



Luonnonvara- ja
biotalouden
tutkimus 15/2020

Porkkanan varastotautien aiheuttajat Suomessa

Asko Hannukkala, Sirkka Jaakkola, Satu Latvala, Pirjo Kivijärvi, Terhi Suojala-Ahlfors, Heikki Inkeroinen, Marja Kallela ja Marja Tuononen

Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 15/2020

Porkkanan varastotautien aiheuttajat Suomessa

Asko Hannukkala, Sirkka Jaakkola, Satu Latvala, Pirjo Kivijärvi, Terhi Suojala-
Ahlfors, Heikki Inkeroinen, Marja Kallela ja Marja Tuononen

Luonnonvarakeskus, Helsinki 2020



Euroopan maaseudun
kehittämisen maatalousrahasto:
Eurooppa investoi maaseutualueisiin



Elinkeino-, liikenne- ja
ympäristökeskus



HAMK
HAMEEN AMMATTIKORKEAKOULU
HÄME UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Viittausohje:

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.



ISBN 978-952-326-920-0 (Painettu)

ISBN 978-952-326-926-2 (Verkkajulkaisu)

ISSN 2342-7647 (Painettu)

ISSN 2342-7639 (Verkkajulkaisu)

URN <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-926-2>

Copyright: Luonnonvarakeskus (Luke)

Kirjoittajat: Asko Hannukkala, Sirkka Jaakkola, Satu Latvala, Pirjo Kivijärvi, Terhi Suojala-Ahlfors, Heikki Inkeroinen, Marja Kallela & Marja Tuononen

Julkaisija ja kustantaja: Luonnonvarakeskus (Luke), Helsinki 2020

Julkaisuvuosi: 2020

Kannen kuva: Asko Hannukkala

Painopaikka ja julkaisumyynti: PunaMusta Oy, <http://luke.juvenesprint.fi>

Tiivistelmä

Asko Hannukkala¹, Sirkka Jaakkola², Satu Latvala¹, Pirjo Kivijärvi¹, Terhi Suojala-Ahlfors¹, Heikki Inkeroinen³, Marja Kallela⁴ ja Marja Tuononen⁵

¹Luonnonvarakeskus, Tietotie 4, 31600 Jokioinen; Lönnrotinkatu 7, 50100 Mikkeli; Itäinen Pitkäkatu 4 A, 20520 Turku

²Hämeen ammattikorkeakoulu, Lepaantie 129, 14610 Lepaa

³ProAgria Itä-Suomi, Puijonkatu 14, 70111 Kuopio

⁴ProAgria Etelä-Suomi, Vanajantie 10 B, 13110 Hämeenlinna

⁵ProAgria Länsi-Suomi, Itsenäisyydenkatu 35 A, 28130 Pori

Varastotaudit aiheuttavat merkittäviä taloudellisia tappioita porkkanan tuotantoketjussa. Kattavaa kartoitusta varastohävikkiä aiheuttavista mikrobeista ei ole Suomessa tehty vuosikymmeniin. Ilmaston muuttuessa on todennäköistä, että taudinaiheuttajalajisto muuttuu ja tautien hallintakeinoja on tarkennettava. Tämän tutkimuksen tavoitteena oli selvittää porkkanaa pilaavien taudinaiheuttajien lajistossa tapahtuneet muutokset ja varastohävikin määrä. Lisäksi pyrittiin arvioimaan viljelykierron, esi-kasvien valinnan ja pellon rikkakasvillisuuden vaikutusta varastotauteihin. Tutkimus oli osa Resurssitehokas vihannestuotanto -hanketta, jota rahoitti Euroopan maaseuturahasto ELY-keskusten kautta.

Tutkimus toteutettiin keräämällä porkkananäytteitä Varsinais-Suomesta, Hämeestä, Etelä-Savosta ja Pohjois-Savosta yhteensä 52 peltolohkolta kasvukausina 2016–2018. Näytteet jaettiin tautiennuste- ja varastoeriin (8 kg/erä). Ennustenäytteitä pidettiin kuusi viikkoa 10 °C:n lämpötilassa. Varastonäytteet (6 kpl/peltolohko) vietiin kylmävarastoon 0–1 °C:n lämpötilaan ja niiden hävikki tarkistettiin kolme kertaa joulukuusta maaliskuussa. Tautien vioittamista porkkanoista analysoitiin sienitaudit maljalla ja osasta näytteitä myös PCR-menetelmällä.

Keskimääräinen tautien aiheuttama varastohävikki oli maaliskuussa tyypillisesti 15–25 % varastoon viedystä sadosta. Yksittäisten erien välillä oli suurta vaihtelua hävikissä: parhaissa erissä hävikki oli enimmillään 10 %, heikoimmissa erissä 40–50 %. Yleisin viotus porkkanoissa oli juuren kärkiosasta alkava pehmeneminen tai mätäneminen. Oireiden ilmiasu kuitenkin vaihteli suuresti. Juuren kärjistä alkaneista vioituksista löytyi yleisimmin *Mycocentrospora*-, *Botrytis*- ja *Fusarium*-lajeja. Ennuste- ja joulukuun erissä esiintyi tyypillisesti *Fusarium*-sieniä, ja vuodenvaihteen yli varastoitessa *Botrytis*- ja *Mycocentrospora*-lajit runsastuivat. Porkkanoissa esiintyi myös kantaosasta alkavaa mustaa mätää ja erilaisia kuoppia ja koloja porkkanoiden kyljissä. Muutamia yksittäisiä eriä lukuun ottamatta näiden vioitusten osuus oli hyvin pieni suhteessa juurten kärjestä alkavaan pilaantumiseen.

PCR-menetelmällä saatiin etenkin *Mycocentrospora*- ja *Fusarium*-lajit esiin varmemmin kuin maljausmenetelmällä. PCR-testit paljastivat myös, että useissa näytteissä esiintyi sekä harmaahometta että mustamätää. Tulokset osoittivat, että aiempiin tutkimukseen verrattuna harmaahometta ja etenkin pakkahometta esiintyi aineistossa vähemmän ja *Fusarium*-sieniä aiempaa enemmän.

Intensiivisissä viljelykiirroissa, jossa porkkanaa oli viljelty joko edellisenä tai sitä edeltävänä kasvukautena samalla lohkolta, varastohävikki oli kaksinkertainen verrattuna peltolohkoihin, joilla ei ollut viljelty porkkanaa edellisinä vuosina. Toinen varastohävikkiin selvästi vaikuttanut seikka oli noston ajoittuminen: varhain nostetuissa erissä varastotappiot olivat lähes kaksinkertaiset verrattuna myöhään nostettuihin eriin. Maalajin, maan happamuuden tai pellon ravinnetilan ei havaittu vaikuttaneen selvästi säilyvyyteen tässä aineistossa.

Asiasanat: porkkana, varastointi, varastotaudit, viljelykierto

Sisällys

1. Johdanto	5
2. Tutkimusaineisto	8
2.1. Näytteiden kerääminen ja porkkanalohkojen kuvaus	8
2.2. Säätietoja koevuosilta	9
2.3. Porkkananäytteiden käsittely ja varastointi	10
2.4. Tautinäytteiden analysointi	11
2.4.1. Vioitusten luokittelu.....	11
2.4.2. Sienimääritykset.....	12
2.5. Uusien analyysimenetelmien käyttö.....	12
3. Tulokset	14
3.1. Varastohävikit eri vuosina.....	14
3.2. Varastotautien pilaama osuus eri vuosina ja eri porkkanaerissä.....	14
3.3. Oiretyypit ja niissä esiintyneet sienilajit	17
3.4. Uudet menetelmät.....	21
3.5. Rikkakasvit porkkanapelloilla	23
3.6. Taustatekijöiden yhteys varastotautien esiintymiseen	24
4. Tulosten tarkastelu ja johtopäätökset	27
Viitteet	31

1. Johdanto

Varastotaudit aiheuttavat merkittävää hävikkiä ja taloudellista menetystä suomalaisessa porkkanan tuotannossa. Hävikin suuruus vaihtelee vuosittain ja peltolohkojen välillä.

Vanhalan ym. (2008) tutkimuksessa tarkasteltiin 24–26 porkkanaerän säilyvyyttä MTT:n varastossa vuosina 2005 ja 2006. Tammikuussa tautioireisten porkkanoiden osuus oli keskimäärin 23–25 % ja maaliskuussa 25–36 %. Vaihtelu eri lohkoilta peräisin olleiden erien välillä oli valtavaa, sillä pilaantuneiden porkkanoiden osuus saattoi vaihdella lähes 0 ja 100 %:n välillä. Samansuuntaisia tuloksia saatiin vuosina 2009 ja 2010 tehdyissä Tuovi-hankkeen porkkanakokeissa (Lehto ym. 2013).

Viljelijät itse ovat arvioineet hävikin suuruutta eri selvityksissä. Luomuvihannestiloilla tehdyissä haastatteluissa luomuporkkanan tuottajat arvioivat hävikin suuruudeksi 10–50 % (Iivonen ym. 2014). Kyselytutkimuksessa porkkanan viljelijät arvioivat sivuvirran määräksi keskimäärin 26 % (Hartikainen ym. 2017). Viljelijöiden arvioimaan määrään sisältyvät myös muut hävikin aiheuttajat kuin varastotaudit.

Porkkanan varastotautien aiheuttajia on tutkittu Suomessa ensimmäisen kerran laajemmin Mukulan (1957) tautikartoituksessa, jossa varastotautien aiheuttajiksi todettiin harmaahome (*Botrytis cinerea* Pers. ex Fr.) ja pahkahome (*Sclerotinia sclerotiorum* (Lib.) de Bary) (Kuva 1). Mustamätää ei tuolloin vielä mainittu porkkanan varastotautina.

Tahvosen (1985) tutkimuksissa vuosien 1977–1982 porkkanasatoa pilasi yleisimmin harmaahome. Pahkahometta oli runsaasti joinakin vuosina, mutta toisina sitä ei esiintynyt lainkaan. Lisäksi mustamätää löytyi satunnaisesti alle 5 %:ssa porkkanoita. Mustamädän vioittamissa porkkanoissa esiintyi pääasiassa *Mycocentrospora acerina* (Hartig) Deighton -sientä ja satunnaisesti *Fusarium*-, *Stemphylium*- ja *Phoma*-lajeja.



Kuva 1. Harmaahome (vasemmalla) ja pahkahome (oikealla) ovat olleet pahimmat porkkanan varastotaudit jo 1950-luvulta alkaen Suomessa. Kuvat Asko Hannukkala.

Tahvosen (1989) mukaan *M. acerina* -sienen aiheuttama mustamätä yleistyi etenkin 1980-luvulla. Suojalan (2000) tutkimuksissa yleisimpiä varastotauteja olivat oireiden perusteella mustamätä ja harmaahome, joiden runsaus vaihteli vuosittain.

Parikan (2008) mukaan mustamätä oli tärkein varastotautien aiheuttaja vuodenvaihteen yli säilytettävässä porkkanassa, mutta myös harmaahome ja pahkahome voivat aiheuttaa merkittäviä varastotappioita. Parikan (2008) tutkimuksissa mustamädän esiintymistä ja porkkanan säilyvyyttä varastossa

voitiin ennakoida varastotestillä, jossa porkkanoita säilytettiin 10 °C:n lämpötilassa kuuden viikon ajan noston jälkeen.

Harmaahometta (*Botrytis cinerea*) pidetään maailmanlaajuisesti merkittävimpänä porkkanan varastotautina etenkin sateisten kesien jälkeen. Taudinaiheuttaja on hyvin moni-isäntäinen, ja se pystyy kasvamaan ja lisääntymään myös erilaisissa satojätteissä. Terveet vioittumattomat porkkanat ovat heti noston jälkeen hyvin vastustuskykyisiä taudille, mutta varastoinnin aikana porkkanoiden vastustuskyky heikkenee. Porkkanat saavat harmaahometartunnan usein nostovaiheessa syntyvien kolhujen ja haavojen kautta. Taudinaiheuttaja voi tunkeutua porkkanaan myös naattien poistamisessa syntyvistä haavoista. Varastossa harmaahome pystyy tuottamaan tautia levittäviä itiöitä jopa 0 °C:n lämpötilassa, ja varastokauden pidetessä tauti leviää helposti porkkanasta toiseen. Nestejännityksen aleneminen (nahistuminen) altistaa porkkanat harmaahometartunnalle. Tauti alkaa usein hennosta juuren kärkiosasta, koska hyvässäkin varastossa tämä nahistuu herkästi (Snowdon 1992).

Pahkahome (*Sclerotinia sclerotiorum*) on myös maailmanlaajuisesti merkittävä porkkanaa pilaava tauti erityisesti runsassateisilla seuduilla. Pahkahomeellakin on hyvin laaja isäntäkasvivalikoima. Suomessa sitä esiintyy sadekesinä monilla avomaanvihanneksilla, perunalla, palkokasveilla ja öljykasveilla (Aaltonen ym. 2016). Pahkahome säilyy maassa rihmastopahkoina, jotka kosteassa maassa itävät ja kasvattavat maanpinnalle torvimaisen itiöemän, kotelomaljan. Kotelomaljan yläpinnalla muodostuvat itiöt leviävät ilmavirtausten kuljettamina ympäristöön. Tiheässä, kosteassa porkkanakasvustossa naatteihin päätyneet itiöt itävät. Naattien kautta sienien rihmasto kasvaa porkkanan juuren kantaosaan ja alkaa pilata porkkanaa joko pellossa tai noston jälkeen varastossa. Toisin kuin harmaahome, pahkahome tuhoaa usein porkkanat jo varastokauden alussa. Maassa olevat pahkahomeen pahkat voivat kasvattaa myös rihmastoja, joka tartuttaa suoraan porkkanan juuret maassa. Varastossa pahkahomeen vioittamisessa porkkanoissa kasvaa vaaleaa rihmastoja, joka voi levitä nopeasti porkkanasta toiseen, mutta pahkahome ei tuota varastossa tautia levittäviä itiöitä (Snowdon 1992).

Mycocentrospora acerina -sienen aiheuttama mustamätä on erityisesti Pohjois-Euroopassa esiintyvä porkkanan tauti. Kasvinsuojeluseuran (2011) nimisuosituksen mukaan mustamätä on nimenomaan *M. acerina* -lajin aiheuttama tauti, mutta käytännössä muidenkin sienilajien, kuten *Fusarium* ja *Alternaria*, aiheuttamaa samanlaista oiretta kutsutaan usein mustamädäksi.

M. acerina voi levitä siemenessä ja aiheuttaa taimipoltetta sekä myöhemmin kesällä lehtilaikkutautia porkkanan naateissa. Varastoitavat porkkanat kuitenkin saavat yleensä tartunnan maassa säilyvistä taudinaiheuttajan kestoitiöistä kasvukaudella tai nostovaiheessa. Useimmiten tartunta porkkanan juureen tapahtuu erilaisten haavojen tai kolhujen kautta. Tartunnan saaneissa porkkanoissa pilaantumisen voi edetä varastoinnin aikana hyvin matalissakin lämpötiloissa, mutta varastossa tauti ei leviä porkkanasta toiseen.

Taudin torjunta on hankalaa, koska taudin kestoitiöt voivat säilyä maassa tartutuskykyisinä 5–7 vuotta. Taudin tartuttamassa maassa kolmen vuoden viljelykierto ilman porkkanaa ei norjalaisten tutkimusten mukaan (Hermansen ym. 1997) vähentänyt merkittävästi tautia maasta. Porkkanan ja muiden sarjakukkaisten kasvien lisäksi *M. acerina* -sienellä on laaja valikoima mahdollisia isäntäkasveja. Monet porkkanapeltojen yleiset rikkakasvit, esimerkiksi orvokkilajit ja sauniot, voivat ylläpitää ja jopa lisätä tautia niinäkin vuosina, kun porkkanaa ei viljellä (Hermansen 1992). Kemiallisella torjunnalla voidaan suojata porkkanan naatteja tautitartunnalta, mutta kasvustoruiskutukset eivät tehoa maasta leviävään tautiin (Snowdon 1992).

Porkkanan varastovioitusten yhteydessä esiintyy myös usein *Fusarium*-lajeja. Snowdonin (1992) mukaan ne voivat yksin esiintyessään aiheuttaa ruskeaa nahkamaista mätää porkkanoiden pinnassa tai kantaosissa. Usein *Fusarium*-sienet valtaavat muiden taudinaiheuttajien pilaamia solukoita ja pahen-

tavat niiden tuhoja. Porkkanan pilaajina mainitaan usein *F. avenaceum*. Lisäksi porkkanalta on löydetty ainakin *F. sambucinum*- ja *F. sporotrichioides* -lajeja.

Edellämainittujen taudinaiheuttajien lisäksi *Athelia arachnoidea* -sieni (synonyymit *Rhizoctonia carotae*, *Fibulorhizoctonia carotae*) on todettu Norjassa ja Tanskassa hyvin merkittäväksi porkkanoiden pilaajaksi varastoissa (Årsvoll 1969, Hermansen ym. 2012). Suomessa tautia ei ole todettu. Taudinaiheuttajan rihmasto kasvaa varastoporkkanoiden pinnalla vaaleina tupsumaisina pesäkkeinä ja porkkanoihin muodostuu laajoja kraatterimaisia painaumia. Tautia on havaittu lähinnä koneellisesti jäädytetyissä hyvin kosteina pidetyissä varastoissa (Snowdon 1992).

Monet eri sieni- ja munasienilajit voivat aiheuttaa porkkanassa erilaisia kuoppia ja koloja, jotka ruumentavat porkkanan ulkonäköä ja kauppakelpoisuutta (Kastelein ym. 2007). Osa kuoppaoireista ilmenee jo pellolla, mutta ne voivat lisääntyä ja voimistua varastoinnin aikana. Useat *Pythium*- ja *Globisporangium*-lajit aiheuttavat kuoppatautia (engl. Cavity spot) pellolla kasvaviin porkkanoihin, mutta nämä munasienet eivät vioita porkkanoita varastossa. *Pythium*-lajien aiheuttamat kuopat ovat väriltään vaaleanruskeita tai hieman harmahtavia. Pellolla syntyneisiin kuoppaoireisiin voi iskeytyä monenlaisia sieniä tai bakteereita, jotka pahentavat vaurioita varastoinnin aikana. Kuoppaoireissa kasvavista mikrobeista on usein hankala päätellä, ovatko ne oireen aiheuttajia vai pilaantuneeseen solukkoon pesiytyneitä mädättäjiä (Hiltunen ja White 2002).

Varastossa porkkanoihin voi ilmaantua tummanruskeita tai mustia koloja. Hollannissa ja Norjassa kolon aiheuttajina pidetään erityisesti *Altenaria radicina*-, *Chalaropsis thielavioides*-, *Mycocentrospora acerina*- ja *Thielaviopsis basicola* -sieniä. Lisäksi *Rhexocercosporidium carotae* aiheuttaa joskus merkittäviä kolotautiongelmia (Årsvoll 1969, Kastelein ym. 2007).

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli selvittää porkkanaa pilaavien taudinaiheuttajien lajistossa tapahtuneet muutokset ja varastohävikin määrä. Lisäksi pyrittiin arvioimaan viljelykierron, esikasvien vallinnan sekä pellon rikkakasvitilanteen vaikutusta varastotauteihin.

2. Tutkimusaineisto

2.1. Näytteiden kerääminen ja porkkanalohkojen kuvaus

Porkkananäytteet kerättiin viljelmiltä Varsinais-Suomesta, Hämeestä, Etelä-Savosta ja Pohjois-Savosta kasvukausina 2016, 2017 ja 2018. Näytteiden keruu pyrittiin ajoittamaan mahdollisimman lähelle viljelijöiden tekemää nostoa. Peltolohkot, joilta näytteet kerättiin, vaihtuivat vuosittain. Tutkimukseen valittiin ensisijaisesti lohkoja, joilla viljeltiin Maestro-lajiketta. Jos tilalla ei viljelty tätä lajiketta, näytteet otettiin muusta varastolajikkeesta. Maestro-lajiketta oli noin puolet tutkimuksen porkkanaeristä. Seuraavaksi yleisimmät lajikkeet olivat Romance (8 erää) ja Natalja (7 erää).

Porkkananäytteitä kerättiin yhteensä 52 peltolohkolta (Kuva 2). Vuoden 2017 näytteistä yksi erä saatiin viljelijältä varastosta, muut nostettiin suoraan pellolta. Peltolohkoista 21 edusti eloperäistä maalajia (multa- tai turvemaa tai järvimuta) ja 31 peltolohkolla maalaji oli kivennäismaata (tyypillisesti hietamoreeni tai karkea tai hieno hieta). Jokaiselta peltolohkolta kerättiin noin 60 kg porkkanoita. Näyte koostettiin viidestä osanäytteestä, jotka otettiin peltolohkolta viidestä pisteestä, kulkien etukäteen valittua noin 100 metrin mittaista linjaa pitkin. Jokaisesta pisteestä nostettiin käsin noin 12 kg porkkanoita. Porkkanat listittiin pellolla käsin noston yhteydessä.

Samoista näytepisteistä otettiin maanäytteet (kolme kairanpisto/näyteala eli yhteensä 15 kairanpisto/lohko). Osanäytteet yhdistettiin yhdeksi näytteeksi ja niistä analysoitiin Eurofins Viljavuuspalvelussa laaja ravinnetilatutkimus (Soilfood), joka sisälsi perustutkimuksen sekä varastoravinteiden, hehkutushäviön ja maan mikrobiologisen aktiivisuuden (Soil Life) määritykset. Mikrobiologinen aktiivisuus ilmaistaan typen potentiaalisena nettomineralisaationa (mg N/kg). Yhdestä porkkanaerästä ei ole maa-analysitietoja käytettävissä. Mitatuissa muuttujissa oli huomattavaa vaihtelua peltolohkojen välillä (Taulukko 1).

Vuonna 2018 havainnoitiin useimmilta peltolohkoilta rikkakasvien lajistoa heinä-elokuussa ja sadonkorjuun yhteydessä. Tällöin laskettiin rikkakasvien kappalemäärät lajeittain tai lajiryhmittäin 10 erilliseltä näytealalta (0,5 m x 0,5 m), jotka otettiin lohkon halki kulkevalta linjalta.

Viljelijöiltä pyydettiin taustatiedot esikasveista ja lohkolta tehdyistä viljelytoimista. Kaikilta lohkoilta taustatietoja ei saatu.



Kuva 2. Porkkananäytteet kerättiin valituilta peltolohkoilta käsin viidestä eri kohtaa hieman ennen viljelijän suunnittelemaa nostoajankohtaa. Kuva Pirjo Kivijärvi.

Taulukko 1. Maa-analyysitulokset (SoilFood-analyysi, Eurofins Viljavuuspalvelu) peltolohkoilta, joilta porkkana-näytteet kerättiin tautikartoitukseen. Maanäytteet on kerätty sadonkorjuun aikaan syys-lokakuussa, lukuun ottamatta muutamia vuoden 2017 näytteitä, jotka on otettu joko touko- tai heinäkuussa.

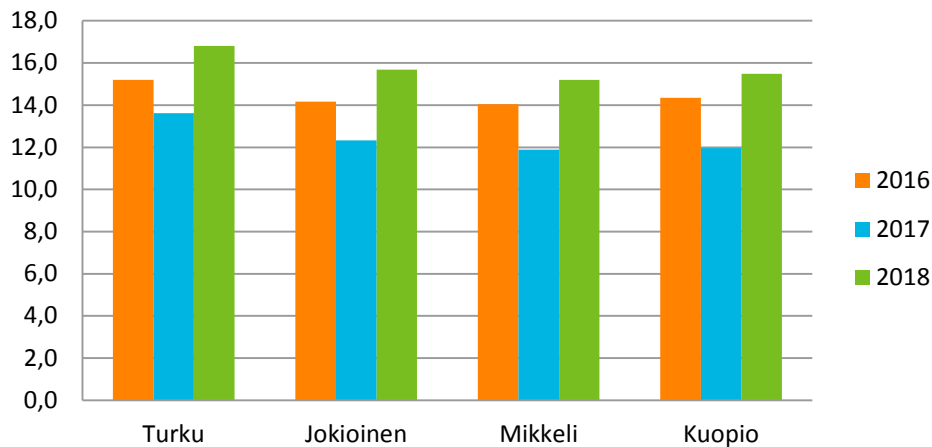
Muuttuja	Yksikkö	Lohkojen määrä (kpl)	Minimi	Maksimi	Mediaani	Keskiarvo
Johtoluku	10xmS/cm	51	0,4	8,2	1,4	2,0
Happamuus		51	5,1	7,1	6,0	6,0
Kalsium (Ca)	mg/l	51	730	7 300	2 200	2 536
Fosfori (P)	mg/l	51	3,1	65	8,6	14
Kalium (K)	mg/l	51	30	410	120	142
Magnesium (Mg)	mg/l	51	78	590	220	259
Rikki (S)	mg/l	51	8,8	230	27	52
Boori (B)	mg/l	39	0,6	3,2	1,1	1,2
Kupari (Cu)	mg/l	47	1,3	18	6,8	7,3
Mangaani (Mn)		47	2,9	150	19	33
Sinkki (Zn)	mg/l	47	1,1	21	4	4,9
KVK, kationin-vaihtokapasiteetti	cmol+/kg ka	51	6	49	17	21
Hehkutushäviö	%	49	2,8	74	11	20
Maan mikrobiaktiivisuus (Soil Life)	mg N/kg	49	32	368	100	147

2.2. Säätietoja koevuosilta

Tutkimusvuosien sääolot olivat hyvin erilaiset, ja myös samana vuonna sää vaihteli huomattavasti eri alueiden välillä. Kuvissa 3 ja 4 esitetyt säähavainnot on poimittu koealueiden lähellä olevilta Ilmatieteen laitoksen mittausasemilta, joten ne eivät suoraan kuvaa koepeltojen säätilaa. Lämpötilaltaan kasvukausi 2016 oli keskimääräinen, 2017 keskimääräistä viileämpi ja 2018 keskimääräistä lämpimämpi. Varsinais-Suomessa mitattiin korkeimmat lämpötilat, muilla alueilla mittausasemilla havaitut lämpötilat olivat keskenään likimain samaa tasoa.

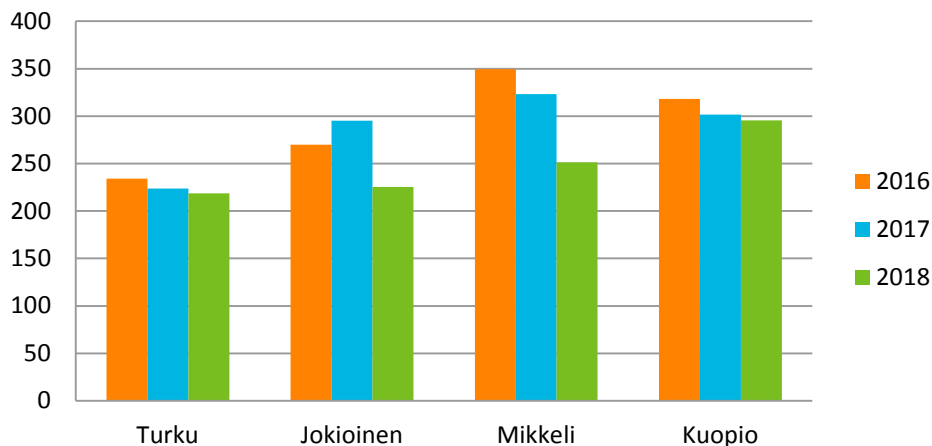
Varsinais-Suomessa kaikki vuodet olivat vähäsateisia. Suurimmat kasvukauden sateet saatiin vuosina 2016 ja 2017 elokuussa, minkä jälkeen syyskuut olivat jälleen kuivia (kuukausittaiset säätiedot esitetty liitteessä). Vuonna 2018 syyskuussa satoi eniten. Hämeessä (Jokioinen) kasvukausi 2017 oli koevuosista runsassateisin ja kasvukausi 2018 kuivin. Etelä- ja Pohjois-Savossa kasvukauden 2016 sademäärät olivat suurimmat, ja eniten satoi Mikkelin seudulla heinäkuussa ja Kuopion seudulla kesä-heinäkuussa. Kesällä 2017 sateita saatiin tasaisemmin kesäkuusta alkaen. Kasvukausi 2018 oli pääosin kuiva, paitsi Kuopion seudulla satoi runsaasti kesäkuussa.

Touko-syyskuun keskilämpötila (°C) eri mittausasemilla



Kuva 3. Touko-syyskuun keskimääräinen lämpötila vuosina 2016–2018. Lähde: Ilmatieteen laitos.

Touko-syyskuun sadesumma (mm) eri mittausasemilla



Kuva 4. Touko-syyskuun yhteenlaskettu sadesumma vuosina 2016–2018. Lähde: Ilmatieteen laitos.

2.3. Porkkananäytteiden käsittely ja varastointi

Porkkananäytteet kuljetettiin noston jälkeen Luken Piikkiön toimipaikkaan. Näytteet jaettiin tautienuste- ja varastoeriin, jotka pakattiin kudottuihin polypropeeni-säkkeihin. Jokaisesta näytteestä otettiin noin 8 kg:n erä tautienusteeseen. Tämä erä säilytettiin 10 °C:n varastossa kuuden viikon ajan (Hämeestä kerätyt näytteet HAMK Lepaalla ja muut näytteet Luken toimipaikalla Piikkiössä). Varsinaiseen kylmävarastointiin Luke Piikkiössä vietiin joka näytteestä kuusi 8 kg:n erää eli kaikista näytteistä oli rinnakkaisnäytteet (a ja b) jokaiselle tarkastuskerralle, jotka olivat joulukuussa, tammikuussa ja maaliskuussa noin seitsemän viikon välein. Varastolämpötila oli 0–1°C. Näyte-erien paino punnittiin ennen varastointia ja varastoinnin jälkeen. Käsiteltyjen porkkanoiden lukumäärät on esitetty taulukossa 2.

Ennuste- ja kylmävarastoinnin näytteet analysoitiin lajittelemalla terveet ja tautien pilaamat porkkanat erilleen. Terveiden ja eri tautien vioittamien porkkanoiden kappalemäärät laskettiin ja painot

punnittiin. Tuloksista laskettiin tautien voittamien porkkanoiden prosenttiosuudet. Voittuneet porkkanat toimitettiin Luken Jokioisten toimipaikalle tarkempaan tautianalyysiin.

Taulukko 2. Piikkiössä tutkittujen ennustenäytteiden ja kylmävarastoitujen näyte-erien porkkanoiden kokonaismäärät tutkimusvuosittain.

Erä	Piikkiössä tutkitut porkkanat, kpl			
	2016	2017	2018	yhteensä
Ennustenäyte	1285	1908	1857	5050
Kylmävarasto joulukuu	2937	3549	3778	10264
Kylmävarasto tammikuu	3074	3602	3909	10585
Kylmävarasto maaliskuu	2917	3561	3933	10411

Muutamissa porkkanaerissä oli etenkin maaliskuun tarkastuksissa täysin mädäntyneitä porkkanoita, joista ei voinut tehdä enää tarkempaa tautianalyysiä.

2.4. Tautinäytteiden analysointi

2.4.1. Voitusten luokittelu

Jokioisiin toimitetut Piikkiössä tautisiksi todetut porkkanat luokiteltiin silmävaraisesti oireiden perusteella eri voitustusluokkiin. Tutkimuksen edetessä alkuperäistä luokittelua jouduttiin täsmentämään, joten vuosien 2017 ja 2018 luokittelu on tarkempi kuin vuoden 2016. Mikäli porkkanassa oli useita voituksia, sama porkkana laskettiin kuuluvaksi useampaan voitustusluokkaan. Näin Jokioisten analyysissä tautisten porkkanoiden kokonaismäärä voi joissakin erissä olla hieman korkeampi kuin Piikkiön määrittelyissä.

Jokioisissa käytetyt porkkanoiden voitustusluokat olivat:

1. Juuren kärjestä alkava pilaantuminen. Vuosina 2017 ja 2018 juuren kärjistä alkavat voitukset luokiteltiin lieviksi tai vakaviksi. Lievissä voituksissa pilaantunutta solukkoa oli alle 1 cm juuren kärjestä ja vakavissa voituksissa pilaantunut solukko oli vallannut yli 1 cm juuren kärjestä. (Kuvateksteissä ”Mätä juuren kärkiosa”)
2. Juuren kantaosassa esiintyvä tummanruskea tai musta mätä (Kuvateksteissä ”Musta mätä kantaosa”)
3. Juuren kyljissä näkyvät syvät kuopat ja painaumat (Kuvateksteissä ”Syvät kuopat kyljissä”)
4. Pienet selvärajaiset kuopat ja kolot juuren eri osissa (Kuvateksteissä ”Pienet kuopat kyljissä”)
5. Harmaahomeen tai pahkahomeen pilaamat porkkanat, joissa taudinaiheuttaja oli tunnistettavissa rihmastopahkojen perusteella. Taudinaiheuttaja määritettiin harmaahomeeksi, jos halkaistut pahkat olivat sisältä ruskeita, ja pahkahomeeksi, jos halkaistut pahkat olivat sisältä valkoisia. Näistä porkkanoista ei tehty sienimäärittystä agar-alustoilla. (Kuvateksteissä ”Täysin mädät”)
6. Lisäksi vuosina 2017 ja 2018 kirjattiin erikseen porkkanat, joissa oli lähes ympäri porkkanan ulottuvia rosoisia kuroumia lähellä porkkanan kantaosaa. (Tätä voitustyyppiä ei esitetä tuotososion kuvissa, koska tällaista voitusta oli erittäin vähän.)

2.4.2. Sienimääritykset

Sienimäärityksiä varten eri voitiusluokkiin jaotelluista porkkanoista leikattiin voituskohdasta noin 5 mm x 5 mm x 5 mm näytepala voituneen ja oireettoman solukon rajapinnasta. Mikäli näyte-erässä oli yli 30 tiettyyn voitiusluokkaan kuuluvaa porkkanaa, sienimääritys tehtiin vain 30 porkkanasta. Täten sienimäärityksiin otettujen porkkanoiden määrä on joissakin erissä hieman pienempi kuin tautisten porkkanoiden kokonaismäärä (Taulukko 3).

Näytepalat pintasteriloitiin upottamalla ne 70 %:n etanoliin noin minuutin ajaksi. Sen jälkeen palat huuhdottiin kahteen kertaan steriilissä ionivaihtovedessä ja annettiin kuivahtaa steriilin talouspaperin päällä 20–30 minuuttia. Steriloidut näytepalat siirrostettiin aseptisesti halkaisijaltaan 10 cm:n petrimaljoilla olevalle PCNB-agar-ravintoalustalle. Yhdelle maljalle siirrostettiin 1–6 näytepalaa näyteerän koosta riippuen. PCNB-alusta on kehitetty erityisesti *Fusarium*-sienten eristämiseen, mutta aiemmissa tutkimuksissa on todettu, että kaikki porkkanan varastotauteja aiheuttavat sienilajit kasvavat erinomaisesti alustalla. Sitä vastoin PCNB estää hyvin sienten kasvua haittaavien bakteereiden leviämisen näytepaloista ravintoalustalle.

Näytepaloja inkuboitiin PCNB-alustalla pimeässä kasvatustilassa huoneenlämmössä (noin 20 °C) 5–7 vuorokauden ajan, kunnes useimmista näytepaloista oli kasvanut sienirihmastoa agar-alustalle. Agarille kasvaneista rihmastojen kärjistä siirrostettiin edelleen siirrostuspiikin avulla sienikasvustoa PDA-ravintoalustalle. Jos samasta näytepalasta kasvoi useampia sienipesäkkeitä, jokainen niistä siirrostettiin PDA-alustalle. PDA-alustalla porkkanan varastotauteja aiheuttavat sienet kasvavat hyvin ja tuottavat lajityypillisiä rakenteita ja väriaineita, joiden perusteella lajit voidaan tunnistaa.

Taulukko 3. Sienimäärityksissä tutkittujen porkkanan ennustenäytteiden ja kylmävarastoitujen erien näytepalojen kokonaismäärät tutkimusvuosittain.

Erä	Jokioisissa maljatut porkkanapalat, kpl			
	2016	2017	2018	yhteensä
Ennustenäyte	25	139	363	527
Kylmävarasto joulukuu	118	200	201	519
Kylmävarasto tammikuu	272	364	462	1098
Kylmävarasto maaliskuu	327	589	557	1473

2.5. Uusien analyysimenetelmien käyttö

PDA-ravintoalustoilla tehdyn sienimäärityksen lisäksi testattiin osa porkkananäytteistä PCR-menetelmällä, jossa taudinaiheuttajan laji tunnistetaan testattavan näytteen DNA-monistus-tuotteesta.

Testaukseen otettiin vuoden 2018 sadosta 25 porkkanaa ennustenäytteistä, 10 porkkanaa joulukuun näytteistä, 20 porkkanaa tammikuun näytteistä ja 20 porkkanaa maaliskuun näytteistä, yhteensä 75 näytettä. Kaikissa testatuissa porkkanoissa oli vakavia voituuksia. Testattavista porkkanoista leikattiin voituskohdasta näytepala luvussa 2.4.2 kuvatulla tavalla. Leikattu näytepala puolitettiin ja toinen pala pintasteriloitiin luvussa 2.4.2 kuvatulla tavalla ennen maljausta PCNB-maljalla, ja toinen pala laitettiin näytteenmurskausputkeen ja säilytettiin -20 °C:ssa ennen DNA-eristystä ja PCR-testausta.

Kokonais-DNA eristettiin näytteistä Qiagenin kaupallisella kitillä (DNeasy Plant Mini kit). Ennen eristystä pakastetut näytteet sulatettiin, näyteputkiin lisättiin Qiagenin näytepuskuria ja näytteet murskattiin FastPrep 24 -laitteella (MP Biomedicals). Näyteputkissa oleva keraaminen kuula yhdessä voimakkaan ravistelun kanssa murskaa putkessa olevan porkkanasolukon, minkä jälkeen näytteet ovat valmiina DNA-eristystä varten.

PCR-menetelmällä porkkanoista testatut sienet olivat: *M. acerina*, *B. cinerea* ja *Fusarium avenaceum*. Menetelmän kehitysvaiheessa sienten tunnistamisessa verrattiin useita julkaistuja alukkeita. PCR-alukkeiden toimivuus testattiin ensin DNA:lla, joka oli eristetty ravintoalustoilla puhdasviljelminä kasvavista sienikasvustoista. Taulukossa 4 on listattu kullekin sienelle parhaiten toimivat alukkeet, joita käytettiin porkkana-DNA-näytteiden testauksessa.

Taulukko 4. PCR-testeissä käytetyt alukkeet

Sienilaji	Aluke	Sekvenssi (5' -> 3')	PCR-tuote	Viite
<i>M. acerina</i>	KLO15F	CGGTCGGACTCCATTCAAAC	314 bp	Hermansen et al. 2012
	KLO20R	GCTCCGAAGCAAGTACGCCG		
<i>B. cinerea</i>	Bc-F	CAGGAAACACTTTTGGGGATA	354 bp	Fan et al. 2015
	Bc-R	GAGGGACAAGAAAATCGACTAA		
<i>F. avenaceum</i>	FA-F1	AACATACCTTAATGTTGCCTCGG	314 bp	Mishra et al. 2003
	FA-R1	ATCCCAACACCAAACCCGAG		

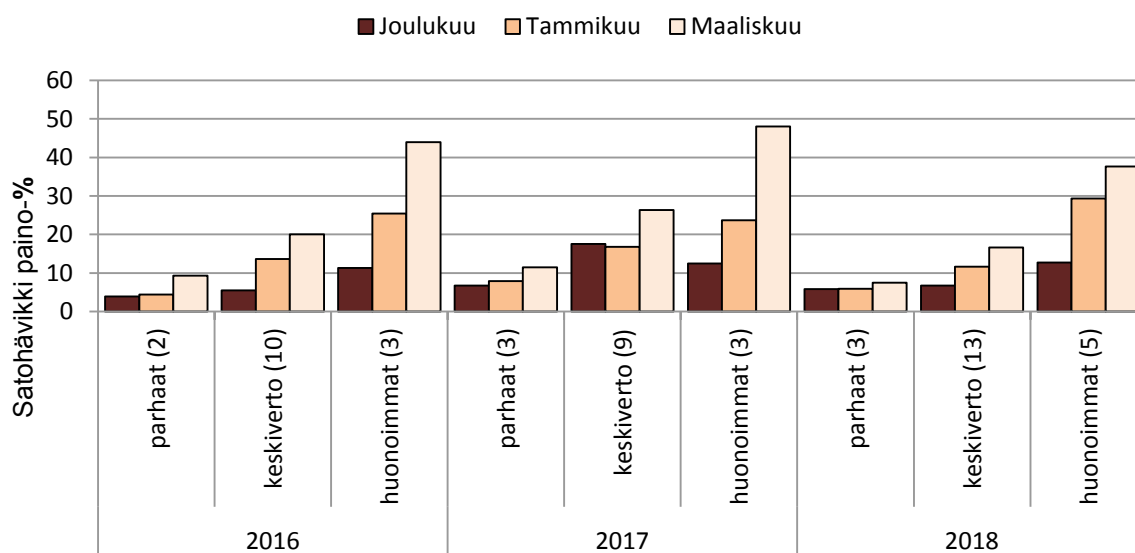
Lisätietoa PCR-testeistä: PCR-reaktiot sisälsivät 20 ng tutkittavaa DNA:ta, 250 nM alukkeita, 200 µM dNTP-seosta, sekä Phire Hot Start II DNA Polymeraasia ja 5x reaktiopuskuria valmistajan (Thermo Fisher Scientific Baltics) suositusten mukaisesti, 20 µl:n reaktiutilavuudessa. Optimoitu PCR-ohjelma *M. acerina*- ja *F. avenaceum*- alukepareille oli seuraava: aloitusdenaturaatio 98 °C 30 sekuntia, sitten 35 monistussykliä, joissa denaturaatio oli 98 °C 10 sekuntia, alukkeiden anniilauk 63 °C 10 sekuntia ja tuotteiden elongaatio 72 °C 15 sekuntia. PCR-ohjelman lopuksi oli tuotteiden elongaatiovaihe 72 °C 5 minuuttia. *B. cinerea*-alukeparille PCR-ohjelma oli muuten sama kuin edellä, mutta anniilauk lämpötila oli 60 °C. PCR-tuotteiden koko ja laatu tarkistettiin agarosigeelielektroforeesilla ja geelit värjättiin etidiumbromidilla ennen kuvausta ja tulosten tarkastelua.

3. Tulokset

3.1. Varastohävikit eri vuosina

Porkkanaerien keskimääräiset varastohävikit painoprosentteina olivat melko samansuuruisia eri vuosina, vaikka vuosien sääolot vaihtelivat suuresti. Hävikin tyypillinen (mediaani) osuus maaliskuussa oli 15–25 % varastoon syksyllä laitetusta sadosta. Varastohävikki sisältää tautien ja muiden vioitusten takia poistetut porkkanat ja haihdunnasta aiheutuneen painohävikin.

Yksittäisten porkkanaerien säilyvyydessä oli hyvin suurta vaihtelua. Parhaiten säilyneissä erissä hävikki oli maaliskuussa enimmillään 10 % luokkaa, kun huonoimmin säilyneissä erissä se oli 38–48 %. Hyvin säilyneitä ja huonosti säilyneitä eriä oli kaikkina vuosina suunnilleen yhtä paljon (2–5 kpl) (Kuva 5). Vuoden 2018 maaliskuun tuloksissa on mukana vain a-varastoerät, joissa ei havaittu tautien hallitsematonta leviämistä varastosäkiä toiseen.

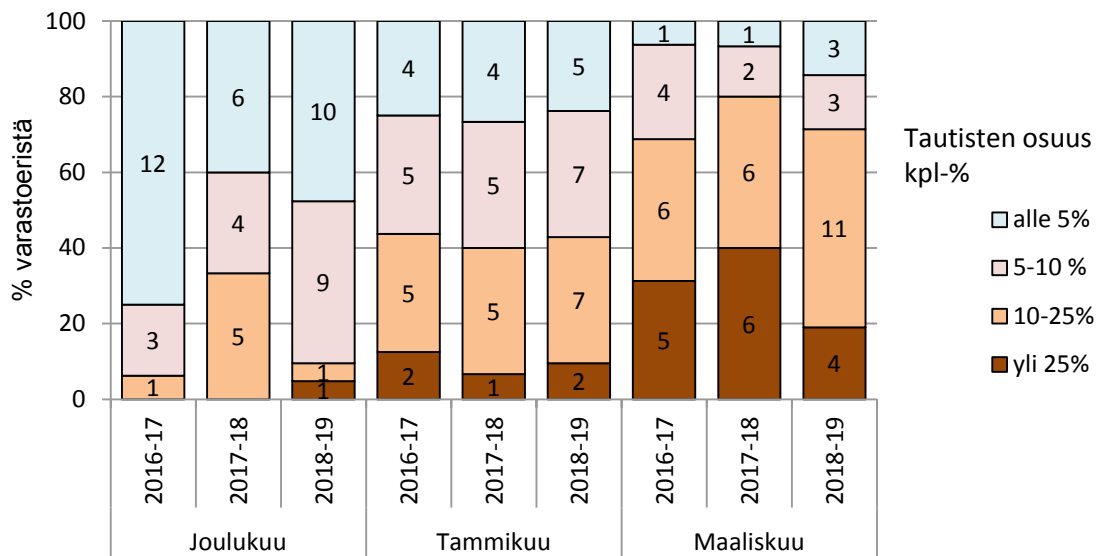


Kuva 5. Porkkanoiden satohävikki (paino-%) varastoinnin aikana vuosina 2016–2018 parhaiten säilyneissä, keskiverto- ja huonoimmissa erissä. Erien lukumäärä eri säilyvyysluokissa on esitetty suluissa.

3.2. Varastotautien pilaama osuus eri vuosina ja eri porkkanaerissä

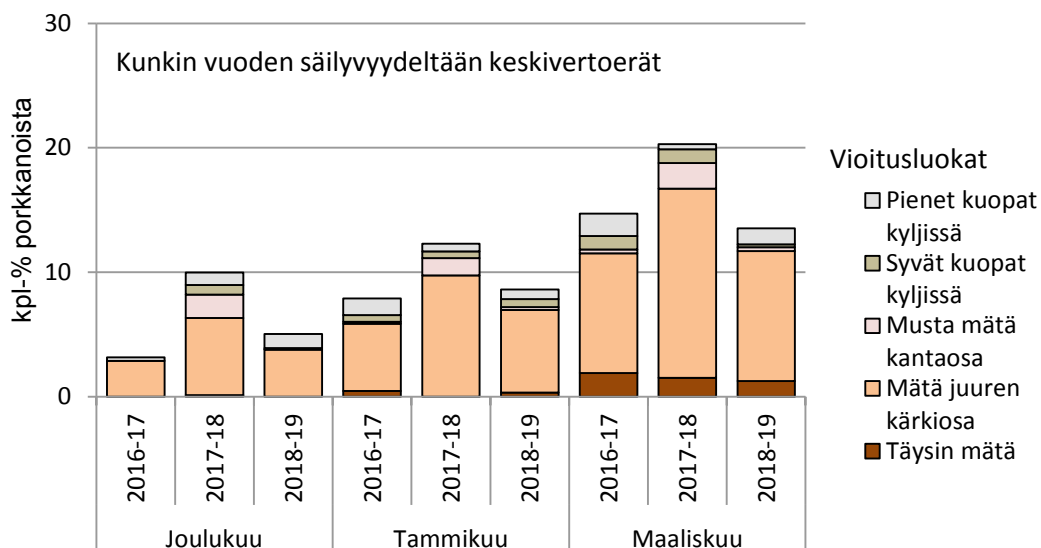
Tautien vioittamien porkkanoiden kappalemäärien lisääntyminen varastoinnin aikana oli keskimäärin hyvin samansuuntaista kaikkina tutkimusvuosina. Joulukuussa löytyi vain yksittäisiä eriä, joissa tautisten porkkanoiden määrä ylitti 10 %. Tammikuussa tällaisia eriä oli vajaa puolet tutkituista. Maaliskuuhun mennessä tautisten porkkanoiden osuus kasvoi nopeasti ja kolmasosassa varastoiduista eristä tautisten porkkanoiden osuus oli yli 25 %. Vain yksittäiset erät säilyivät jokseenkin terveinä (tautisia alle 5 %) maaliskuuhun asti (Kuva 6).

Varastokaudella 2018–2019 toisessa rinnakkaisnäytteessä (b-säkit) pahkahome tuhosi pahasti porkkanoita tammikuulta maaliskuulle ja tauti levisi hallitsemattomasti säkiä toiseen. Pahkahomeen pilaamat osanäytteet on jätetty pois porkkanaerien välisistä vertailuista, koska leviämisen alkulähdetä oli mahdoton jäljittää.



Kuva 6. Varastoporkkananäytteiden jakautuminen eri tautisuusluokkiin tautisten porkkanoiden kpl-määrän perusteella eri vuosina ja tarkastuskerroilla. Tolpissa näkyvät luvut kuvaavat porkkananäytteiden lukumäärää kussakin tautisuusluokassa.

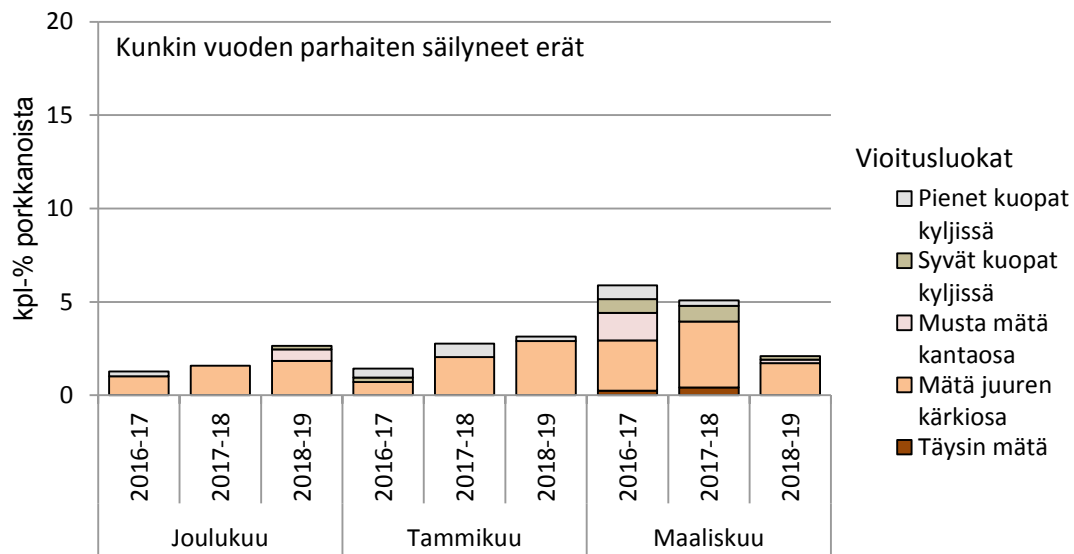
Näytteissä, joiden varastohävikki luokiteltiin keskinkertaiseksi, tautisten porkkanoiden kappalemääräinen osuus oli maaliskuussa noin 15–20 %. Kappalemääräinen hävikki oli hieman pienempi kuin hävikki painoprosentteina. Tyypillisin voitus useimmissa porkkanaerissä oli juuren kärkiosasta alkava pehmeneminen ja tummuminen. Muita voitustyyppisiä porkkanoissa oli hyvin vähän suhteessa kärkivoitukseen. Muiden kuin juuren kärjestä alkavien voitusten osuus ei merkittävästi lisääntynyt varastoinnin aikana. Maaliskuussa täysin pehmenneitä pahka- tai harmaahomeen pilaamia porkkanoita oli hieman enemmän kuin muilla tarkastuskerroilla (Kuva 7).



Kuva 7. Erityyppisten tautivoitusten yleisyys (kpl-%) varastoiduissa porkkanoissa joulukuussa, tammikuussa ja maaliskuussa eri tutkimusvuosina varastohävikeltään keskimääräisissä erissä.

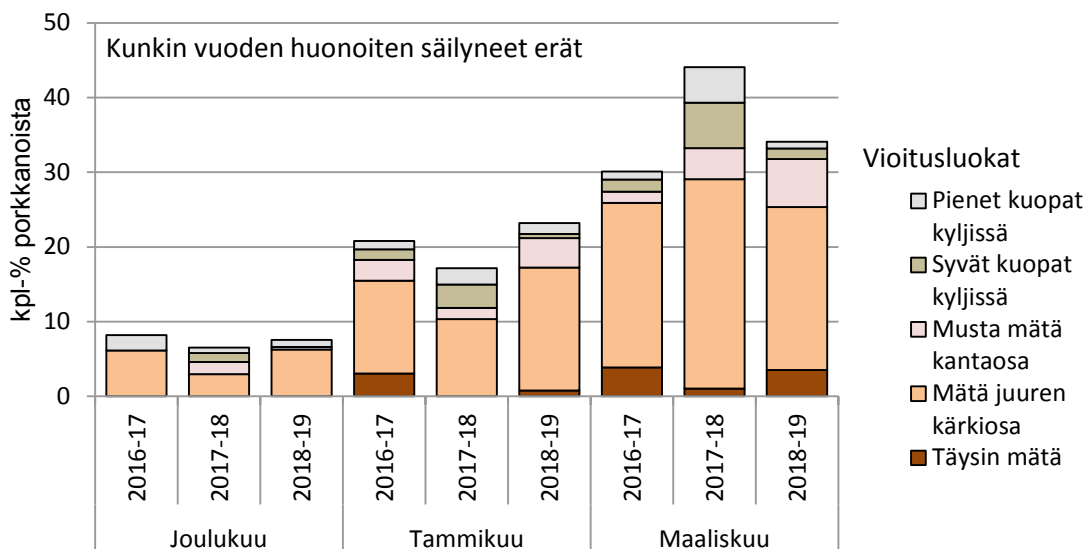
Yksittäisten porkkananäytteiden välillä tautisten porkkanoiden ja eri voitustyyppien osuuksissa oli suuria eroja. Varastossa parhaiten säilyneissä erissä tautisten porkkanoiden osuus oli luonnollisesti hyvin pieni, eikä tautisten porkkanoiden osuus suuresti lisääntynyt varastoinnin aikana. Hyvin säi-

lyneissäkin erissä näkyi eniten juuren kärjistä alkavaa pehmenemistä, mutta oireet olivat selvästi lievempiä kuin muissa erissä (Kuva 8).



Kuva 8. Erityyppisten tautivioitusten yleisyys varastoiduissa porkkanoissa joulukuussa, tammikuussa ja maaliskuussa eri tutkimusvuosina parhaiten säilyneissä erissä.

Varastossa huonoiten säilyneissä erissä tautisten porkkanoiden osuus lisääntyi selvimmin varastoinnin aikana. Vielä joulukuussa huonosti säilyvät erät eivät selvästi erottuneet muista, mutta tammikuussa tautisten porkkanoiden osuus alkoi kasvaa ja maaliskuussa niiden osuus oli 30–45 %. Huonoiten varastossa säilyneissä erissä myös eri vioitustyyppien kirjo oli suurempi kuin muissa erissä. Myös huonoiten säilyneissä erissä tautisten porkkanoiden kappalemääräinen osuus oli pienempi kuin niistä koitunut kilomääräinen hävikki (Kuva 9).



Kuva 9. Erityyppisten tautivioitusten yleisyys varastoiduissa porkkanoissa joulukuussa, tammikuussa ja maaliskuussa eri tutkimusvuosina huonoiten säilyneissä erissä.

3.3. Oireityypit ja niissä esiintyneet sienilajit

Yleisin vointus porkkanoissa oli juuren kärkiosasta alkava pehmeneminen tai lahoaminen. Eri näytteissä oireiden ilmiasu vaihteli suuresti. Ennustenäytteissä ja joulukuun varastoerässä oireet olivat enimmäkseen hyvin lieviä, mutta varastoinnin aikana pilaantuminen eteni joissakin erissä nopeasti (Kuva 10). Osassa juurten kärjistä alkaneista oireista kasvoi maaliskuussa selvästi tunnistettavaa harmaahomeen rihmastoja ja rihmastopakkoja.

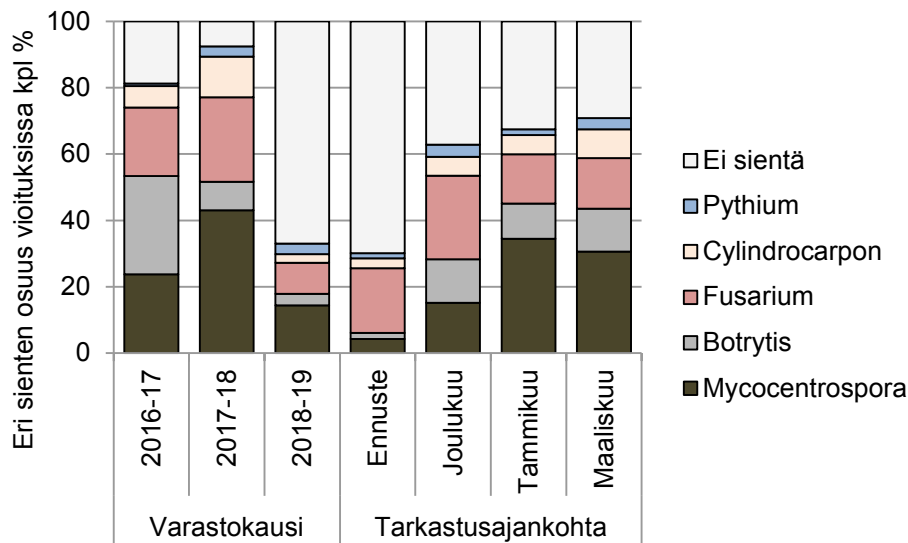


Kuva 10. Erityyppisiä juuren kärkiosasta alkavia pilaantumisoireita porkkanoissa. Vasemmanpuoleisen kuvan alkavat vointukset olivat tyyppisiä ennuste- ja joulukuun varastonäytteissä. Keskimmäisen kuvan tummaa, syvälle maltoon ulottuvaa mätää ja oikeanpuoleisen kuvan pehmenneitä, hieman nahistuneita juurten kärkiä ilmeni erityisesti tammikuun ja maaliskuun varastoerissä. Kuvat Asko Hannukkala.

Juurten kärjestä alkavista vointuksista löytyi yleisimmin *Mycocentrospora*-, *Botrytis*- ja *Fusarium*-lajeja. Yleisimmät *Fusarium*-lajit oli *F. avenaceum* ja *F. sambucinum*. Eri sienten osuudet vaihtelivat hieman vuosittain. Syksyn 2016 sadossa *Botrytis* oli selvästi yleisempi kuin muiden vuosien sadossa. Vuoden 2017 sadossa taas *Mycocentrospora* oli yleisin sieni. Vuoden 2018 sadossa vointuksista saatiin eristettyä hyvin vähän sieniä. Vain noin 30 %:ssa tautisista juuren kärjistä esiintyi sieniä, mutta näytteissä kasvoi runsaasti erilaisia tarkemmin tunnistamattomia bakteereita (Kuva 11).

Pehmenneiden juurten kärkien sienilajisto muuttui myös varastoinnin aikana. Ennustenäytteissä kasvoi hyvin vähän sieniä ja niistä pääosa oli *Fusarium*-lajeja. Valtaosa ennustenäytteen vointuksista oli hyvin lieviä ja mahdollisesti pikemminkin mekaanisia vaurioita kuin sienten aiheuttamia. Vuodenvaihteen yli varastoiduissa porkkanoissa kasvoi yleisimmin *Botrytis*- ja *Mycocentrospora*-lajeja, mutta joulukuun varastoerässä löytyi eniten *Fusarium*-sieniä.

Etenkin vuoden 2017 sadossa juurista löytyi verraten runsaasti *Cylindrocarpon*-sieniä, joita yleensä pidetään pikemminkin erilaisten kuoppaoireiden aiheuttajina. Juurten kärjistä löytyi myös jonkin verran *Pythium*-lajeja, jotka DNA-sekvenssin perusteella eivät olleet porkkanalle patogeenisia lajeja (*P. intermedia*, *P. irregulare* ja *P. sylvaticum*).



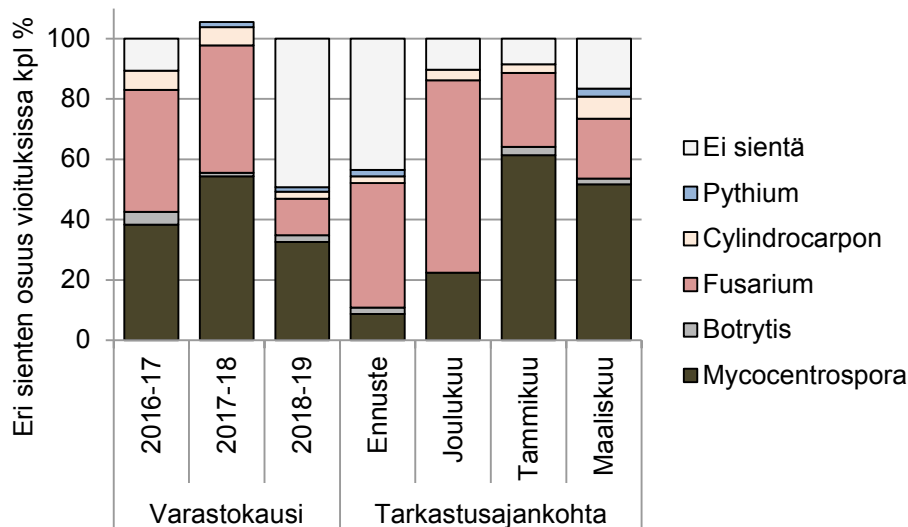
Kuva 11. Eri sienilajien osuus voittuneista juurten kärkiosista maljatuissa näytepaloissa eri varastokausina ja eri tarkastusajankohtina keskimäärin. Erityisesti varastokauden 2018–19 ja ennustenäytteistä sienilajeja löytyi varsin pienessä osassa ravintoalustalle maljatuista näytteistä.

Mustuneista juurten kantaosista (Kuva 12) löytyi sienimäärityksissä pääasiassa *Mycocentrospora acerina*-sientä ja *Fusarium*-lajeja. *Fusarium*-lajeista yleisimpiä olivat *F. avenaceum* ja *F. sambucinum*. Vuosien 2016 ja 2017 sadossa *Mycocentrospora*- ja *Fusarium*-sienten osuus mustissa kantaosissa oli suunnilleen yhtä suuri. Vuoden 2018 sadossa *Mycocentrospora* oli selvästi yleisempi kuin *Fusarium*-lajit. Vuoden 2018 satonäytteiden voittuneissa porkkanoissa esiintyi runsaasti bakteereita ja vain noin 50 %:ssa mustuneista juurten kantaosista saatiin määritettyä pilaantumista aiheuttavia sienilajeja. Varastokauden 2017–18 näytteissä yhdestä näytepalasta kasvoi useampia sieniä, joten sienten kokonaismäärä on yli 100 %.

Säilymisennustenäytteissä ja joulukuun varastonäytteissä mustuneista kantaosista kasvoi pääasiassa *Fusarium*-sieniä. Tammikuun ja maaliskuun varastonäytteissä puolestaan *M. acerina* oli valtalajina. Harmaahometta, *Cylindrocarpon*- ja *Pythium*-lajeja mustuneista juurten kantaosista löytyi hyvin vähän (Kuva 13).



Kuva 12. Juuren kantaosasta alkavia pilaantumisoireita porkkanoissa. Kantaosien mustumisoireet olivat eri porkkanaerissä keskenään hyvin samantyyppisiä.



Kuva 13. Eri sienilajien osuus vioittuneista juurten kantaosista maljatuissa näytepaloissa eri varastokausina ja eri tarkastusajankohtina keskimäärin. Kauden 2017-18 näytepaloissa kasvoi toisinaan 2 tai useampia eri sieniä, joten sienien yhteismäärä on yli 100%

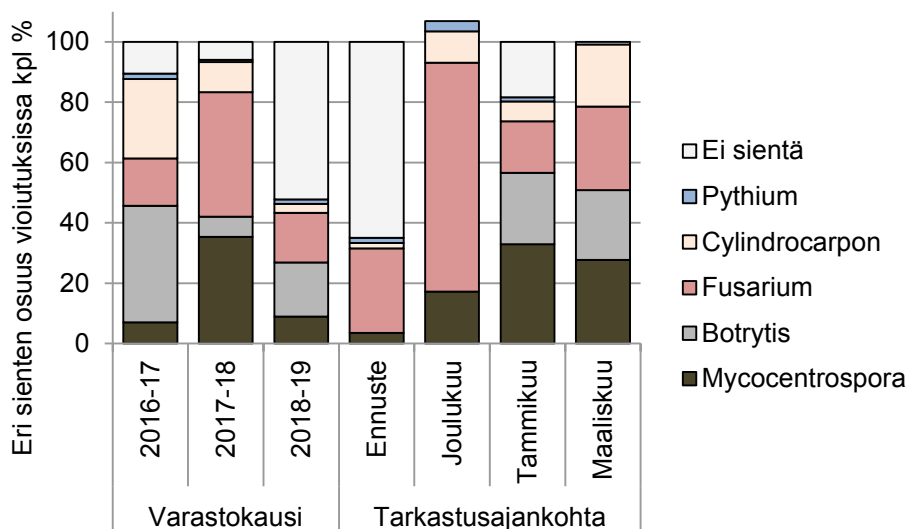
Tutkituissa porkkanaerissä esiintyi erilaisia koloja ja kuoppia porkkanoiden kyljissä, mutta vain harvoissa yksittäisissä erissä kuoppaisten porkkanoiden osuus oli merkittävän suuri. Kuoppa-oireet jaoteltiin karkeasti kahteen ryhmään: laakeisiin, muodoltaan ja syvyydeltään vaihteleviin painaumiin ja selvärajaisiin pieniin, ruskeisiin tai mustiin mätäkuoppiin (Kuva 14). Molemmissa kuoppatyypeissä esiintyi samoja sienilajeja, mutta niiden runsaus vaihteli hieman kuoppatyyppin mukaan.



Kuva 14. Erityyppisiä kuoppia ja painaumia porkkanoiden kyljissä. Osassa porkkanoista näkyy myös juuren kärjestä alkavaa pilaantumista.

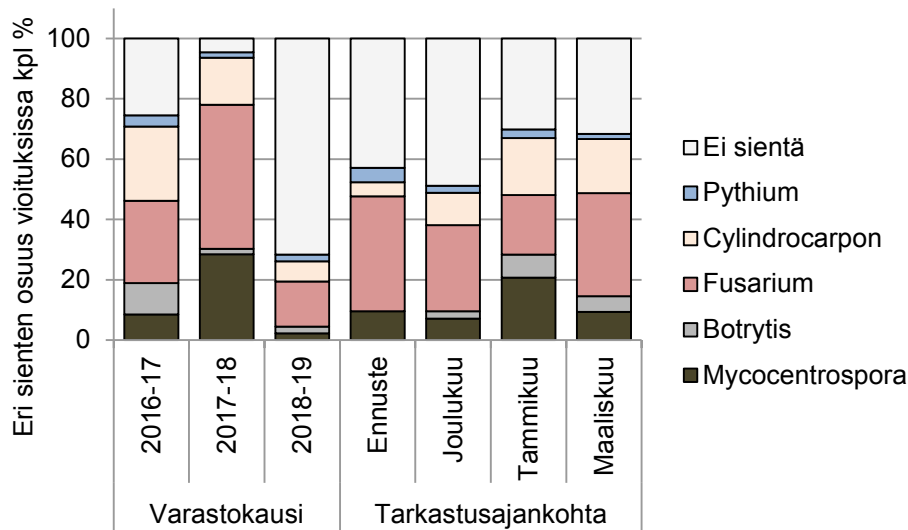
Laakeissa suurehkoissa kuopissa esiintyi vuoden 2016 sadossa yleisimmin harmaahometta (Kuva 15). Vuoden 2017 sadossa *Fusarium*-lajit ja *M. acerina* olivat yleisimmät sienet näissä vioituksissa. Kesän 2018 sadossa laakeissa kuoppaoireissakin esiintyi runsaasti bakteereita ja sieniä löytyi alle 50 %:ssa näytteistä. Yleisimmät sienet olivat *Fusarium*-lajit ja harmaahome.

Laakeista kuoppaoireista saatiin säilymisennustenäytteissä ja joulukuun varastonäytteissä esiin lähinnä *Fusarium*-sieniä. Tammikuun ja maaliskuun varastonäytteissä valtalajeina olivat harmaahome ja *M. acerina*.



Kuva 15. Eri sienilajien osuus porkkanan kyljissä esiintyneistä laakeista kuopista ja painaumista maljatuissa näytepaloissa eri varastokausina ja eri tarkastusajankohtina keskimäärin. Joulukuun varastoerien näytepaloissa kasvoi toisinaan 2 tai useampia eri sieniä, joten sienten yhteismäärä on yli 100 %.

Pienissä selvärajaisissa kuoppavioituksissa löytyi eniten *Fusarium*-, *M. acerina*- ja *Cylindrocarpon*-sieniä. Harmaahomeen aiheuttaja oli näissä vioituksissa melko harvinainen. Melko suuresta osasta kuoppavioituksia ei saatu esiin lainkaan sieniä (Kuva 16).

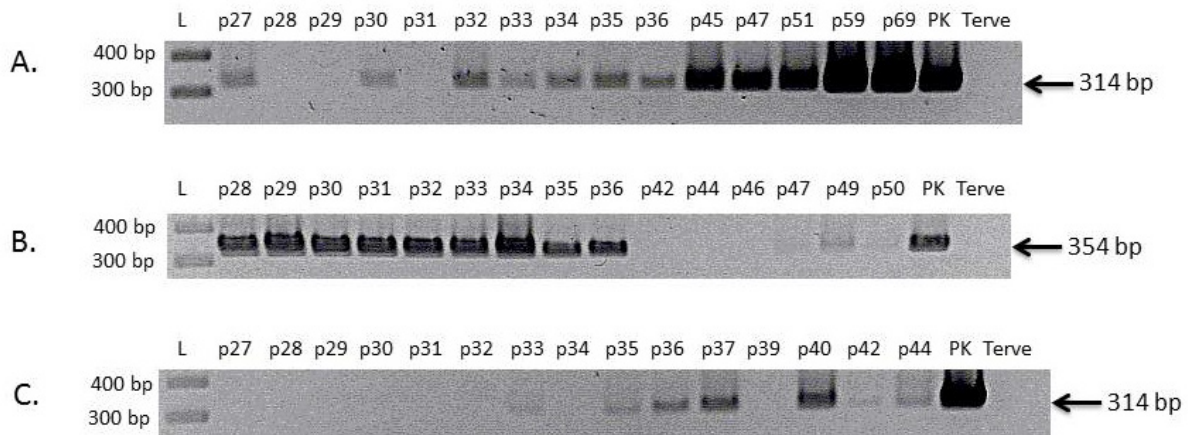


Kuva 16. Eri sienilajien osuus porkkanan kyljissä esiintyneistä pienistä, sekväräjaisista kuopista maljatuissa näytepaloissa eri varastokausina ja eri tarkastusajankohtina keskimäärin.

3.4. Uudet menetelmät

PCR-menetelmää haluttiin kokeilla, koska sillä sienitunnistus voidaan tehdä nopeammin kuin perinteisellä maljausmenetelmällä, eikä menetelmä vaadi sienten morfologista tunnistusosaamista. PCR-menetelmää käyttäen tulos saadaan nopeimmillaan kahdessa päivässä, kun maljaamalla tuloksen saaminen kestää 2-3 viikkoa sienilajista riippuen. PCR-menetelmällä voidaan testata samanaikaisesti useita taudinaiheuttajia, jos niiden määrittämiseksi on kehitetty lajispesifiset PCR-alkukeet ja taudinaiheuttajan määrä näytteessä ylittää testin havaintorajan.

75 porkkananäytteen DNA:sta testattiin PCR-menetelmällä sienet *Mycoentrospora acerina*, *Botrytis cinerea* ja *Fusarium avenaceum* käyttäen taulukossa 4 esitettyjä sienten lajispesifisiä alukkeita. Alukkeet valittiin kirjallisuudesta, ja niiden lajispesifisyys varmistettiin testaamalla. Kukin sieni testattiin yksittäisessä PCR-reaktiossa. 66 näytteestä löytyi *M. acerina*, 20 näytteestä *B. cinerea* ja 54 näytteestä *F. avenaceum*. Useimmista näytteistä löytyi vähintään kahta sientä. Kuvassa 17 on esitetty porkkanan DNA-näytteistä monistettuja PCR-tuotteita agarosigeelillä kuvattuna.

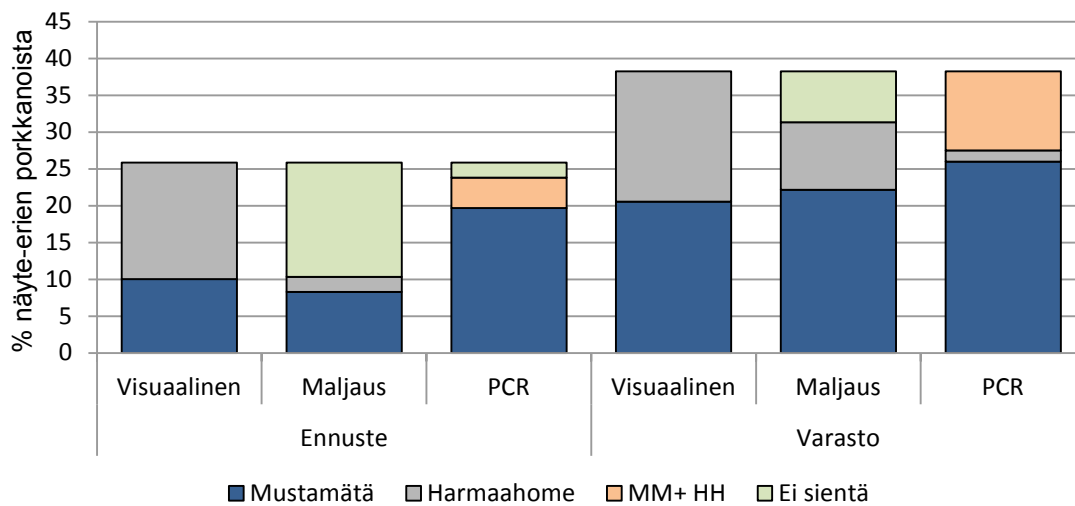


Kuva 17. A: *Mycocentrospora acerina* -spesifinen PCR-testi, tuote 314 bp. p27-p69 ovat testattavia porkkana-näytteitä, L on DNA-kokomarkkeri, PK on positiivinen kontrolli, Terve on terve porkkana. **B:** *Botrytis cinerea* -spesifinen PCR-testi, tuote 354 bp. p28-p50 ovat testattavia porkkananäytteitä, PK on positiivinen kontrolli, Terve on terve porkkana. **C:** *Fusarium avenaceum* -spesifinen PCR-testi, tuote 314 bp. p27-p44 ovat testattavia porkkananäytteitä, PK on positiivinen kontrolli, Terve on terve porkkana.

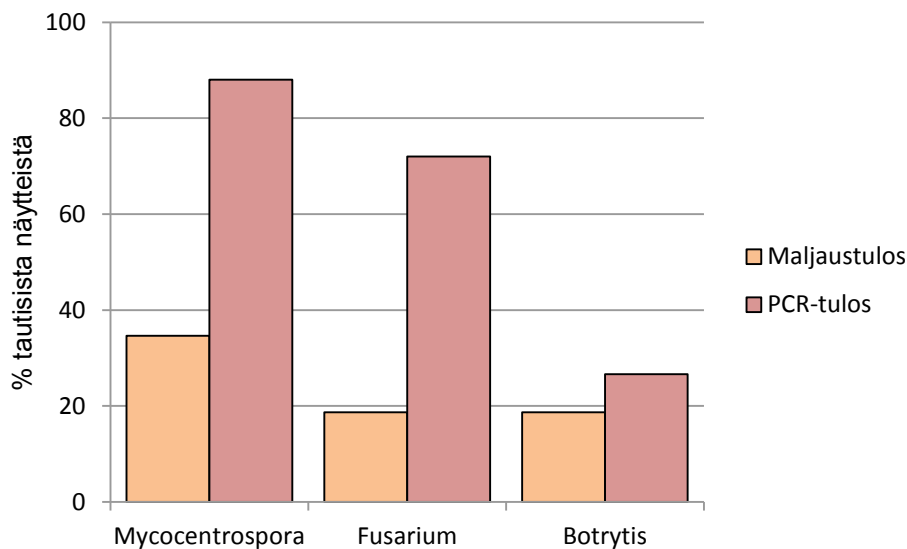
Taudinaiheuttajien tunnistukseen käytetty PCR-menetelmä on kvalitatiivinen eli sillä pystytään määrittämään, onko näytteessä testattuja taudinaiheuttajia vai ei. Taudinaiheuttajien tarkkaa pitoisuutta näytteessä ei voi määrittää tällä testillä. Kunkin testatun porkkana-DNA-näytteen pitoisuus PCR-reaktioissa oli kuitenkin vakio, joten kuvassa 17 esitettyjen PCR-tuotteiden vahvuus (geelikuvien viivojen vahvuus) antaa viitteitä taudinaiheuttajan määrään näytteessä: mitä paksumpi viiva, sitä enemmän taudinaiheuttajaa todennäköisesti on näytteessä. Kun halutaan selvittää taudinaiheuttajan tarkka pitoisuus testattavassa näytteessä, näyte-DNA:t pitää testata reaaliaikaisella kvantitatiivisella PCR-menetelmällä eli qPCR:llä. Jatkotutkimuksissa tavoitteena on tutkia qPCR:llä porkkananäytteistä nyt testattuja sieniä (*M. acerina*, *B. cinerea* ja *F. avenaceum*) ja määrittää niiden tarkat pitoisuudet sekä tautiennuste- että varastonäytteissä.

PCR-tuloksia verrattiin samoista näytteistä saatuihin maljaustuloksiin ja Piikkiössä tehtyyn silmävaraiseen arvioon. Harmaahomeen osuus oli erityisesti ennustenäytteessä visuaalisen arvion perusteella suurempi kuin maljaus- tai PCR-analyseilla. Ennustenäytteistä ei kaikissa tapauksissa saatu maljausmenetelmällä esiin mustamädän tai harmaahomeen aiheuttajia, vaikka niissä PCR-analyysin perusteella oli taudinaiheuttajien DNA:ta. PCR-menetelmä paljasti lisäksi, että monet näytteet, joista maljaamalla saatiin esiin vain harmaahometta, olivat myös mustamädän tartuttamia (Kuva 18).

Kaikista tutkituista näytteistä *B. cinerea*-tulokset olivat molemmilla menetelmillä samansuuntaiset eli harmaahome löytyi testatuista näytteistä lähes yhtä luotettavasti molemmilla menetelmillä. Sen sijaan PCR-menetelmä paljasti useampia *M. acerina*- ja *F. avenaceum*-positiivisia näytteitä kuin maljausmenetelmä (Kuva 19). Maljausmenetelmällä jotain kolmesta sienestä löytyi yhteensä noin 70 %:ssa näytteistä ja 30 %:ssa näytteistä ei saatu kasvamaan mitään sientä. PCR-analyysin perusteella näiden sienien yhteismäärä oli yli 180 %. Tämä tarkoittaa, että PCR-menetelmä paljasti miltei kaikista näytteistä vähintään kaksi sienilajia.



Kuva 18. Mustamädän (*Mycocentrospora* ja *Fusarium*) ja harmaahomeen (*Botrytis*) osuus ennustenäytteessä ja varastoidussa porkkanassa silmävaraisen arvion, maljausmenetelmän ja PCR-analyysin perusteella. MM + HH tarkoittaa, että samassa näytteessä löytyi sekä harmaahometta että jompaakumpaa tai molempia mustamädän aiheuttajia.

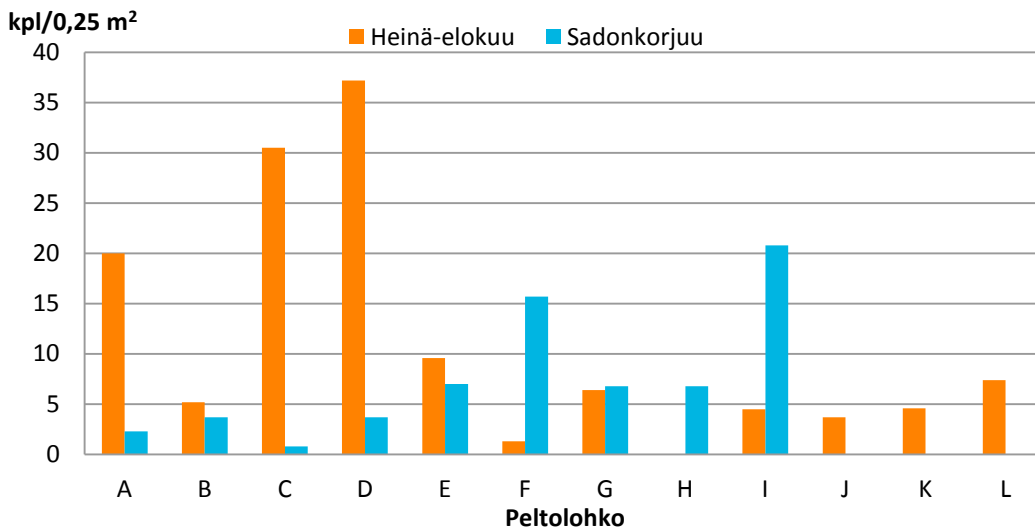


Kuva 19. *Mycocentrospora*-, *Fusarium*- ja *Botrytis*-sienten osuus kaikissa tutkituissa näytteissä maljausmenetelmän ja PCR-analyysin perusteella.

3.5. Rikkakasvit porkkanapelloilla

Useimmilla peltolohkoilla, joilta kerättiin satonäytteitä tautitutkimukseen, tehtiin vuonna 2018 rikkakasvihavaintoja keskikesällä ja sadonkorjuun aikaan. Rikkakasveista kirjattiin ylös vain kappalemäärät ja lajisto, joten rikkakasvien runsautta ei voi suoraan verrata peltojen välillä, koska kasvien koko saattoi vaihdella huomattavasti. Syksyn havaintokerralla osa rikkakasveista oli vasta itäneitä, pieniä taimia, joilla ei ollut merkitystä porkkanan kasvulle (Kuva 20). Havainnot kuvaavat kuitenkin pellon rikkakasvilajistoa.

Lähes kaikilla peltolohkoilla havaittiin mm. pelto-orvokkia, jonka tiedetään olevan porkkananmustamädän isäntäkasvi (Taulukko 5). Näytealojen ulkopuolella havaittiin muutamilla lohkoilla uusia, haitallisia rikkakasvilajeja, kuten mustakoisoa ja kananhirssiä.



Kuva 20. Porkkanalohkojen rikkakasvien määrä kymmenen näytealan keskiarvoina heinä-elokuussa ja sadonkorjuun aikaan kasvukaudella 2018. Lohkolla H havainnot on tehty vain sadonkorjuun yhteydessä ja lohkoilla J, K ja L vain kesällä.

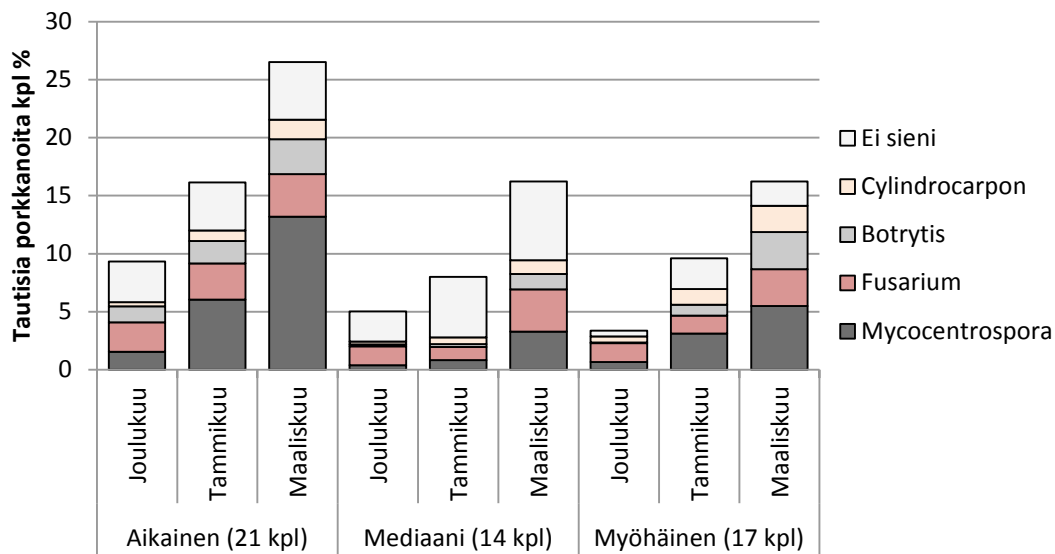
Taulukko 5. Rikkakasvien valtalajit porkkanalohkoilla kesän ja syksyn havaintokerroilla kasvukaudella 2018.

	Päivä	Valtalajit	Päivä	Valtalajit
A	4.7.	pillike, valvatti, jauhosavikka, pihatähtimö, juolavehnä	19.9.	linnunkaali, kiertotatar, lemmikki
B	4.7.	pelto-orvokki, peltotaskuruoho, peltoemäkki	19.9.	pelto-orvokki, pihatähtimö, jauhosavikka, valvatti, kylänurmikka, peltolemmikki
C	11.7.	pillike, pelto-orvokki	11.9.	orvokki, kiertotatar, juolavehnä
D	11.7.	kylänurmikka, orvokki, peltokierto, jauhosavikka, pillike	11.9.	kylänurmikka, peltolemmikki
E	12.7.	juolavehnä, kiertotatar, savikka, peltopähkämö, linnunkaali, pillike	31.8.	juolavehnä, peltopähkämö, kiertotatar, linnunkaali
F	7.8.	pelto-orvokki, peltolemmikki	1.10.	pelto-orvokki, kylänurmikka
G	7.8.	korte, pelto-orvokki, villakko	1.10.	pelto-orvokki, villakko, saunakukka, peippi
H			1.10.	pillike, villakko, orvokki, tatar
I	8.8.	saunakukka, kylänurmikka, pelto-orvokki	2.10.	kylänurmikka, pelto-orvokki, saunakukka
J	18.7.	tatar, juolavehnä, pillike		
K	18.7.	pelto-orvokki, pillike, tatar, peltohatikka		
L	20.7.	saunakukka, tatar, pihatähtimö, jauhosavikka		

3.6. Taustatekijöiden yhteys varastotautien esiintymiseen

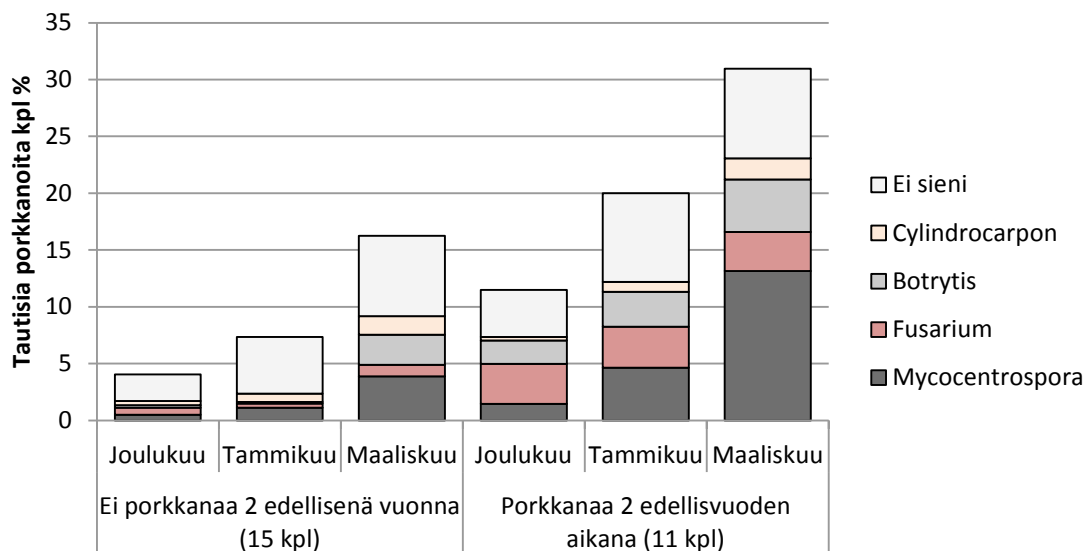
Porkkanalohkoilta kerättiin viljelyyn ja viljelyhistoriaan liittyvää taustatietoa, mutta valitettavasti osalta lohkoja tiedot jäivät puutteellisiksi etenkin viljelyhistorian osalta. Jokseenkin kaikilta lohkoilta oli kuitenkin käytettävissä SoilFood-analyysin tulokset ravinteista, maalajista ja pH:sta.

Yksi varastokestävyyteen selvästi vaikuttanut seikka oli noston ajoittuminen (Kuva 21). Aikaisin nostetuissa (yleensä ennen 25.9.) erissä varastotappiot olivat lähes kaksinkertaiset verrattuna myöhään (yleensä 3.10. jälkeen) nostettuihin eriin. Erityisesti mustamätää esiintyi runsaasti varhain nostetuissa erissä, mikä on tullut esiin myös aiemmissa tutkimuksissa.



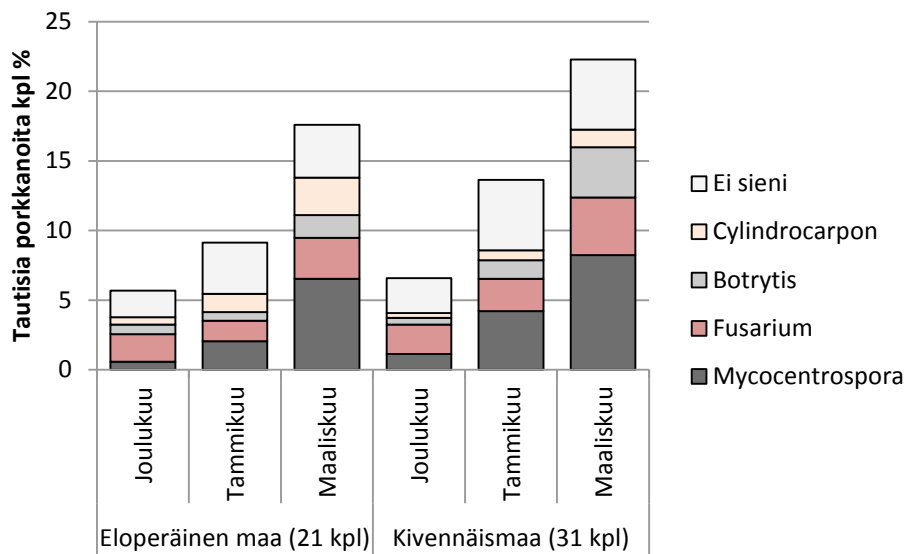
Kuva 21. Nostoajankohdan vaikutus porkkanan tautisuuteen ja tauteja aiheuttavaan sienilajistoon varastoinnin kuluessa. Mediaani tarkoittaa kukin vuoden tyypillisintä nostoajankohtaa, joka yleensä oli syyskuun loppupuolella. Aikainen tarkoittaa nostoa vähintään viikkoa ennen ja myöhäinen vähintään viikkoa jälkeen kukin kesän tyypillisen nostoajan.

Intensiivinen porkkanan viljely samalla lohkollla lisää varastotautien riskiä. Lohkoilla, joilla oli viljelty porkkanaa joko edellisenä tai sitä edeltävä vuonna, varastotautien pilaama osuus sadosta oli noin kaksinkertainen verrattuna lohkoihin, joilla ei ollut viljelty porkkanaa edeltävinä vuosina (Kuva 22). Etenkin mustamädän ja *Fusarium*-sienten määrä oli suurempi intensiivisissä porkkanan viljelykierroissa. Harmahomettakin esiintyi hieman enemmän, ja se alkoi pilata porkkanoita aikaisemmin voimape-
räisissä viljelykierroissa kuin lohkoilla, joilla porkkanaa ei ollut viljelty.



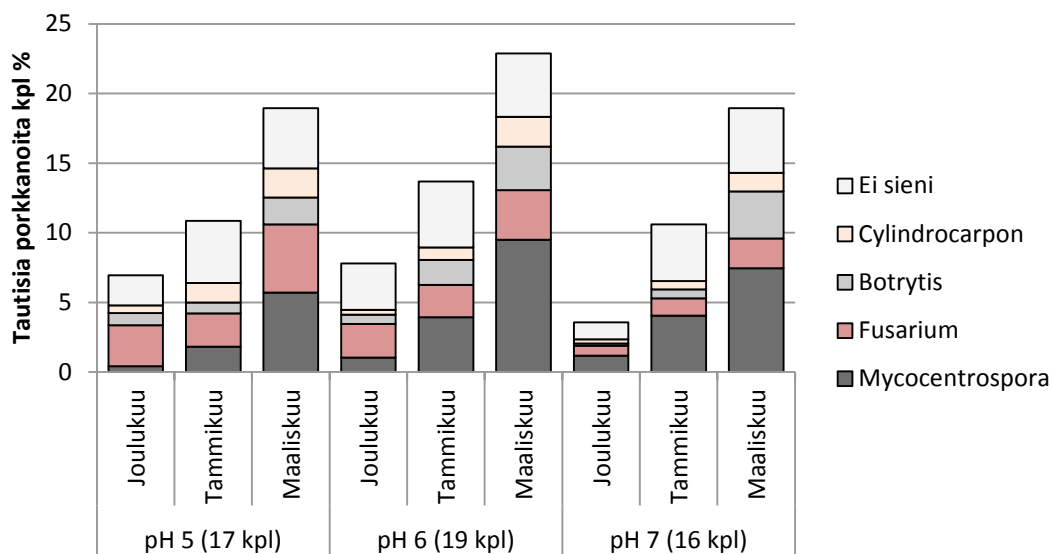
Kuva 22. Intensiivisen porkkanan viljelyn vaikutus porkkanan tauteihin ja taudinaiheuttajiin varastoinnin kuluessa.

Maalajien välillä ei havaittu suuria eroja keskimääräisessä säilyvyydessä. Eloperäisillä mailla tauteja ja taudinaiheuttajia oli hieman vähemmän kuin kivennäismailla. Taudinaiheuttajista *Cylindrocarpon*-sientä vaikutti esiintyvän jonkin verran enemmän eloperäisillä mailla kuin kivennäismailla (Kuva 23).



Kuva 23. Maalajien vaikutus porkkanan tauteihin ja taudinaiheuttajiin varastoinnin aikana.

Maan pH näytti vaikuttavan jonkin verran porkkanan säilyvyyteen. Kun maan pH oli yli 6,3, porkkanat säilyivät varastossa hieman paremmin, etenkin varastokauden alkupuolella, kuin matalammilla pH-tasoilla. Tautisissa porkkanoissa oli alhaisimmassa pH-luokassa selvästi enemmän *Fusarium*-sieniä kuin *Mycoentrospora*-sientä. Maan pH-arvon noustessa *Mycoentrospora*-lajin osuus suhteessa *Fusarium*-sieniin lisääntyi (Kuva 24).



Kuva 24. Maan pH:n vaikutus porkkanan tauteihin ja taudinaiheuttajiin varastoinnin aikana. Maan pH-luvut on luokiteltu seuraavasti pH 5 = pH alle 5,8; pH 6 = pH 5,9 – 6,2; pH 7 = pH yli 6,3.

Maan ravinnepitoisuudet eivät tässä aineistossa selittäneet varastotautien esiintymistä, vaikka peltojen ravinteisuudessa oli erittäin suurta vaihtelua lohkojen välillä.

4. Tulosten tarkastelu ja johtopäätökset

Tässä tutkimuksessa selvitettiin porkkanan varastotautien aiheuttaman hävikin suuruutta, tyypillisiä oireita ja taudinaiheuttajia kolmena sääoloiltaan erilaisena kasvukautena. Lisäksi pyrittiin arvioimaan tekijöitä, jotka liittyivät porkkanaerien hyvään tai huonoon säilyvyyteen. Tutkimusaineistona oli 52 porkkanaerää, jotka oli nostettu käsin vihannesviljelmiltä maan eri osista.

Tulokset osoittivat, että useimmissa tutkituissa porkkanaerissä varastohävikki maaliskuuhun mennessä oli tyypillisesti 15–25 % kaikkina vuosina. Muutamissa erissä vuosittain säilyvyys oli erittäin hyvä ja hävikki jäi vielä maaliskuussakin alle 10 %. Heikosti säilyneitä eriä oli vuosittain 2–5 kpl, ja niissä hävikki oli 40–50 %. Hävikit olivat samaa suuruusluokkaa kuin Vanhalan ym. (2008) ja livosen ym. (2014) tutkimusaineistoissa. Varastohävikkiä voidaan pitää yhä merkittävänä tekijänä tuotannon taloudellisen tuloksen ja sadon laadun kannalta.

Tyypillisin vioitus porkkanoissa oli juuren kärjestä alkava pilaantuminen. Oireilevien porkkanoiden määrä lisääntyi ja vioitukset muuttuivat vakavammiksi varastoinnin aikana. Sieniviljelyssä pilaantuneista juurten kärjistä löytyi eniten *Mycocentrospora*-, *Fusarium*- ja *Botrytis*-lajeja. Aiempiin tutkimuksiin verrattuna (Mukula 1957, Tahvonen 1985) *Botrytis*-lajien osuus vioittuneissa porkkanoissa oli varsin pieni ja *Fusarium*-sieniä esiintyi hyvin runsaasti. Pahkahometta, joka aiemmissa tutkimuksissa on ollut hyvin merkittävä tuhojen aiheuttaja, ei tässä aineistossa esiintynyt juuri lainkaan.

Keskimäärin 30 %:ssa vioittuneista juurten kärjistä ei sieniviljelyssä kasvanut lainkaan tunnistettavia sienilajeja. Vuoden 2018 sadossa tällaisten näytteiden osuus oli lähes 70 %. Viljelymenetelmän heikoutena on se, että pitkälle pilaantuneissa näytepaloissa kasvoi paljon erilaisia bakteereita, jotka todennäköisesti estivät sienten kasvua. Osa bakteereista voi myös olla primaarisia taudinaiheuttajia, joiden merkitystä pitäisi tutkia tarkemmin. Osassa lievästi vioittuneita juurten kärkiä vioituksen syy saattoi myös olla haihdunnasta johtuva nahistuminen.

Vuosien välillä oli jonkin verran eroja taudinaiheuttajien esiintymisessä. Porkkanoiden alttiuden harmaahomeelle tiedetään lisääntyvän, kun juuri menettää nestejännitystä haihdunnan myötä. Tämä saattoi osin selittää harmaahomeen runsautta vuoden 2016 sadossa, jolloin varastoinnin aikainen painohävikki oli muita suurempaa. Mustamätää esiintyi eniten vuoden 2017 sadossa, jolloin kasvukausi oli sateisin. Myös viljelijöiden havaintojen mukaan mustamädän aiheuttamat oireet ovat pahimpia sateisina kasvukausina.

Eri sienilajien keskinäinen osuus vioittuneissa juurten kärjissä muuttui varastoinnin aikana. Tautienustenäytteessä ja joulukuun varastonäytteessä *Fusarium*-sienten osuus oli huomattavan suuri verrattuna *Mycocentrospora*- ja *Botrytis*-lajeihin. Varastokauden edetessä *Fusarium*-lajien osuus väheni ja etenkin *Mycocentrospora*-sienen osuus lisääntyi merkittävästi. Useimpien tutkimusten mukaan (Årsvoll 1969, Snowdon 1992, Hermansen ym. 2012) *Mycocentrospora* lisääntyy varastoinnin pitkeytyessä. *Fusarium*-lajeista porkkanan varastotauteina on hyvin niukasti tutkimustietoa, mutta yleensä niitä pidetään luonteeltaan sekundaarisina pilaajina (Snowdon 1992). Tämän aineiston perusteella *Fusarium*-lajit vaikuttaisivat nimenomaan primaarisilta pilaajilta, jotka eivät niinkään lisäänty varastossa.

Keskimäärin hyvin pienessä osassa porkkanoista esiintyi kantaosasta alkavaa mustaa mätää. Muutama yksittäisessä porkkanaerässä tällaista vioitusta kuitenkin oli yli 10 %:ssa porkkanoista. Sieniviljelyssä mustista kantaosista kasvoi lähes pelkästään *Fusarium*- ja *Mycocentrospora*-sieniä. Kantaosasta alkavaa vioitusta pidetään usein *Botrytis*-sienen aiheuttamana (Snowdon 1992), mutta tässä aineistossa harmaahometta ei pilaantuneissa kantaosissa esiintynyt juuri lainkaan. Pilaantuneissa

kantaosissakin *Fusarium*-lajeja esiintyi eniten pilaantumisen nuste- ja joulukuun varastonäytteessä, mutta sen osuus väheni merkittävästi varastokauden edetessä.

Miltei kaikissa tutkituissa porkkanerissä esiintyi porkkanoiden kyljissä erilaisia kuoppia ja koloja, joiden ilmiasu vaihteli erästä toiseen. Hollannissa porkkanaerät, joissa kuoppaisia porkkanoita on yli 5 %, eivät kelpaa tuoremyyntiin (Kastelein ym. 2007). Tässä aineistossa vain muutamissa yksittäisissä erissä kuoppaisten porkkanoiden osuus ylitti 5 %. Kuoppaisten porkkanoiden osuus ei lisääntynyt kovin merkittävästi varastoinnin aikana.

Sienimäärityksissä kuoppaisista porkkanoista löytyi yleisimmin *Mycocentrospora*- ja *Fusarium*-sieniä. Lisäksi porkkanoista, joissa oli laakeita painaumuksia, kasvoi usein *Botrytis*-sientä. *Fusarium*-sienten osuus näissäkin vioituksissa oli hyvin suuri verrattuna aiemmin julkaistuihin tutkimuksiin (Mukula 1957, Årsvoll 1969, Tahvonen 1985, Kastelein ym. 2007, Hermansen ym. 2012). Kuoppaisista porkkanoista ei löytynyt *Alternaria radicina*- tai *Rhexocercosporidium carotae*-lajeja, jotka on muualla todettu yleisiksi kuoppataudin aiheuttajiksi (Snowdon 1992, Kastelein ym. 2007). Kuoppaisissa porkkanoissa kasvoi melko usein *Cylindrocarpon*-sieniä, joiden merkityksestä porkkanan tautina on julkaistu hyvin vähän tutkimuksia. *Cylindrocarpon*-lajit on todettu kuoppaoireiden aiheuttajiksi palsternakalla (Channon ja Thomson 1981) ja perunalla (Choiseul ym. 2006), joten niillä voi olla merkitystä myös porkkanan pilaajina.

Yhteenvetona yleisimmät erilaisissa vioituksissa kasvaneet sienilajit olivat *Mycocentrospora acerina*, *Fusarium*-lajit ja *Botrytis cinerea*. Huomattavasta osasta vioituksia ei saatu eristettyä sieniä, mutta niissä oli bakteereita, joilla voi olla merkittävä rooli porkkanan pilaajina (Kahala ym. 2008). Pahkahometta (*Sclerotinia sclerotiorum*) porkkanoissa ei aiemmista tutkimuksista (Mukula 1957, Tahvonen 1985) poiketen juuri esiintynyt. Myöskään muualla melko yleisiä *Alternaria radicina*- ja *Athelia arachnoidea*-, sekä kuoppaoireita aiheuttavaa *Rhexocercosporidium carotae*-sieniä (Årsvoll 1969, Snowdon 1992, Kastelein ym. 2007, Hermansen ym. 2012) ei tässä tutkimuksessa löydetty. Eri vioituksissa esiintyi satunnaisesti *Pythium*-munasieniä, mutta kasvukaudella tyypillisiä kuoppataudin aiheuttajalajeja, *P. sulcatum* ja *P. violae* (Hiltunen ja White 2002), ei varastoporkkanoista löydetty.

Tutkimuksessa kehitettiin myös DNA-perusteisia menetelmiä porkkanan taudinaiheuttajien tunnistamiseksi suoraan porkkananäytteistä. Nämä osoittautuivat maljausmenetelmää tehokkaammiksi erityisesti *Mycocentrospora*- ja *Fusarium*-sienten tunnistamisessa. Jatkossa onkin mahdollista kehittää nopeita testejä, joilla voidaan määrittää pilaajasienet ja niiden määrä varastonäytteissä. Sienten viljelymenetelmiin verrattuna DNA-perusteisten menetelmien heikkoutena on, että näytteissä löytyvä DNA voi olla peräisin myös kuolleista mikrobeista, jotka eivät enää kykene vaurioittamaan porkkanaa.

Tautien torjunnan kannalta porkkanaeristä löydetty sienilajit poikkeavat toisistaan. Etenkin *Mycocentrospora*-sienen esiintymistä näytti tämänkin tutkimuksen aineistossa lisäävän osaltaan varhainen sadonkorjuu-aika tai intensiivinen, porkkanaa esikasvuvuonna sisältävä viljelykierto. Vaikka yksittäisellä peltolohkolla viljelykierto ei kaikissa tapauksissa vaikuta selittävän hyvää tai huonoa säilyvyyttä, puutteellinen viljelykierto lisää kuitenkin varastotappioiden riskiä (Hermansen ym. 1997).

Porkkanalohkoilla esiintyi vuoden 2018 kartoituksessa yleisesti pelto-orvokkia ja saunioita, jotka ovat *Mycocentrospora*-sienen tärkeitä isäntäkasveja. Runsaana esiintyessään rikkakasvit voivat hyvässäkin viljelykierrossa lisätä taudinaiheuttajaa porkkanan välivuonna (Hermansen 1992). Tässä tutkimusaineistossa rikkakasvilajiston ja *Mycocentrospora*-sienen välistä yhteyttä ei aineiston rajallisuuden takia voitu osoittaa.

Harmaahomeen esiintymiseen ja sen aiheuttamiin tuhoihin on vaikea vaikuttaa viljelytekniikan keinoin, sillä harmaahomeen itiöitä esiintyy kaikkialla etenkin syksyllä (Snowdon 1992). Kuitenkin harmaahomekin lisääntyy lohkoilla, joilla oli viljelty porkkanaa edellisvuonna. Tuhoja voi ehkäistä valit-

semalla varastointiin soveltuvia lajikkeita, minimoimalla mekaaniset vioitukset sadonkorjuussa ja estämällä liiallisen haihdunnan porkkanoista varastoinnin aikana (Suojala 2000, Vanhala ym. 2008).

Fusarium-sieniä esiintyi myös enemmän porkkanaintensiivisissä kuin muissa viljelykierroissa. Porkkanalla esiintyneet lajit, etenkin *F. avenaceum*, ovat hyvin moni-isäntäisiä ja niitä voi esiintyä monilla porkkanatiloilla viljeltävillä viherlannoituskasveilla (Kivijärvi ym. 2019). Porkkanalla esiintyneet *Fusarium*-lajit ovat myös hyvin yleisiä perunan varastotautien aiheuttajia (Choiseul ym. 2006), ja niitä esiintyy yleisesti myös viljakasvien tyvitautien aiheuttajina (Parikka ym. 2014). Porkkanalla ei kuitenkaan esiintynyt sipulia pellolla ja varastossa pilaavia *Fusarium*-lajeja (Haapalainen ym. 2016).

Tässäkin tutkimuksessa hyödynnettiin tautiennustemenetelmää, jossa porkkanoita pidetään noston jälkeen kuuden viikon ajan 10 asteen lämpötilassa varastotautien ennakoimiseksi. Tulokset olivat samansuuntaisia kuin aiemminkin: ennuste tuottaa suuntaa antavan tiedon erän tautisuudesta, mutta yksittäisen erän kohdalla ero kylmävarastoinnissa ilmi tulevaan tautivioitukseen voi olla huomattava. Ennusteen luotettavuutta voisi parantaa taudinaiheuttajien tunnistus ennustevarastoinnin jälkeen PCR-menetelmällä, joka tämän tutkimuksen perusteella löysi porkkanaerien tautisienet tehokkaammin kuin visuaalinen tarkastelu tai maljausmenetelmä.

Tutkimusaineistossa maalaji, maan happamuus tai ravinteisuus ei selittänyt tautien esiintymistä kovin selvästi, joskin taudinaiheuttajalajistossa oli havaittavissa pieniä eroja erilaisilla mailla. *Fusarium*-sieniä esiintyi eniten maissa, jonka pH oli alhainen.

Aineistossa oli mukana joitakin luomulohkoja, joiden sato säilyi melko hyvin. Luomulohkojen vähäisen määrän vuoksi viljelymenetelmän vaikutuksesta ei voi vetää johtopäätöksiä. Kuitenkin voi todeta, että luomulohkoilla kaksivuotisten heinä-apilanurmien käyttö kierrossa ei näyttänyt lisäävän varastotuhoja keskimääräiseen verrattuna eikä niillä esiintynyt mustamätää. Jatkotutkimuksissa kiinnostava tutkimusaihe on muun muassa maan mikrobien merkitys varastotautien esiintymisen kannalta.

Varastotautien hallinta on moniulotteinen kokonaisuus, jossa yksittäiset tekijät eivät selitä hyvää tai huonoa säilyvyyttä. Niin tämän kuin aiempien tutkimusten valossa voidaan listata seuraavat tekijät, joista huolehtimalla voidaan edistää sadon hyvää varastolaatua:

- Lajikevalinta: varastoon kannattaa viedä vain lajikkeita, joiden tiedetään soveltuvan varastointiin. Lajikkeiden menestyminen ja varastokestävyys kuitenkin vaihtelevat vuosittain jonkin verran.
- Viljelykierto: porkkanaa ja muita sarjakukkaisia kasveja kannattaa viljellä kierrossa mielellään vain joka viides vuosi mustamätäriskin minimoimiseksi.
- Rikkakasvien hallinta: rikkakasvien torjunnasta pitää huolehtia myös viljelykierron välivuosina.
- Sadonkorjuun ajoittaminen: ”aikainen” korjuu lisää varastotappioiden riskiä. Pisimpään varastoitavat erät kannattaa nostaa vasta aivan kasvukauden lopulla. Varhain nostetut porkkanaerät kannattaa pyrkiä markkinoimaan ajoissa, jolloin mahdollinen tautitartunta ei ehdi aiheuttaa suuria varastotappioita.
- Korjuuvaurioiden välttäminen: pienetkin mekaaniset vauriot, joita syntyy sadonkorjuun yhteydessä, helpottavat taudinaiheuttajien pääsyä porkkanan sisään. Korjuun ja siirtojen yhteydessä tulee pyrkiä välttämään porkkanoiden vaurioitumista.
- Varasto-olosuhteiden hyvä hallinta: hyvä lämpötilan ja ilman kosteuden hallinta varastoinnin aikana vähentää varastotappioita.

Viitteet

- Aaltonen, M., Hannukkala, A., Huusela-Veistola, E., Jalli, H., Ketola, J., Känkänen, H., Nissinen, A., Raiskio, S., Ruuttunen, P., Salo, T., Tiilikkala, K., Tuovinen, T. & Vänninen, I. 2016. Porkkana, IPM-ohjeet 2016. Luonnonvarakeskus (Luke). ISBN: 978-952-326-213-3
- Channon, A. G. & Thomson, M. C. 1981. Parsnip canker caused by *Cylindrocarpon destructans*. *Plant Pathology* 30: 181.
- Choiseul, J., Allen, L. & Carnegie, S. F. 2006. Fungi Causing Dry Tuber Rots of Seed Potatoes in Storage in Scotland. *Potato Research* 49: 241–253.
- Fan, X., Zhang, J., Yang, L. & Wu, M. 2015. Development of PCR-based assays for detecting and differentiating three species of *Botrytis* infecting broad bean. *Plant Disease* 99: 691–698.
- Haapalainen, M., Latvala, S., Kuivainen, E., Qiu, Y., Segerstedt, M. & Hannukkala, A.O. 2016. *Fusarium oxysporum*, *F. proliferatum* and *F. redolens* associated with basal rot of onion in Finland. *Plant Pathology* 65, 8: 1310–1320.
- Hartikainen ym. 2017. Food losses and waste in primary production. Case studies on carrots, onions, peas, cereals and farmed fish. TemaNord 2016: 557. 216 s. <http://dx.doi.org/10.6027/TN2016-557>
- Hermansen, A. 1992. Weeds as hosts of *Mycocentrospora acerina*. *Annals of Applied Biology* 121: 679–686.
- Hermansen, A., Amundsen, T., Taksdal, G., Dragland, S., Synnevåg, G., Flønes, M. & Sundheim, L. 1997. *Mycocentrospora acerina* in carrots; Effects of crop rotation on disease incidence. *Annals of Applied Biology* 131: 399–411.
- 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.
- Hiltunen, L. H. & White, J. G. 2002. Cavity spot of carrot (*Daucus carota*). *Annals of Applied Biology* 141: 201–223.
- Iivonen, S., Koivisto, A., Mikkola, M., Väisänen, H-M., Tuomisto, J., Kivijärvi, P. & Mattila, T. 2014. Luomukasvituotannon kannattavuus ja tarjontaketjujen toimivuus Suomessa. Helsingin yliopisto Ruralia-instituutti, Raportteja Nro 125. 62 s. ISBN 978-952-10-8504-8. <https://helda.helsinki.fi/handle/10138/229346>
- Kahala, M., Blasco, L., Wallius, E., Pitkänen, T. & Joutsjoki, V. 2008. Porkkanan pilaajabakteerit *Pseudomonas* ja *Pectobacterium* – eristäminen ja tunnistaminen suomalaisista porkkanoista. S. 55–72 julkaisussa Vanhala, P. (toim.) 2008. Porkkanan kuluttajalaadun parantaminen. *Maa- ja elintarviketalous* 128. 136 s. Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus. <https://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/474172/met128.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Kastelein, P., Stilma, E. S. C., Elderson, J. & Köhl, J. 2007. Occurrence of *Rhizoctonia carotae* on cold stored carrot roots in the Netherlands. *European Journal of Plant Pathology* 117: 293–305.
- Kivijärvi, P., Iivonen, S., Hannukkala, A. & Suojala, S. 2019. Viherlannoitus- ja kerääjälasvit avomaanvihannestuotannossa. Luke Tietokortti. Luonnonvarakeskus 15 s. <https://jukuri.luke.fi/handle/10024/538580>
- Lehto, M., Kuisma, R., Kymäläinen, H.-R., Suojala-Ahlfors, T., Laamanen, T.-L., Sipilä, I., Pienmunne, E. & Mäki, M. 2013. Tuorevihannesten tuotantoketjun tavoitteena turvallinen tuote. MTT Raportti 86. 63 s. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-487-437-3>
- 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.
- Parikka, P. 2008. Porkkanan taudit. S. 48–54 julkaisussa Vanhala, P. (toim.) 2008. Porkkanan kuluttajalaadun parantaminen. *Maa- ja elintarviketalous* 128. 136 s. Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus. ISBN 978-952-487-185-3

- (Verkkojulkaisu) <https://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/474172/met128.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Parikka, P., Kaukoranta, T., Rämö, S., Hietaniemi, V., Asola, A., Jestoi, M., Virkajärvi, p., Sarlin, T., Holopainen, U. & Laitila, A. 2014. Fusarium-homeet viljassa. Homeen tartunta ja toksiinien muodostuminen sekä sadon toksiiniriskin hallinta. MTT Raportti 153. 57 s. (Verkkojulkaisu) <https://jukuri.luke.fi/handle/10024/484746>
- Snowdon, S. 1992. Color Atlas of Post-harvest Diseases & Disorders of Fruits & Vegetables Volume 2: Vegetables. BPCC Hazell Books, Aylesbury, England. 416 p. ISBN 0-8493-7734-X.
- Suojala, T. 2000. Pre- and postharvest development of carrot yield and quality. Academic Dissertation, University of Helsinki, Department of plant production, Section of Horticulture, Publication no. 37. 47 s. ISBN 951-45-9169-0. <http://ethesis.helsinki.fi/julkaisut/maa/kastu/vk/suojala/>
- 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)
- Vanhala, P. (toim.) 2008. Porkkanan kuluttajalaadun parantaminen. *Maa- ja elintarviketalous* 128. 136 s. Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus. ISBN 978-952-487-185-3 (Verkkojulkaisu) <https://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/474172/met128.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Vanhala, P., Kallela, M., Pitkänen, T., & Suojala-Ahlfors, T. 2008. Porkkanan varastokestävyys ja viljelytekijät. S. 36–47 julkaisussa Vanhala, P. (toim.) 2008. Porkkanan kuluttajalaadun parantaminen. *Maa- ja elintarviketalous* 128. 136 s. Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus. ISBN 978-952-487-185-3 (Verkkojulkaisu) <https://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/474172/met128.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Årsvoll, K. 1969. Pathogens on carrots in Norway. *Meldinger fra Norges landbrukshegskole* 48(2):52.

Liite

Kuukauden keskilämpötilat eri mittausasemilla touko-syyskuussa vuosina 2016--2018.

Vuosi	Kuukausi	Turku Artukainen	Jokioinen Ilmala	Mikkeli lentoasema	Kuopio Savilahti
2016	Touko	13.1	12.8	12.8	13.1
	Kesä	15.7	14.7	15	14.8
	Heinä	18.1	16.8	16.9	17.7
	Elo	16.2	15	14.9	15.2
	Syys	12.9	11.5	10.6	10.9
2017	Touko	9.6	8.9	7.8	6.6
	Kesä	13.9	12.8	12.6	13
	Heinä	16.5	14.9	14.9	15.5
	Elo	16.2	14.6	14.6	15
2018	Touko	11.9	10.4	9.5	9.7
	Kesä	15.2	14.6	13.7	13.7
	Heinä	15.3	14.6	14.5	14.3
	Elo	21.4	20.3	19.5	20.6

Kuukauden sademäärät eri mittausasemilla touko-syyskuussa vuosina 2016–2018.

Vuosi	Kuukausi	Turku Artukainen	Jokioinen Ilmala	Mikkeli lentoasema	Kuopio Savilahti
2016	Touko	40	31	8	17
	Kesä	49	74	61	86
	Heinä	46	57	163	110
	Elo	77	67	79	64
	Syys	23	40	38	41
2017	Touko	18	13	15	26
	Kesä	55	102	76	40
	Heinä	24	45	61	80
	Elo	92	94	115	82
2018	Touko	35	42	56	74
	Kesä	18	23	24	26
	Heinä	19	55	42	108
	Elo	61	37	45	40



luke.fi

Luonnonvarakeskus
Latokartanonkaari 9
00790 Helsinki
puh. 029 532 6000