisuspensiolla. 10 minuutin kuluttua sumutuksesta porkkanat käännettiin toiselle kyljelleen ja sumutettiin uudelleen toiselta puolelta. 10 minuutin kuluttua tästä porkkanat pakattiin varastosäkkeihin ja vietiin kylmävarastoon. Vuoden 2020 kokeessa jokaisessa säkissä oli vähintään 60 porkkanaa, joiden yhteispaino vaihteli 5,0 ja 7,8 kg:n välillä. Vuoden 2021 kokeessa jokaiseen säkkiin pakattiin 5 kg porkkanoita ja vuoden 2022 kokeessa 6 kg porkkanaa. Jokaisessa käsittelyssä oli vuosina 2020 ja 2021 yhteensä kahdeksan porkkanasäkkiä, joista neljä analysoitiin tammikuussa ja neljä maaliskuussa. Viimeisen vuoden kokeessa kussakin käsittelyssä oli 12 säkkiä.

Taulukko 1. Mikrobikäsittelykokeessa vertaillut käsittelyt eri vuosina. Mikrobivalmiste sisälsi *Clonostachys rosea* -mikrobia (kanta J1446).

2020	2021	2022
ei ruiskutusta	ei ruiskutusta	ei ruiskutusta
ruiskutus vedellä	ruiskutus mikrobivalmisteella, 9 g/1 000 kg porkkanoita	ruiskutus mikrobivalmisteella, 15 g/1 000 kg porkkanoita
ruiskutus mikrobivalmisteella, 10 g/1 000 kg porkkanoita	ruiskutus mikrobivalmisteella, 15 g/1 000 kg porkkanoita	-

Kuva 22. Porkkanoiden pinnalle sumutettiin mikrobisuspensiota, niiden annettiin kuivua hetki, ne käännettiin ja sumutettiin myös toiselta puolelta. Kuva Terhi Suojala-Ahlfors.

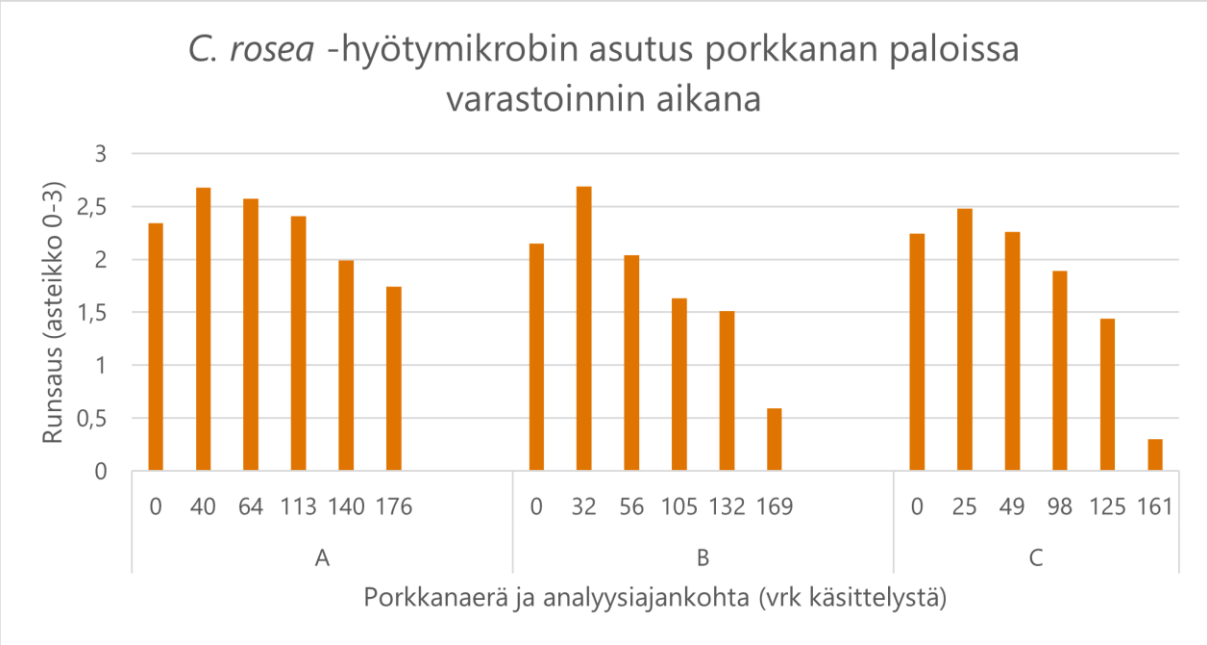
Porkkanat varastoitiin ja niiden säilyvyys analysoitiin kuten edellä on esitetty (luku 3.3.2.). Osasta porkkanoista tunnistettiin taudinaiheuttajat maljausmenetelmällä. Vuoden 2020 kokeessa tauteja tunnistettiin myös DNA-pohjaisilla menetelmillä (Jääskeläinen 2022), mutta näitä tuloksia ei esitetä tässä raportissa.

Lisäksi terveeksi havaituista porkkanoista otettiin näytteet hyötymikrobin elävyyden/säilyvyyden selvittämiseen. Ensimmäisen koevuoden aikana näytteitä otettiin heti mikrobikäsittelyn jälkeen ja neljä kertaa varastoinnin aikana. Muina koevuosina näytteet otettiin vain käsittelyn jälkeen ja varastoanalyysien yhteydessä. Hyötymikrobin säilyminen määritettiin Verderan laboratoriossa kasvattamalla porkkanasta otettuja näytepaloja vesiagarmaljoilla ja havainnoimalla stereomikroskoopin avulla *C. rosea* -sienen kasvua maljalla. Näytteitä otettiin vähintään 10 porkkanasta/käsittely ja jokaisesta porkkanasta laitettiin 10 näytepalaa (halkaisija 6 mm) kasvatusmaljalle. Hyötymikrobin runsaus arvioitiin 10 vuorokauden kuluttua silmävaraisesti asteikolla 0–3, jossa 0=ei lainkaan hyötymikrobia ja 3=runsaasti hyötymikrobia kasvatusmaljalla.

3.5.2. Tulokset

Hyötymikrobin säilyminen varastoinnin aikana

C. rosea -hyötymikrobi säilyi elinvoimaisena porkkanoiden pinnalla kylmävarastoinnin aikana koko varastointijakson ajan kaikissa tutkituissa porkkanaerissä. Syksyn 2020 kokeessa, jolloin elävyyttä seurattiin tiheimmin varastoinnin aikana, todettiin kuitenkin, että hyötymikrobin määrä väheni ja elinvoima heikkeni varastointikauden edetessä (Jääskeläinen 2022, Kuva 23). Sen sijaan vuosien 2021 ja 2022 kokeissa hyötymikrobiasutus jopa lisääntyi hieman varastointikauden aikana tammi- ja maaliskuun välillä.



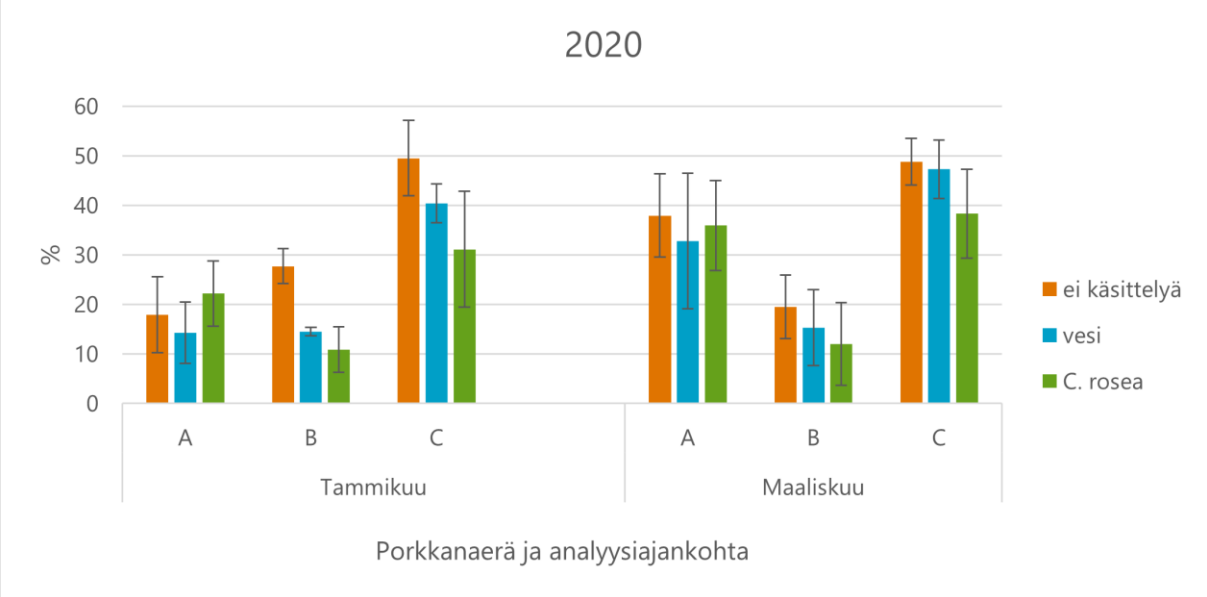
Kuva 23. Hyötymikrobin asutus porkkanan paloissa varastoinnin aikana kaudella 2020–2021. Hyötymikrobin esiintyminen on määritetty kasvattamalla porkkanan paloista kasvavia sieniä viljelyalustalla ja sen runsaus on arvioitu silmävaraisesti asteikolla 0–3 (0= ei lainkaan hyötymikrobia ja 3 = runsaasti hyötymikrobia kasvatusmaljalla).

Vaikutus varastohävikkiin

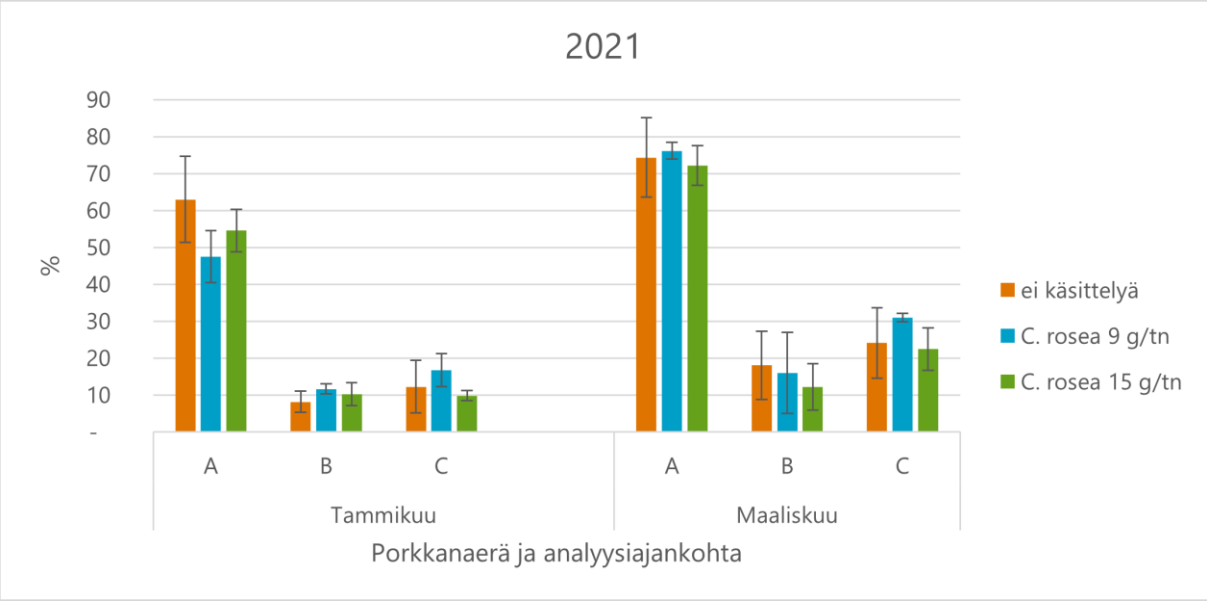
Kolmena vuonna tutkituissa porkkanaerissä (yhteensä 10 eri peltolohkoilta peräisin olevaa erää) varastohävikin suuruus vaihteli huomattavasti. Varastointikokeiden päättyessä maaliskuussa parhaissa erissä (3 erää) tautioireisia porkkanoita oli alle 10 % ja heikoimmassa erässä yli 70 % (prosenttiosuudet laskettu porkkanoiden kappalemääristä). Yleisin tautioire oli juuren kärjestä alkava pilaantuminen. Lisäksi kuoppaoireita esiintyi runsaasti. Yleisimpiä taudinaiheuttajia olivat harmaahome, mustamätä ja *Fusarium*-sienet. Vuoden 2020 erissä havaittiin myös *Cylindrocarpon*-sieniä.

C. rosea -valmiste vähensi varastotautien esiintymistä etenkin syksyllä 2020 aloitetussa kokeessa, jossa tammikuun analyysikerralla tautioireisten porkkanoiden osuus oli pienin mikrobikäsitellyissä porkkanoissa (Kuva 24). Vaikutus oli nähtävissä kahdessa tutkitussa porkkanaerässä kolmesta, mutta A-erässä ei havaittu eroja käsittelyiden välillä. Mikrobikäsittelyn vaikutus näkyi vielä maaliskuun analyysikerralla näissä porkkanaerissä, mutta se ei ollut tilastollisen analyysin mukaan merkitsevä.

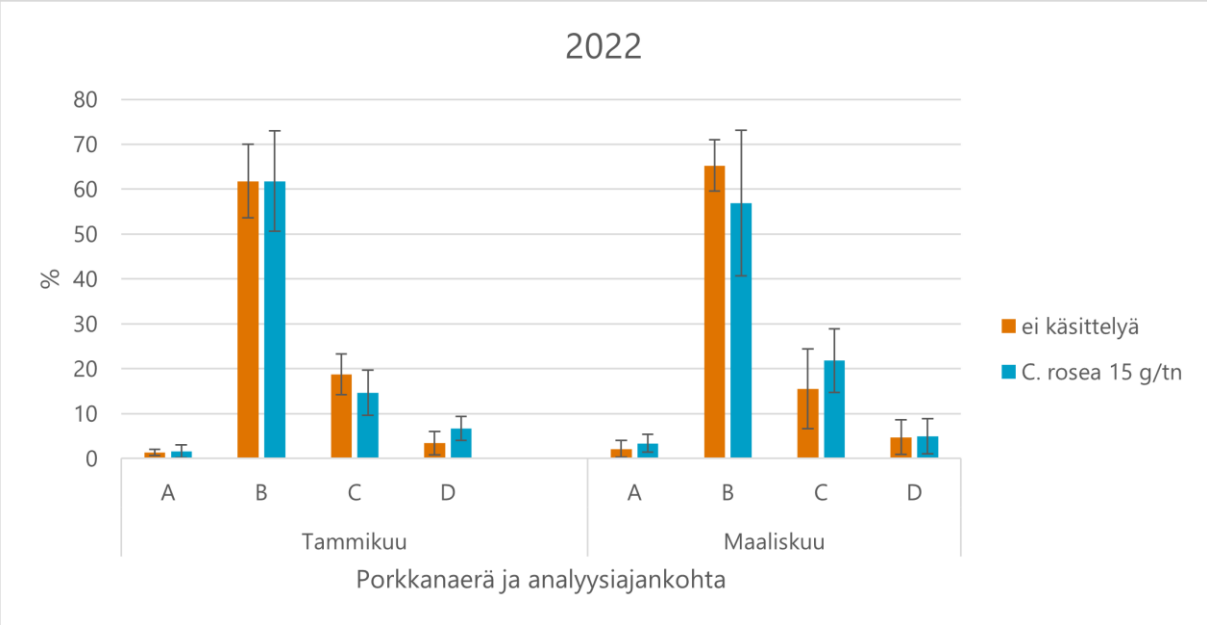
Seuraavien vuosien kokeissa mikrobikäsittelyillä oli pienempi vaikutus (Kuvat 25 ja 26). Vuonna 2021 ainoastaan A-erän näytteissä, joissa tautioireisten porkkanoiden osuus oli suuri jo tammikuussa, mikrobikäsittelyn saaneissa porkkanoissa oli vähemmän tauteja kuin käsittelemättömissä porkkanoissa. Maaliskuun analyysikerralla käsittelyillä ei havaittu vaikutuksia missään porkkanaerässä, kuten ei myöskään vuoden 2022 sadossa tammi- tai maaliskuun analyysikerroilla.



Kuva 24. Tautioireisten porkkanoiden osuus (kpl-%) vuoden 2020 kokeessa. Pylväät esittävät neljän säkin keskiarvon ja virhejana kuvaa säkkien välistä keskihajontaa (n=4).



Kuva 25. Tautioireisten porkkanoiden (kpl-%) v. 2021 kokeessa. Pylväät esittävät neljän säkin keskiarvon ja virhejana kuvaa säkkien välistä keskihajontaa (n=4).



Kuva 26. Tautioireisten porkkanoiden (kpl-%) v. 2022 kokeessa. Pylväät esittävät kuuden säkin keskiarvon ja virhejana kuvaa säkkien välistä keskihajontaa (n=6).

3.5.3. Tulosten tarkastelu

Sadonkorjuun jälkeen tehty porkkanoiden käsittely hyötymikrobivalmisteella vaikutti positiivisesti porkkanoiden säilyvyyteen joissain erissä, ja vaikutus tuli esiin lähinnä ensimmäisellä analyysikerralla eli noin 3,5 kuukauden varastoinnin jälkeen. Toisella analyysikerralla, kaksi kuukautta myöhemmin ei mikrobikäsittelyllä havaittu enää olleen tilastollisesti merkitsevää vaikutusta yhdessäkään tutkituista eristä. Osassa tutkituista eristä varastotauteja esiintyi niin vähän, ettei valmisteen tehokkuudesta ollut mahdollista saada luotettavia tuloksia. Muutamissa erissä tautisaastuntaa esiintyi poikkeuksellisen runsaasti, jolloin biologisen torjunnan teho ei ollut riittävä, ainakaan tutkituilla käyttömäärillä.

Käytännön varastoinnin kannalta hyvä tulos oli se, että hyötymikrobivalmisteen todettiin säilyneen elinkelpoisena porkkanoiden pinnalla kylmävarastoinnin aikana. Aiemmissa tutkimuksissa (Gimeno ym. 2021) on todettu, että *C. rosea* -sieni säilyy elinkykyisenä jopa kahden vuoden ajan 5 °C:n varastolämpötilassa, mutta tuloksia lähellä nollaa olevista varastolämpötiloista ei aiemmin ole saatu.

Käytetty mikrobisuspension määrä oli sen verran pieni, että käsittely olisi todennäköisesti mahdollista toteuttaa sadonkorjuun yhteydessä, mutta tämä vaatisi sopivan sumutustekniikan kehittämistä. Torjuntateho ei näiden kokeiden perusteella kuitenkaan vaikuttanut testatuilla käyttömäärillä niin hyvältä, että mikrobivalmisteen laajamittaista käyttöä porkkanan varastotautien hallinnassa voisi vielä sellaisenaan suositella. Jatkossa olisi tarpeen tutkia mikrobivalmisteen sopivia käyttömääriä, torjuntaruiskutusten toteuttamista käytännön sadonkorjuussa sekä torjuntatehoa kaupallisen mittakaavan varastoinnissa.

3.6. Puuperäiset yhdisteet porkkanan tautimikrobien torjunnassa

Laboratoriokokeissa testattiin havupuiden luontaisten sekundääriyhdisteiden di- ja triterpeenien (beta-sitosteroli, abietiinihappo, kolofoni) tehoa porkkanan varastotautimikrobien torjunnassa. Testattavat porkkanasta eristetyt tautimikrobit olivat kotelosieniä; *Fusarium avenaceum*, *F. sambucinum, Botrytis cinerea, Cylindrocarpon sp., Mycocentrospora ace*rina ja *Alternaria* sp. Tehoa verrattiin fosetyyli-alumiini-fungisidiin (Aliette 80WG). Sienistä mitattiin kasvu ravintoalustalla sekä rihmaston ergosteroli- ja stressiyhdisteiden (lipidien peroksidaatio) pitoisuus.

Tulokset osoittivat, että terpeenit tehosivat fungisidiä paremmin *M. acerin*a- ja *B. cinerea*-sieniin. *F. sambucinum*- ja *Cylindrocarpon*-sieniin puuyhdisteiden vaikutus oli samanlainen kuin fungisidillä. *Fusarium*-kantoihin terpeenit vaikuttivat heikommin kuin fungisidit ja *Alternari*a-sienen kasvuun eivät terpeenit tehonneet (Adamzcyk ym. 2023). Tutkimus osoittaa, että puuperäiset biosidit voivat olla lupaava uusi biopohjainen torjunta-aine kasvitautien hallintaan.

4. Johtopäätökset: biologisten torjunta-menetelmien hyödyntämismahdollisuudet tulevaisuudessa

Anne Nissinen, Taina Pennanen ja Terhi Suojala-Ahlfors

[1] Luonnonvarakeskus, Juntintie 154, 77600 Suonenjoki
[2] Luonnonvarakeskus, Latokartanonkaari 9, 00790 Helsinki
[3] Luonnonvarakeskus, Toivonlinnantie 518, 21500 Piikkiö

Biologiset torjuntaeliöt petohyönteiset tai entomopatogeeninen sieni eivät estä aikuisten porkkanakemppien syöntiä. Aikuisten porkkanakemppien imentävioitus tapahtuu nopeasti ja johtaa muutamassa päivässä porkkana juuren painon alenemiseen. Biologiset torjuntakeinot eivät siten ole tehokkaita akuuttiin porkkanakempin torjuntaan. Niiden merkitys voisi olla porkkanakempin kantojen kasvun ehkäisyssä pienillä pinta-aloilla, esimerkiksi tilanteessa, jossa suurin osa porkkanoista on verkon alla, mutta verkkojen ulkopuolelle jäävillä lohkojen reuna-alueilla voisi kehittyä uusi talvehtiva sukupolvi. Samoin biologisilla torjuntamenetelmillä voisi olla merkitystä porkkanakemppikantojen kasvun ehkäisyssä luomutiloilla, joilla porkkanakemppikanta ei ole vielä suuri, eikä tila sijaitse porkkananviljelykeskittymässä, jossa tilan ulkopuolinen kemppiaine on jatkuva. Biologisten torjuntaeliöiden levitysmäärien suositukset perustuvat käyttöön kasvihuoneissa, joissa sadon arvo on korkeampi tai satoa voidaan saada ympäri vuoden samalta pinta-alalta. Tällöin peltomittakaavassa niiden levitys on vielä liian kallista suhteessa sadon arvoon. Harsokorentoja on torjuntaeliöinä saatavana kaupallisesti myös munina, jotka ovat edullisempia. Niiden käyttö vaatisi kuitenkin tarkempaa tutkimusta.

Tutkimuksessa pyrimme selvittämään kaupallisessa porkkanan tuotannossa olevien peltolohkojen maaperäolosuhteiden ja maaperän mikrobien merkitystä porkkanan varastotautien esiintymiselle. Peltolohkot erosivat toisistaan suuresti sekä maaperän kemiallisten ominaisuuksien että maan mikrobiston suhteen, mikä osoittaa sen, että paikalliset maaperäolosuhteet vaikuttavat suuresti pellon mikrobistoon. Maaperäominaisuuksien vaihteluun vaikuttavat myös pellon aiemmat viljelymenetelmät ja -toimet, mutta yksittäisten viljelymenetelmien merkitystä on tästä aineistosta vaikea erotella. Tutkimus kuitenkin tuotti tuloksen siitä, että maaperän ominaisuuksilla oli melko pieni suora vaikutus porkkanan säilymiselle ja niiden merkitys saattaakin ilmetä mikrobistovaikutusten kautta.

Mikrobiston ominaisuuksista varastotautien välttämiseksi nousi esiin mikrobien, etenkin sienten, monimuotoisuus. Porkkanasadon säilyvyyteen assosioituivat lukuisat hyödylliset bakteeri- ja sieniryhmät, mm. *Metarhizium*-suvun sienet, joiden suoraa vaikutusta porkkanan kasvuun tässä hankkeessa jo tutkittiin, kohtuullisen lupaavin tuloksin. Maaperän mikrobistoa on mahdollista muokata viljelymenetelmien avulla (mm. Peltoniemi ym. 2021) ja siten tulokset avaavat mahdollisuuden kehittää viljelymenetelmiä siten, että niillä pyritään kohti tässä tutkimuksessa tunnistettua, kasvinterveyttä edistävää mikrobistorakennetta.

Kaupallisesti saatavilla olevien mikrobivalmisteiden tehokkuutta porkkanan tautien hallinnassa tutkittiin tilakokeissa (siementen peittaus, kasvustokäsittely) sekä sadonkorjuun jälkeisissä käsittelykokeissa. Tulokset osoittavat, että joissain tilanteissa voidaan näillä käsittelyillä vähentää varastotautien aiheuttamia tappioita: esimerkiksi vuonna 2020 tilakokeessa

siementen Mycostop-peittaus vähensi varastotappioita. Seuraavan vuoden kokeissa sadon säilyvyys oli hyvä siementen peittauksesta riippumatta ja tauteja esiintyi hyvin vähän. Kasvukauden aikaisilla käsittelyillä ei havaittu vaikutuksia varastotauteihin, mutta koe toteutettiin ainoastaan yhtenä kasvukautena. Sadonkorjuun jälkeinen mikrobikäsittely *Clonostachys rosea* (J1446) -sientä sisältävällä valmisteella vähensi tauteja joissain erissä etenkin lyhytaikaisessa varastoinnissa, mutta varastointiajan pidentyessä käsittelyiden vaikutus jäi vähäiseksi.

Jatkossa on tarpeen jatkaa tutkimusta viljelymenetelmien vaikutuksista peltomaan mikrobistoon, esimerkiksi miten voidaan lisätä tässä tutkimuksessa löytyneitä, varastotautien hallinnan kannalta hyödyllisiä mikrobilajeja ja erityisesti miten lisätä sienten monimuotoisuutta peltomaissa. Viljelymenetelmien räätälöinti erilaisille maaperille voi olla tarpeen, koska pellot ovat ominaisuuksiltaan ja mikrobistoltaan erilaisia. Myös biologisen torjunnan tehokkuutta ja käytettävyyttä eri olosuhteissa on syytä tutkia edelleen.

Viitteet

Adamczyk, S., Latvala, S., Poimala, A., Adamczyk, B., Hytönen, T. & Pennanen, T. 2023. Diterpenes and triterpenes show potential as biocides against pathogenic fungi and oomycetes: a screening study. Biotechnology Letters 45: 1555–1563. DOI: 10.1007/s10529-023-03438-z

Anslan, S., Bahram, M., Hiiesalu, I. & Tedersoo, L. 2017. PipeCraft: Flexible open-source toolkit for bioinformatics analysis of custom high throughput amplicon sequencing data. Molecular Ecology Resources 17: e234–240. DOI: 10.1111/1755-0998.12692

Biryol, S., Güney, E., Eski, A., Bayramoğlu, Z., Sezen, K, Demirbag, Z. & Demir, İ. 2021. Development of mycoinsecticide formulations with *Beauveria bassiana* and *Metarhizium brunneum* for the control of *Orosanga japonica* (Hemiptera: Ricaniidae). Annals of Applied Biology 179: 319–330. https://doi.org/10.1111/aab.12699

Bucher, R., Binz, H., Menzel, F. & Entling, M. H. 2014. Spider cues stimulate feeding, weight gain and survival of crickets. Ecological Entomology 39: 667–673.

Chen, L, Reeve, J., Zhang, L., Huang, S., Wang, X. & Chen, J. 2018. GMPR: A robust normalization method for zero-inflated count data with application to microbiome sequencing data. PeerJ 6: e4600. https://doi.org/10.7717/peerj.4600.

Dubrovsky, S. & Fabritius, A.L. 2007. Occurrence of *Cylindrocarpon* spp. in nursery grapevine in California. Phytopathologia Mediterranea 46: 84–86.

Gimeno, A., Leimgruber, M., Kägi, A., Jenny, E. & Vogelgsang, S. 2021. UV protection and shelf life of the biological control agent Clonostachys rosea against Fusarium graminearum. Biological Control 158: 104600. https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2021.104600

Hannukkala, A., Jaakkola, S., Latvala, S., Kivijärvi, P., Suojala-Ahlfors, T., Inkeroinen, H., Kallela, M. & Tuononen, M. 2020. Porkkanan varastotautien aiheuttajat Suomessa. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 15/2020. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 32 s. http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-926-2

Hawlena, D. & Schmitz, O.J. 2010. Herbivore physiological response to predation risk and implications for ecosystem nutrient dynamics. Proceedings of the National Academy of Sciences 107: 15503–15507.

Hermansen, A., Wanner, L., Naerstad, R. & Klemsdal, S.S. 2012. Detection and prediction of post harvest carrot diseases. European Journal of Plant Pathology 133: 211−228

Jerinic-Prodanovic, D. & Protić, L. 2013. True bugs (Hemiptera, Heteroptera) as psyllid predators (Hemiptera, Psylloidea). ZooKeys 319: 169–189.

Jääskeläinen, O. 2022. Porkkanan varastotaudit ja niiden torjunta *Clonostachys rosea* -sienen avulla. Helsingin yliopisto. Maataloustieteiden osasto. Maisterintutkielma. 50 s. http://urn.fi/URN:NBN:fi:hulib-202204051608

Kaakko, E. 2022. Porkkanakempin hallinta biologisen torjunnan menetelmillä. Helsingin yliopisto, Maatalous-metsätieteellinen tiedekunta. Maisterintutkielma. 43 s. http://urn.fi/URN:NBN:fi:hulib-202212134053

Kastelein, P., Stilma, E.S.C., Elderson, J. & Köhl, J. 2007. Occurrence of *Rhexocercosporidium carotae* on cold stored carrot roots in the Netherlands. European Journal of Plant Pathology 117: 293–305.

Kõljalg, U., Nilsson, R.H., Abarenkov, K., Tedersoo, L., Taylor, A.F.S., Bahram, M., Bates, S.T., Bruns, T.D., Bengtsson-Palme, J., Callaghan, T.M., Douglas, B., Drenkhan, T., Eberhardt, U., Dueñas, M., Grebenc, T., Griffith, G.W., Hartmann, M., Kirk, P.M., Kohout, P., Larsson, E., Lindahl, B.D., Lücking, R., Martín, M.P., Matheny, P.B., Nguyen, N.H., Niskanen, T., Oja, J., Peay, K.G., Peintner, U., Peterson, M., Põldmaa, K., Saag, L., Saar, I., Schüßler, A., Scott, J.A., Senés, C., Smith, M.E., Suija, A., Taylor, D.L., Telleria, M.T., Weiss, M. & Larsson, K.-H. 2013. Towards a unified paradigm for sequence-based identification of fungi. Molecular Ecology 22: 5271–5277. https://doi.org/10.1111/mec.12481.

Krell, V., Unger, S., Jakobs-Schoenwandt, D. & Patel, A.V. 2018. Endophytic *Metarhizium brunneum* mitigates nutrient deficits in potato and improves plant productivity and vitality. Fungal Ecology 34: 43–49.

Kuststacher, P., Zachow, C., Harms, K., Maier, J., Eigner, H., Berg, G. & Cernava, T. 2019. Microbiome-driven identification of microbial indicators for postharvest diseases of sugar beets. Microbiome 7: 112. https://doi.org/10.1186/s40168-019-0728-0

Láska, P. 1974. Studie über den Möhrenblattfloh (*Trioza apicalis* Först.) (Triozidae, Homoptera). Acta scientiarum naturalium Academiae scientiarum bohemoslovacae Brno 8: 144.

Lehtonen, I., Ruosteenoja, K. & Jylhä, K. 2014. Projected changes in European extreme precipitation indices on the basis of global and regional climate model ensembles. International journal of climatology 34: 1208–1222.

Mishra, P.K., Fox, R.T.V. & Culham, A. 2003. Development of a PCR-based assay for rapid and reliable identification of pathogenic Fusaria. FEMS Microbiology Letters 218: 329−332.

Mukula, J. 1957. On the decay of stored carrots in Finland. Acta Agriculturae Scandinaviae, Suppl. 2. 132 p.

Nehlin, G., Valterová, I. & Borg-Karlson, A.K. 1994. Use of conifer volatiles to reduce injury caused by carrot psyllid, *Trioza apicalis*, Förster (Homoptera, Psylloidea). Journal of Chemical Ecology 20: 771–783.

Nguyen, N.H., Song, Z., Bates, S.T., Branco, S., Tedersoo, L., Menke, J., Schilling, J.S. & Kennedy, P.G. 2016. FUNGuild: An open annotation tool for parsing fungal community datasets by ecological guild. Fungal Ecology 20: 241-248. https://doi.org/10.1016/j.funeco.2015.06.006

Nilsson, R.H., Larsson, K.-H., Taylor, A.F.S., Bengtsson-Palme, J., Jeppesen, T.S., Schigel, D., Kennedy, P., Picard, K., Glöckner, F.O., Tedersoo, L., Saar, I., Kõljalg, U. & Abarenkov, K. 2018. The UNITE database for molecular identification of fungi: handling dark taxa and parallel taxonomic classifications. DOI: 10.1093/nar/gky1022

Nissinen, A. 2008. Towards ecological control of carrot psyllid (*Trioza apicalis*). Kuopion yliopiston julkaisuja C. Luonnontieteet ja ympäristötieteet 225: 128 p. Academic Dissertation. Kuopion yliopisto.

Nissinen, A.I., Pihlava, J.-M., Latvala, S. & Jauhiainen, L. 2020. Assessment of the efficiency of different control programs to reduce *Trioza apicalis* Först. (Triozidae: Hemiptera) feeding damage and the spread of "*Candidatus* Liberibacter solanacearum" on carrots (Daucus carota ssp. sativus L.). Annals of Applied Biology 177: 166–177.

Nissinen, A., Vanhala, P., Holopainen, J.K. & Tiilikkala, K. 2007. Short feeding period of carrot psyllid (*Trioza apicalis*) females at early growth stages of carrot reduces yield and causes leaf discolouration. Entomologia Experimentalis et Applicata 125: 277–283.

Parikka, P. 2008. Porkkanan taudit. Teoksessa: Vanhala, P. (toim.) 2008. Porkkanan kuluttajalaadun parantaminen. Maa- ja elintarviketalous 128. s. 48–54. http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-487-185-3

Pavón, M.Á., González, I., Pegels, N., Martín R. & García T. 2010. PCR detection and identification of *Alternaria* species-groups in processed foods based on the genetic marker Alt a 1. Food Control 21: 1745–1756.

Peltoniemi, K., Velmala, S.M., Fritze, H., Lemola, R. & Pennanen, T. 2021. Long-term impacts of organic and conventional farming on the soil microbiome in boreal arable soil. European Journal of Soil Biology 104: 103314

Quast, C., Pruesse, E., Yilmaz, P., Gerken, J., Schweer, T., Yarza, P., Peplies, J. &, Glöckner, F.O. 2013. The SILVA ribosomal RNA gene database project: improved data processing and web-based tools. Nucleic Acids Research 41: D590-D596. https://doi.org/10.1093/nar/gks1219

Raaijimakers, J.M. & Mazzola, M. 2016. Soil immune responses. Science 352: 1392–1393.

R Core Team 2022. R: A Language and Environment for Statistical Computing. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing. https://www.R-project.org

Reinbacher, L., Bacher, S., Knecht, F., Schweizer, C., Sostizzo, T. & Grabenweger, G. 2021. Preventive field application of *Metarhizium brunneum* in cover crops for wireworm control. Crop Protection 150: 105811.

Rendon, D., Whitehouse, M.E. & Taylor, P.W. 2016. Consumptive and non-consumptive effects of wolf spiders on cotton bollworms. Entomologia Experimentalis et Applicata 158: 170–183.

Ridout, M. & Newcombe, G. 2016. Disease suppression in winter wheat from novel symbiosis with forest fungi. Fungal Ecology 20: 40–48.

Rigotti, S., Viret, O. & Gindro, K. 2006. Two new primers highly specific for the detection of Botrytis cinerea Pers. Fr. Phytopathologia Mediterranea 45: 253–260.

Sullivan, C.F., Parker, B.L. & Skinner, M. 2022. A Review of Commercial *Metarhizium*- and *Beauveria*-Based Biopesticides for the Biological Control of Ticks in the USA. Insects, 13: 260. https://doi.org/10.3390/insects13030260

Suojala, T. 1999. Effect of harvest time on the storage performance of carrot. Journal of Horticultural Science & Biotechnology 74: 484–492.

Suojala-Ahlfors, T. & Laamanen, T.-L. 2014. Effect of calcium amendment on the calcium content and storage quality of carrot (*Daucus carota* L.). European Journal of Horticulture 79: 278–282.

Tahvonen, R. 1985. The prevention of Botrytis cinerea and Sclerotinia sclerotiorum on carrots during storage by spraying the tops with fungicide before harvesting. Annales Agriculturae Fenniae 24: 89–95.

Tahvonen, R. 1989. Porkkanan taudit ongelmana. Koetoiminta ja Käytäntö 46: 7 (28.2.1989)

Tewoldemedhin, Y.T., Mazzola, M., Mostert, L. & McLeod, A. 2011. *Cylindrocarpon* species associated with apple tree roots in South Africa and their quantification using real-time PCR. European Journal of Plant Pathology, 129: 637–651.

Vanhala, P., Kallela, M., Pitkänen, T. & Suojala-Ahlfors, T. 2008. Porkkanan varastokestävyys ja viljelytekijät. Teoksessa Vanhala, P. (toim.). Porkkanan kuluttajalaadun parantaminen. Maa- ja elintarviketalous 128: 36–47. Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus. ISBN 978-952-487-185-3. http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-487-185-3

Årsvoll, K. 1969**.** Pathogens on carrots in Norway. *Meldinger fra Norges landbrukshegskole* 48(2):52.

Luke
LUONNONVARAKESKUS

Löydät meidät verkosta

luke.fi

Luonnonvarakeskus (Luke) Latokartanonkaari 9, 00790 Helsinki