



Uuden perunaruton epidemiologia ja kemiallinen torjunta

Aarne Kurppa ja Marjo Segerstedt (toim.)



Kasvintuotanto
Teknologia

Maa- ja elintarviketalous 3
66 s.

Uuden perunaruton epidemiologia ja kemiallinen torjunta

Aarne Kurppa ja Marjo Segerstedt (toim.)

Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus

ISBN 951-729-657-6 (Painettu)
ISBN 951-729-658-4 (Verkkajulkaisu)
ISSN 1458-5073 (Painettu)
ISSN 1458-5081 (Verkkajulkaisu)

www.mtt.fi/met

Copyright

MTT

Kirjoittajat

Julkaisija ja kustantaja

MTT, 31600 Jokioinen

Jakelu ja myynti

MTT, Tietopalvelut, 31600 Jokioinen

Puhelin (03) 4188 2327, telekopio (03) 4188 2339

sähköposti julkaisut@mtt.fi

Julkaisuvuosi

2002

Kannen kuva

Pasi Suomi

Uuden perunaruton epidemiologia ja kemiallinen torjunta

Aarne Kurppa ja Marjo Segerstedt (toim.)¹⁾

¹⁾ MTT, Kasvintuotannon tutkimus, 31600 Jokioinen, aarne.kurppa@mtt.fi,
marjo.segerstedt@mtt.fi

Tiivistelmä

Vuosina 1999-2001 toteutetun Uuden perunaruton epidemiologia ja kemiallinen torjunta- tutkimushankkeen tavoitteena oli selvittää maasta alkavan tartunnan ja suvullisen lisääntymisen vaikutusta ruttoepidemian kulkuun ja ruttopopulaation muunteluun. Torjuntaruiskutuksiin käytettävän tekniikan kehittämiseksi verrattiin ilma-avusteisilla ja perinteisillä kasvinsuojeluruiskuilla saavutettavaa teknistä ruiskutustulosta ja biologista rutontorjuntatehoa. Lisäksi tutkittiin mahdollisuuksia täsmentää ensimmäisen torjuntaruiskutuksen ja uusintaruiskutusten ajoitusta. Tilatasolla kartoitettiin keinoja, joilla luonnonmukaisesti perunaa tuottavat viljelijät kamppailevat ruttoa vastaan.

Maasta alkava tartunta osoittautui merkittäväksi perunaruttoepidemioiden alkamiseen ja etenemisnopeuteen vaikuttavaksi tekijäksi, mikä on huomioitava torjunnan suunnittelussa. Maatartuntaa edistävät tekijät on selvitettävä, ja lisääntyneen muuntelun seurauksia lajikkeiden kestävyden ja torjunta-aineiden tehon säilymiseen on jatkuvasti seurattava. Hankkeessa kehitetyillä moderneilla PCR-menetelmillä tämä on entistä helpommin toteutettavissa. Maatartunta on erityisesti uhka luomutuotannolle, jossa hyväksytään ruton iskeytyminen kasvustoon. Paineilmaan perustuvat ruiskutustekniikat eivät parantaneet biologista torjuntatehoa viljelmän ulkopuolelta leviävää ruttoa vastaan, mutta ruiskutuksen vaatimaa työpanosta voidaan niiden avulla vähentää. Perunakasvustojen alaosien suojaamiseksi maasta tulevalta tartunnalta pitäisi kehittää uudentyyppisiä teknologisia ratkaisuja. Rutontorjunta-aineiden käyttöä voidaan optimoida säämittauksiin perustuvien ennustemallien avulla, mutta etenkin mukularuton leviämiseen vaikuttavat tekijät vaativat lisätutkimusta. Fluatsinami- valmisteet antavat parhaan suojan mukularuttoa vastaan.

Asiasanat: peruna, kasvitaudit, perunarutto, Phytophthora infestans, kasvinsuojelu, epidemiologia, sienitiöt, ennusteet, kemiallinen torjunta, fungisidit, kasvinsuojeluruiskut, luonnonmukainen viljely, PCR-tekniikka

The epidemiology and control of the new population of *Phytophthora infestans*

Aarne Kurppa ja Marjo Segerstedt (eds.)¹⁾

¹⁾MTT, Agrifood Research Finland, Plant Production Research, FIN-31600 Jokioinen, Finland, aarne.kurppa@mtt.fi, marjo.segerstedt@mtt.fi

Abstract

The changes in onset of blight epidemics, in occurrence of fungicide resistance, mating type ratio, virulence race composition and genetic diversity of field populations of *Phytophthora infestans* (*P.i.*) were surveyed to track the possible needs to change disease management practises. Different fungicide application techniques were studied to increase the efficacy of chemical blight control by improving fungicide coverage, distribution and penetration in canopy at different growth stages of potato. Blight forecast based on Neg-Fry model was validated in comparison to detection of *P.i.* DNA in crop for timing of the fungicide applications. Blight management practices applicable in organic potato production were surveyed in a case study on an advanced organic farm.

Soil borne inoculum proved to have great impact on the onset and development of late blight epidemic, which should be seriously considered in control strategies. It is important to study environmental factors affecting soil borne disease progress as well as durability of resistance of cultivars and efficacy of fungicides. The novel PCR-methods developed during the study provide an efficient tool for the task. The spray techniques based on air pressure did not improve efficacy of fungicides against air borne blight while these techniques can save labour and time. Application techniques providing adequate blight control at the lowest parts of the canopy should be developed.

Index words: potato, crop protection, plant diseases, potato late blight, Phytophthora infestans, epidemic, oospores, chemical control, fungicides, PCR

Sisällysluettelo

Perunaruton torjunta vaatii tietoa, tarkkuutta ja uutta viljelykulttuuria <i>Kurppa, A.</i>	6
Ruttoepidemioiden muuttuminen 1990-2001 <i>Rahkonen, A. & Hannukkala, A.</i>	8
Ruttopopulaation monimuotoisuus perunapelloilla vuosina 1990-2000 <i>Hannukkala, A., Lehtinen, A. & Rantanen, T.</i>	14
Munaitiöt ovat vaarallinen perunaruton tartuntalähde pellossa <i>Lehtinen, A., Hannukkala, A. & Rantanen, T.</i>	20
Ruton leviäminen maasta kasviin ja maasta alkaneen epidemian eteneminen pellolla <i>Rantanen, T., Lehtinen, A. & Hannukkala, A.</i>	27
Kemiallisen torjunnan ja ainevalikoiman kehitys 1990-luvulla <i>Rahkonen, A.</i>	33
Ruiskutustekniikoiden parantaminen perunaruton torjunnassa <i>Lavonen, A., Suomi, P., Haapala, H. & Lehtinen, A.</i>	38
Lehti- ja mukularuton ennakointi ja torjunta <i>Hannukkala, A., Lehtinen, A. & Rantanen, T.</i>	50
Rutontorjunta luomuviljelyssä – tarkkailukohteena ruokaperunatila <i>Virtanen, E.</i>	56
Perunaruton torjuntastrategiat ja tutkimustarpeet <i>Hannukkala, A., Lehtinen, A. & Rantanen, T.</i>	60
Projektin aikana julkaistut artikkelit.....	64

Perunaruton torjunta vaatii tietoa, tarkkuutta ja uutta viljelykulttuuria

Aarne Kurppa¹⁾

¹⁾MTT, Kasvintuotannon tutkimus, 31600 Jokioinen, aarne.kurppa@mtt.fi

Perunaruttoa on pitkään totuttu pitämään jokasyksyisenä vieraana, joka vie perunoista varret, ellei halla ehdi ensin, mutta jolla ei ole suurtakaan vaikutusta perunasadon määrään. Mukularutto on kuitenkin toisinaan heikentänyt sadon laatua. Mitään seurannaisvaikutuksia pahallakaan ruttosyksyllä ei kuitenkaan havaittu olevan ruton esiintymiseen seuraavina kasvukausina.

Perunaruton epidemiologian biologiset perusteet muuttuivat ratkaisevasti 1980-luvun alussa, jolloin A1-muodon kanssa risteytyvä A2-parittelutyyppeiksi levisi Meksikosta Euroopan perunapelloille. 1990-luvulla havaittiin eri puolilla Suomea poikkeuksellisen aikaisin alkaneita tavallista rajumpia ruttoepidemioita, joiden torjumiseksi tarvittiin totuttua enemmän torjuntaruiskutuksia. Epidemioiden alkulähteeksi arveltiin maassa säilyneitä ruton munaitiöitä. Monissa Euroopan maissa oli löydetty munaitiöitä perunakasvustoista, joissa molempia parittelumuotoja esiintyi. Suorat todisteet munaitiöiden merkityksestä tartunnan ja perinnöllisen muuntelun lähteenä kuitenkin puuttuivat tämän tutkimushankkeen alkaessa. Suvullisen lisääntymisen myötä ruton muuntelumahdollisuus on kasvanut olennaisesti, ja vasta epidemian puhjettua tiedetään, millaiset ruttokannat ruttopopulaatioissa muodostuvat alueittain vallitseviksi. Ruton käyttäytymisen muuttuminen vaikeuttaa torjuntaa. Alueellinen ruttoriskiennuste ei yksin riitä varmistamaan torjuntatarvetta ja torjunnan ajankohtaa, vaan paikallista riskin kehittymistä ja oireiden ilmaantumista on seurattava lohkokokohtaisesti.

Perunaruton hallintamahdollisuudet näyttävät riippuvan enenevästi siitä, onnistutaanko maasta alkavan ruttotartunnan yleistymisen rajaamaan ja pystytäänkö tätä tartuntaa torjumaan välittömästi ja tehokkaasti. Myös ruttoriskin alueellisen ennustettavuuden tarkentuminen parantaisi torjuntamahdollisuuksia. Tähän kehittämistyöhön saataisiin merkittävää tukea täydentämällä ennusteen laatimisessa käytettyjen sääasemien mittaustietoja perunapelloille sijoitettujen pienoissääasemien mittaustiedoilla sekä kasvustojen havaintotiedoilla. Perustaksi ruttoriskin pienentämiseksi on joka tapauksessa otettava suunnitelmallinen kasvinvuorotus ja sen tukena on hyödynnettävä muita riskejä vähentäviä biologis-teknologisia panoksia ja toimenpiteitä. Kemiallinen rutontorjunta olisi osattava aloittaa oikeaan aikaan juuri ennen kuin ruttoa esiintyy kasvustossa. Myöhempi torjuntaohjelma tarkennetaan ruttoriskin kertymään ja lohkon seurantaan perustuen.

Osana viljelykulttuurin muutosta perunaruton hallintaan tarvitaan myös kollektiivista vastuunkantoa. Hyvään tulokseen ei riitä, että muutama viljelijä kyläyhteisössä hoitaa perunaviljelyksensä mallikkaasti. Yksikin ruttoinen lohko lisää koko alueen ruttoriskiä merkittävästi ja aiheuttaa täten ainakin ylimääräisiä kustannuksia kaikille sekä mahdollisesti johtaa ruton hallitsemattomaan leviämiseen.

Tässä raportoidussa tutkimusprojektissa on selvitty keskeisimpiä kysymyksiä, mitkä liittyvät uutta perunaruttoa aiheuttavien ruttopopulaatioiden ominaisuuksiin, ruttoepidemian puhkeamiseen ja kulkuun, ruttoriskin ennustamiseen sekä ruton torjunnan varmentamiseen hyödyntämällä erilaisia ja eri perustein suunniteltuja torjuntaohjelmia sekä ruiskutusteknologisia ratkaisuja. Ruiskutustekniikan kehittämiseksi on etsitty ratkaisuja, joilla ruiskutusneste saataisiin tunkeutumaan kasvustoon perunan varsiston kaikissa kehitysvaiheissa mahdollisimman tasaisesti ja peittävästi, ja joilla torjunta voitaisiin toteuttaa vaikeissakin olosuhteissa torjunnan taloudellisuutta unohtamatta sekä ympäristökuormitusta lisäämättä.

Vaativaksi, mutta erittäin keskeiseksi haasteeksi on katsottu maasta alkavan ruton vaiheiden ja merkityksen selvittäminen ruttoepidemian alkulähteenä. Projektissa on myös katsottu välttämättömäksi kehittää uutta tutkimusmetodiikkaa, jonka avulla ruton esiintyminen voidaan todeta kasvista ja mukuloiista jo ennen oireiden ilmaantumista, ja jolla ruttotartunta saadaan luotettavasti osoitetuksi myös maasta. Piilevän ruton tunnistaminen kasvustosta on nähty myös yhdeksi mahdollisuudeksi tarkentaa ensimmäisen ruttoruiskutuksen oikeaa ajankohtaa. Mukularuton esiintymistä ja torjuntaa on tarkasteltu osaksi erityiskysymyksenä, sillä ruton iskeytyminen mukuloihin riippuu muista tekijöistä kuin lehtiruton määrästä kasvustossa.

Perunaruton esiintymistä on seurattu MTT:ssä ja Perunantutkimuslaitoksessa käytännöllisesti katsoen niin kauan kuin ko. organisaatiot ovat olleet olemassa. Ruttotutkimusta voitiin vahvistaa merkittävästi 1990-luvun lopulla osana siemenperunan laadunhallinnan projektia. Samalla myös aktiivinen osallistuminen kansainväliseen tutkimusyhteistyöhön lisääntyi, mikä onkin liittännyt ruttotutkimusryhmämme arvostetuksi osaksi kansainvälistä tutkimusverkostoa. Tämän tuloksekkaan kehityksen, kuten myös tämän nyt päättyvän projektin toteuttaminen tässä laajuudessa on mahdollistanut vain Maa- ja metsätalousministeriön merkittävä rahoitustuki, mistä esitän ministeriölle suurkiitoksen.

Ruttoepidemioiden muuttuminen 1990-2001

Anne Rahkonen¹⁾ ja Asko Hannukkala²⁾

¹⁾Perunantutkimuslaitos, Ruusuontie 156, 16900 Lammi, anne.rahkonen@petla.fi

²⁾MTT, Kasvintuotannon tutkimus, Kasvinsuojelu, 31600 Jokioinen, asko.hannukkala@mtt.fi

Tiivistelmä

Perunan ruttoepidemioiden mahdollista aikaistumista selvitettiin Lammilla vuosina 1983–2001 ja Jokioisilla vuosina 1990–2001 toteutetuissa perunakoikeissa. Kokeissa havainnoitiin ruton alkamispäivämäärät ja eteneminen torjunta-aineella käsittelemättömissä ruuduissa. Lisäksi ruton populaatiotutkimuksen seuranta-aineistosta selvitettiin vuosina 1989-2001, milloin ensimmäiset ruttolaikut löytyivät eri puolilla Suomea. Havaintoja verrattiin vuosina 1931-1960 tehtyyn vastaavaan kartoitukseen. 1990-luvulla ruton alkaminen aikaistui koko maassa keskimäärin 3,5 vuorokautta vuodessa, Jokioisilla ja Lammilla vastaavasti 1,8 ja 1,6 vuorokautta vuodessa. Myös ruton ankaruus lisääntyi Lammilla ja Jokioisilla 1990-luvun puolivälin jälkeen. Tämä todettiin kasvustojen tuhoutumisnopeutta kuvaavien epidemiologisten muuttujien perusteella. Epidemioiden aikaistuminen ja mahdollisesti entistä aggressiivisemmin kasvustoja tuhoava rutto pitää ottaa huomioon, kun tehdään ruton ennustemalleja ja torjuntastrategioita.

Asiasanat: peruna, kasvinsuojelu, kasvitaudit, perunarutto, Phytophthora infestans, epidemiologia

1 Johdanto

Perunaruton alkamisen on havaittu aikaistuneen Pohjois-Euroopassa 1990-luvun aikana, joskin säästä johtuvat vuosittaiset ja maakohtaiset vaihtelut ovat suuria. Ranskassa, Hollannissa ja Belgiassa ensimmäiset ruttolaikut ovat viime vuosina ilmaantuneet huhti–toukokuun vaihteessa, Englannissa ja Saksassa toukokuun puolivälissä ja Pohjoismaissa kesäkuun alussa (Schepers 2001).

Aikaisin alkaneita epidemioita on todettu sen jälkeen, kun suvullisesti lisääntyvä populaatio syrjäytti Euroopasta vanhan klonaalisen populaation (Spielman ym. 1991). Maasta munaitiöiden välityksellä tapahtuva tartunta voi tuottaa aikaisia ruttopesäkkeitä (Drenth ym. 1995, Andersson ym. 1998). Tällä hetkellä Euroopan eri maissa vallitsee erilaisia käsityksiä siitä, onko maa (Andersson ym. 1998), perunan jätekasat (Zwankhuizen ym. 1998), vai sairaut ja etenkin oireettomat siemenmukulat (Appel ym. 2001) aikaisten epidemioiden tärkein alkulähde.

Peltohavainnot viittaavat siihen, että 1990-luvun lopun ruttoepidemia oli ollut rajumpia kuin aikaisemmat (Hannukkala 1998). Munaitiöistä syntyvissä jälkeläistöissä eri yksilöt vaativat hyvin eripituisen ajan infektiosta oireiden puhkeamiseen (Flier & Turkensteen 1999), ja on mahdollista että nopeasti lehtiä tuhoavat yksilöt selviävät kilpailussa hitaita paremmin aiheuttaen rajusti etenevän epidemian.

Suomessa tapahtuneen ruton alkamisajan ja epidemian etenemisnopeuden muuttumisen osoittamiseksi Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskuksen (MTT) ja Perunatutkimuslaitoksen (PETLA) pitkän ajan havaintoaineistosta analysoitiin eri vuosien ruton alkamisajankohtia ja epidemioiden etenemiskäyriä, joita verrattiin vastaavanlaiseen vuosia 1931-1961 kuvaavaan aineistoon (Seppänen 1971).

2 Aineisto ja menetelmät

Vuosina 1989–2001 MTT:ssä kerättiin ruton populaatiotutkimuksiin ruttokantoja eri puolilta Suomea, ja näytteen lähettäjiä tiedusteltiin milloin ensimmäiset ruttolaikut oli havaittu näytelohkolla. Havaintopäivämäärän perusteella laskettiin, montako päivää heinäkuun ensimmäisen ja ruton alkamispäivän välillä oli kulunut, jotta ruton alkamista eri vuosina voitiin vertailla. Regressioanalyysillä tutkittiin oliko heinäkuun alusta ruton alkamiseen kuluneen ajan ja havaintovuoden välillä riippuvuussuhdetta. Aineistoon otettiin mukaan vain normaaliaikaan istutettuja avomaalla kasvatettuja kasvustoja. Harson alla tuotettu varhaisperuna jätettiin tarkastelun ulkopuolelle.

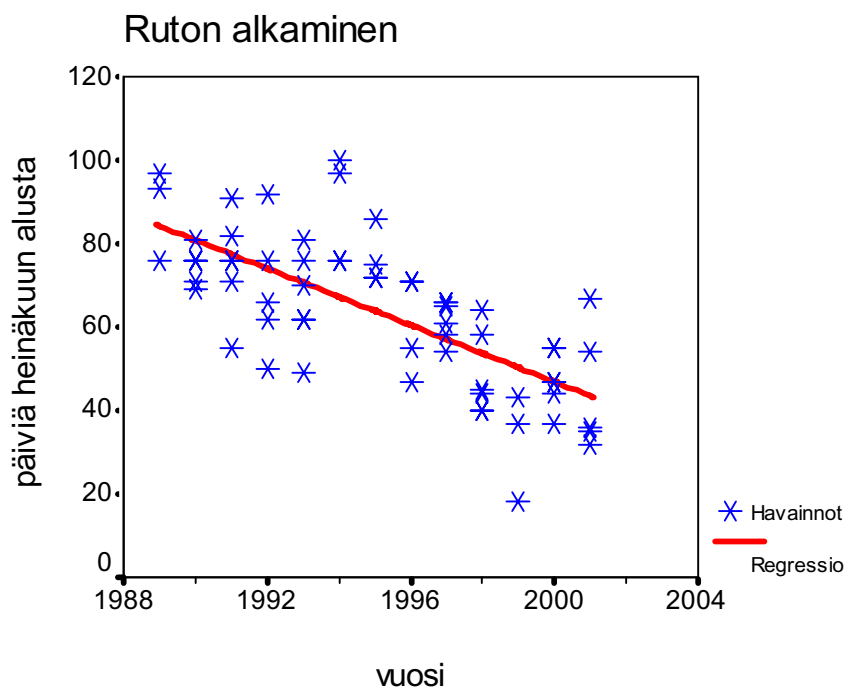
PETLA:n ja MTT:n torjunta-aine- ja lajikekokeista tehtyjen ruttovahaintojen perusteella selvitettiin ruton alkamisessa ja epidemioiden etenemisessä tapahtuneita muutoksia Lammilla ja Jokioisilla. Tarkoitukseen soveltuvia havaintoaineistoja oli Lammilta vuosilta 1983-2001 ja Jokioisilta vuosilta 1990-2001. Havainnot olivat peräisin rutontorjunta-aineilla käsittelemättömistä koeruuduista Bintje- lajikkeesta, poikkeuksena vuodet 1988 ja 1994, jolloin Lammilla oli lajikkeena rutonarkuudeltaan Bintjen tasoinen Sabina.

Ruton tuhoama lehtiala prosentteina arvioitiin havaintoruuduista 1-3 kertaa viikossa. Havaintojen perusteella laskettiin vuosittaiset taudin etenemistä kuvaavien graafisten kuvioiden pinta-alat (AUDPC), jotka kuvaavat epidemian kulkua ja ankaruutta paremmin kuin yksittäiset prosentuaaliset havainnot. $AUDPC = \sum [(x_{i+1} + x_i) / 2] [t_{i+1} - t]$, jossa $(x_{i+1} + x_i)$ = kunkin havaintokerran välillä havaittu lehtirutto %:n kasvu ja $t_{i+1} - t$ = havaintokertojen välinen aika vrk. Vuosivertailujen mahdollistamiseksi AUDPC suhteutettiin kasvuston tuhoutumiseen kuluneeseen aikaan kaavalla $RAUDPC = AUDPC / (\text{aika vrk heinäkuun alusta kunkin havaintoyksikön suurimpaan havaittuun lehtirutto prosenttiin})$.

Taudin etenemiskäyrien avulla voidaan verrata myös ruttoepidemian etenemisvauhtia eri vuosina. S-muotoinen käyrä suoritetaan muunnoksella $\ln(x/(1-x))$, missä x = kullakin havaintohetkellä arvioitu ruton tuhoama lehtiala %. Näin saatu pistejoukko mallitetaan regressiosuoran avulla ja suorien kulmakertoimet kuvaavat erilaisten epidemioiden 'aggressiivisuutta' (Fry 1978).

3 Tulokset ja tulosten tarkastelu

Selkeä ruttoesiintymien aikaistuminen Suomessa vuosina 1989-2001 voitiin osoittaa eri puolilta perunanviljelyalueita saatujen havaintojen perusteella. Seppäsen (1971) julkaisemassa lajikekokeiden aineistossa vuosina 1931-1960 ruton alkaminen vaihteli ilman mitään havaittavaa kehityksen suuntaa elokuun alusta syyskuun alkuun. Sitä vastoin vuosien 1989-2001 välillä ruton alkaminen aikaistui keskimäärin 3,5 päivää vuodessa ($r^2 = 0,48$; $p < 0,001$) (Kuva 1).

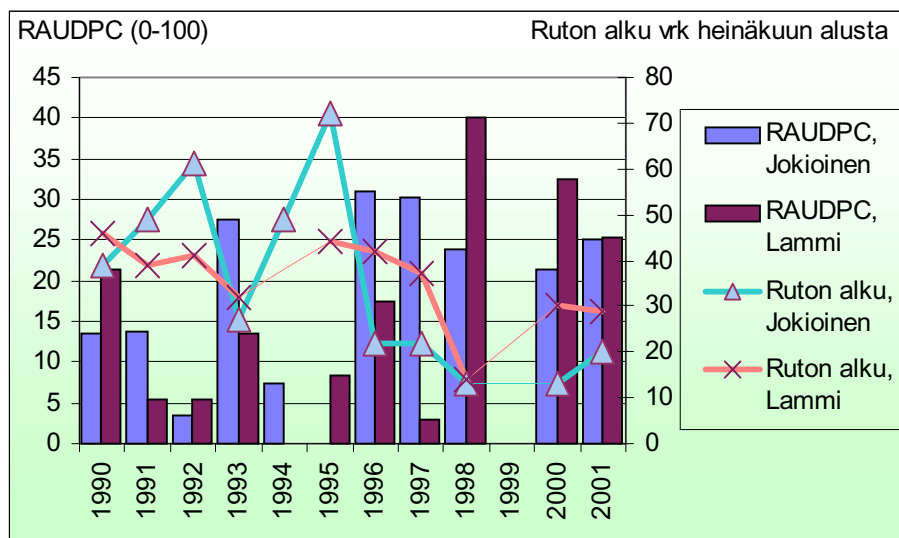


Kuva 1. Ruton alkamisajan muutos vuorokausina heinäkuun alusta eri puolilla Suomea tehtyjen kesän ensimmäisten ruttohavaintojen perusteella vuosina 1989-2001.

Etelä-Suomessa vuosia, jolloin ruttoa ei lainkaan esiintynyt, oli suunnilleen yhtä harvoin vuosina 1931-1960 ja 1983-2001. Pohjois-Pohjanmaalla ruttoa esiintyi jaksolla 1931-1960 vain kolmena kesänä (Seppänen 1971), mutta

vuosina 1990-2001 ruttoa esiintyi alueella joka kesä. Vuonna 1997 kesän ensimmäinen raportoitu ruttoesiintymä Suomessa havaittiin Lumijoella. Muinaakin 1997 jälkeisinä vuosina Etelä- ja Pohjois-Suomen välinen ero ruton alkamisessa on tasoittunut.

Lammin ja Jokioisten ruttokokeiden käsittelemättömissä Bintje-ruuduissa ruttoepidemioiden luonne muuttui selvästi 1990-luvun puolivälissä. Ruton aikaistuminen oli selvästi osoitettavissa sekä Lammilla ($r^2 = 0,35$; $p = 0,01$), että Jokioisilla ($r^2 = 0,23$; $p = 0,01$). 1990-luvun aikaisin epidemian alku oli Lammilla 15.7.1998 ja Jokioisilla 14.7.1998 ja 2000.



Kuva 2. Ruttoepidemioiden alkaminen vuorokausina heinäkuun alusta ja epidemioiden voimakkuus suhteellisen RAUDPC:n perusteella laskettuna.

Lisäksi ruton tuhoisuus näyttää kasvaneen RAUDPC-arvoilla ja tautikäyrän jyrkkyydellä mitattuna. Ruton tuhoisuuden kehityksessä ei varsinkaan Jokioisilla voitu osoittaa selvää vuosittaista kehityksen suuntaa. Kuitenkin vuosina 1990-1995 epidemiat olivat selvästi lievempiä sekä Lammilla että Jokioisilla kuin vuosina 1996-2001. Poikkeuksena on vuosi 1999, jolloin ruttoa ei esiintynyt lainkaan (Kuva 2). Ruton aggressiivisuutta kuvaavat logaritmi-muunnetun taudin etenemiskäyrän kulmakertoimet ovat olleet Jokioisilla selvästi jyrkemmät kuin Lammilla.

Kasvukauden sääolot vaikuttavat huomattavasti ruton puhkeamiseen. Lammin ja Jokioisten aineistossa kesäkuukausista heinäkuun sademäärä oli yhteydessä ruton puhkeamisaikaan niin, että sateinen heinäkuu aikaisti ruton puhkeamista. Heinäkuun sademäärän ja ruton puhkeamisajankohdan välinen korrelaatio ($r = -0,572^{**}$) oli lähes yhtä vahva kuin vuoden ja ruton alkamisajan välinen yhteys ($r = -0,595^{**}$). Heinäkuun sademäärät eivät merkitsevästi

lisääntyneet Lammilla 1983–2001 eivätkä Jokioisilla 1990–2001, joten tämä ei selitä ruton aikaistunutta puhkeamista.

Lammilla havaintoruudut ovat sijainneet lohkoilla, joilla on noudatettu hyvän viljelykäytännön mukaista viljelykiertoa, mutta epidemiat ovat silti aikaistuneet vuosi vuodelta. Jokioisilla havaintolohkoilla on viljelty perunaa vuodesta toiseen ja vuosina 1996-2001 rutto on alkanut melko samaan aikaan 15-23.7. Jokioisilla suurin muutos 1990-luvun jälkipuoliskolla on ollut kasvus-tojen tuhoutuminen kokonaan yhä aikaisemmin. Ruton aggressiivisuus näyttää lisääntyneen Jokioisilla enemmän kun Lammilla. Tämä voi olla seurausta munaitiöistä alkunsa saavan ruton yleistymisestä Jokioisilla.

Perunaruton aikaistuminen on riskitekijä, joka on otettava vakavasti torjuntaruiskutuksiin varauduttaessa. Toisaalta kuivina kesinä ruttovaara on yhä edelleen pieni. Entistä nopeammin etenevät epidemiat eivät jätä viljelijälle aikaa miettimiseen, vaan ruiskutukset on tehtävä nopeasti, jos alueella havaitaan ruttoa. Ruton esiintymistä on tarkkailtava. Ruton aggressiivisuuden mahdollinen muuttuminen suvullisesti lisääntyvässä populaatiossa vaatisi lisätutkimuksia, jotta torjuntatoimet voitaisiin mitoittaa oikein.

4 Kirjallisuus

- Andersson, B., Sandström, M. & Strömberg, A. 1998. Indications of soil borne inoculum of *Phytophthora infestans*. *Potato Research* 41:305-310.
- Appel, R., Adler, N. & Habermeyer, J. 2001. A method for the artificial inoculation of potato tubers with *Phytophthora infestans* and polymerase chain reaction assay of latently infected sprouts and stems. *Journal of Phytopathology-Phytopathologische Zeitschrift* 149:287-292.
- Drenth, A., Janssen, E. M. & Govers, F. 1995. Formation and survival of oospores of *Phytophthora infestans* under natural conditions. *Plant Pathology* 44:86-94.
- Flier, W. G. & Turkensteen, L. J. 1999. Foliar aggressiveness of *Phytophthora infestans* in three potato growing regions in the Netherlands. *European Journal of Plant Pathology* 105:381-388.
- Fry, W.E. 1978. Quantification of general resistance of potato cultivars and fungicide effects for integrated control of potato late blight. *Phytopathology* 68:1650-1655.
- Hannukkala, A. 1998. Perunarutto puhuttaa. *Tuottava Peruna* 25, 2:23-24.

- Kankila, J. J., Hannukkala, A. O., Rokka, V. M. & Pietilä, L. T. 1995. Screening *Phytophthora infestans* populations and breeding for resistance in Finland. Teoksessa: Dowley, L.J., Bannon, E., Cooke, L.R., Keane, T. & O'Sullivan, E. (toim.). *Phytophthora infestans* 150. Dublin: Boole Press. s. 261-267. ISBN 1 85748 0090.
- Schepers, H.T.A.M. 2001. The development and control of *Phytophthora infestans* in Europe in 2000. Teoksessa: Westerdijk, C.E. & Schepers, H.T.A.M. (toim.), Proceedings of the workshop on the European network for development of an integrated control strategy of potato late blight, München, Germany, 6-10 September 2000. PAV-Special Report no. 7. Lelystad, The Netherlands: Applied Research for Arable Farming and Field Production of Vegetables. s. 7-10.
- Seppänen, E. 1971. Influence of weather conditions and late blight on the yields of potatoes in Finland, 1931-62. *Annales Agriculturae Fenniae* 10, 2:69-108.
- Spielman, L. J., Drenth, A., Davidse, C., Sujkowski, L.J., Gu, W., Tooley, P. W. & Fry, E.E. 1991. A second world-wide migration and population displacement of *Phytophthora infestans*? *Plant Pathology* 40:422-430.
- Zwankhuizen, M.J., Govers, F. & Zadoks, J. C. 1998. Development of potato late blight epidemics: Disease foci, disease gradients, and infection sources. *Phytopathology* 88:754-763.

Ruttopopulaation monimuotoisuus perunapelloilla vuosina 1990-2000

Asko Hannukkala¹⁾, Ari Lehtinen¹⁾ ja Terhi Rantanen¹⁾

¹⁾MTT, Kasvintuotannon tutkimus, Kasvinsuojelu, 31600 Jokioinen, asko.hannukkala@mtt.fi, ari.lehtinen@mtt.fi, terhi.rantanen@mtt.fi

Tiivistelmä

Suomen perunapelloilta kerättyjen ruttokantojen monimuotoisuutta on kartoitettu vuodesta 1990 alkaen. Seurannan alussa pyrittiin selvittämään, miten yleisiä metalaksysyiliä kestävät kannat ovat ruttopopulaatiossa. Sittenkin alettiin seurata, miten ruton sietokyky propamokarbi-hydrokloridia vastaan muuttui. Kun perunaruton A2-parittelumuoto levisi Suomeen, tutkimus kohdistettiin ruton suvulliseen lisääntymiseen. 1990-luvun alussa miltei koko populaatio sietoi metalaksysyiliä. Kun valmisteen käyttö väheni, kestävät kannat harvinaistuivat muualla paitsi Pohjois-Pohjanmaalla ja Satakunnassa. Vuosina 1992-1998 A2-parittelumuodon osuus oli noin 20 % populaatiosta. Vuosina 1999 ja 2000 sekä A1- että A2-parittelumuodon osuus lähestyi 50 %:a, mikä on luonteenomaista suvullisesti lisääntyvälle populaatiolle. Suomalaisessa ruttopopulaatiossa esiintyy yli 70 erilaista virulenssirotua, ja suuri perinnöllinen muuntelu on osoitettu myös dna-tasolla. Perunarutto lisääntyy myös suvullisesti perunapelloilla, minkä seurauksena populaation monimuotoisuus kasvaa.

Asiasanat: peruna, kasvinsuojelu, kasvitaudit, perunarutto, Phytophthora infestans, torjunta-aineet, torjunta-aineresistenssi, suvullinen lisääntyminen

1 Johdanto

Perunaruton (*Phytophthora infestans* (Mont.) De Bary) kemiallisessa torjunnassa fenylamidi-ryhmän torjunta-aineiden, kuten metalaksysyilin, keksiminen 1970-luvun lopussa oli merkittävä edistysaskel. Ylivoimaisen torjuntatehonsa ansiosta fenylamidit saavuttivat merkittävän markkina-aseman. Kuitenkin jo 1980-luvun alkuvuosina rutosta oli valikoitunut kestäviä populaatiota, joihin valmisteet eivät enää tehonneet (Fry ym. 1991). Suomessa perunaruton kemiallinen torjunta oli 1980-luvun puolivälin jälkeen kahden kemikaaliryhmän, ditiokarbamaattien ja fenylamidien varassa, kunnes fenylamidien teho ruttoa vastaan alkoi heiketä 1980-luvun lopulla (Kankila ym. 1995).

Suomessa propamokarbi-hydrokloridia tehoaineenaan sisältävä valmiste rekisteröitiin rutontorjuntaan 1995, koska propamokarbi tehoaa metalaksysyiliä kestäviin ruttokantoihin. Propamokarbia täysin kestäviä ruttokantoja ei ole toistaiseksi löydetty perunapelloilta, mutta taudinaiheuttaja voi oppia sietämään yhä suurempia torjunta-aineannoksia (Bardsley ym. 1998).

1980-luvun alussa ruton toinen parittelutyyppi A2 levisi Eurooppaan ja näiden jälkeläisinä syntynyt uusi suvullisesti lisääntyvä entistä muuntelukykyisempi populaatio syrjäytti nopeasti vanhan suvuttomasti lisääntyvän populaation (Fry ym. 1993). Suomesta A2 muoto löydettiin ensimmäisen kerran vuonna 1992 (Kankila ym. 1995).

Villiperunasta on löydetty perunaruttoa vastaan 11 major-resistenssigeeniä, jotka on voitu risteyttää viljeltävään perunaan. Rutolla on vastaavasti 11 virulenssitekijää, jotka pystyvät murtamaan tämän kestävyuden. Rutto voidaan luokitella erilaisiin virulenssirotuihin sen perusteella, mitkä perunan resistenssigeeneistä se pystyy murtamaan. Virulenssirotujen kirjo kuvaa populaation fenotyypin monimuotoisuutta (Tooley ym. 1986).

Mitokondrion DNA:n rakenteen perusteella rutto voidaan luokitella neljään haplotyyppiin, Ia, Ib, IIa ja IIb, joista Ib edustaa vanhaa suvuttomasti lisääntynyttä populaatiota (Griffith & Shaw 1998). Ruton geneettistä monimuotoisuutta on viime vuosina tutkittu erilaisilla DNA-sormenjälkitekniikoilla, kuten RG57-koettimella (Brurberg ym. 1999). Pohjoiseurooppalaisena yhteistyönä suvullisesti lisääntyvien populaatioiden geneettistä muuntelua tutkitaan parhaillaan AFLP- menetelmällä (Lee ym. 1997).

Tässä raportissa selvitetään suomalaisessa ruttopopulaatiossa vuosina 1990-2000 tapahtuneita torjunta-aineresistenttien kantojen, A1- ja A2-parittelu- muotojen sekä erilaisten virulenssirotujen että haplotyyppien suhteellisten osuuksien muutoksia ja muutosten epidemiologisia seurauksia.

2 Aineisto ja menetelmät

Suomen perunapelloilla esiintyvän ruttopopulaation muuttumista on seurattu vuodesta 1990 alkaen keskeisimmiltä tuotantoalueilta kerättyjen ruttokantojen perusteella. Ruttonäytteitä ovat keränneet MTT:n tutkimusasemien, Maa-seutukeskusten ja perunateollisuuden työntekijät sekä yksittäiset viljelijät.

Vuosina 1990-2000 kerättiin ja testattiin yli 3000 ruttokantaa perunan lehdyköistä, joissa oli yksi selvä ruttolaikku. Osa kannoista testattiin heti biologisilla testeillä ja osa eristettiin puhtasviljelmiksi ruisagar-alustalle tarkempia tutkimuksia varten (Taulukko 1).

Taulukko 1. Vuosina 1990-2000 populaatiotutkimuksessa eri ominaisuuksiltaan tutkittujen ruttokantojen kappalemäärät.

Keruuvuosi	Torjunta-aineresistenssi		Parittelu- muoto	Virulenssi- rotu	Haplo- tyyppi
	metalaksysyli	propamokarbi			
1990-1992	1064	20	46	191	9
1993-1996	825	437	606	460	29
1997-2000	1319	1314	1276	331	126

Tutkimuksen alkuvuosina päätavoitteena oli selvittää ruttokantojen kestävyysmuutoksia metalakssyyli- ja sittemmin lisäksi propamokarbi-HCl-valmisteita vastaan. Testit toteutettiin perunan lehdistä leikatuilla kiekkoilla, jotka pantiin kellumaan väkevyyksiltään erilaisiin torjunta-aineliuoksiin ja saastutettiin tutkittavista isolaateista tehdyillä itiösuspensioilla (Hermansen ym. 2000). Käytetyt väkevyydet olivat metalakssyyllillä 0, 0,1, 1, 10 ja 100 ppm ja propamokarbilla vastaavasti 0, 10, 100 ja 1000 ppm.

Ruttokantojen parittelutyypin määrittettiin risteyttämällä tutkittava isolaatti tunnetun A1- ja A2-testikannan kanssa. Munaitiöiden muodostuminen tutkittiin mikroskoopilla ja sen perusteella, kumman testikannan kanssa munaitiöitä muodostui, päätettiin testattavan kannan parittelutyypin (Spielman ym. 1991). Parittelutyypin määrittettiin noin 1900:lle ruttoisolaatille (Taulukko 1).

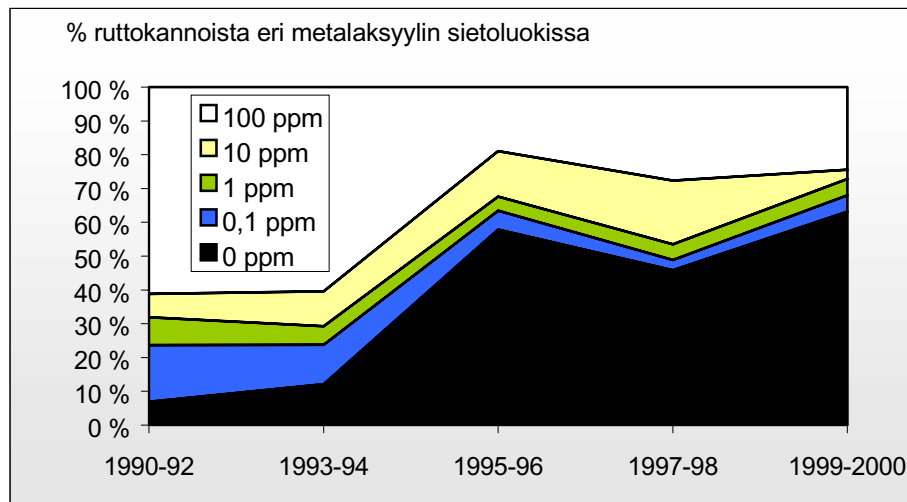
Hieman alle 1000:n ruttokannan virulenssirotu määrittettiin perunakloonisartjan avulla, jonka kukin kloonin sisälsi yhden yhdestätoista tunnetusta major-resistenssigeenistä (R-geeni). R-geenin 9 sisältävää kloonin ei ollut käytettävissä (Kankila ym. 1995, Hermansen ym. 2000).

3 Tulokset ja tulosten tarkastelu

Suomessa metalakssyyli-valmistetta kestävät ruttokannat yleistyivät nopeasti aineen liiallisen laajamittaisen käytön seurauksena, ja tutkimuksen alkuvuosina jokseenkin kaikki kerätyt ruttokannat sietivät suuria torjunta-ainepitoisuuksia. Metalakssyyliä kestävä ruttota esiintyy yleisesti kaikkialla, missä metalakssyyliä on käytetty rutontorjuntaan. Ensimmäiset havainnot kestävydestä tehtiin Hollannissa kaksi vuotta valmisteen rekisteröinnin jälkeen 1980-luvulla (Fry ym. 1991).

Tehoaineen käytön vähetessä metalakssyyliä kestävät kannat ovat miltei hävinneet, paitsi Pohjois-Pohjanmaalta ja Satakunnasta, missä ne näyttävät jääneen pysyvästi populaatioon. Aikaisemmin uskottiin metalakssyyliä kestävien kantojen olevan kilpailukyvyltään huonoja, ellei torjunta-aineella anneta niille kilpailuetua (Fry ym. 1991, Spielman ym. 1991).

Ruttopopulaatiossa esiintyi kantoja, jotka sietivät pieniä propamokarbiannoksia jo ennen kuin valmistetta alettiin käyttää rutontorjuntaan. Lisääntyneen propamokarbin sietokyvyn omaavien kantojen osuus on selvästi kasvanut vuoteen 2000 mennessä. Muualla Euroopassa vastaavaa kehitystä ei ole havaittu (Bardsley ym. 1998).

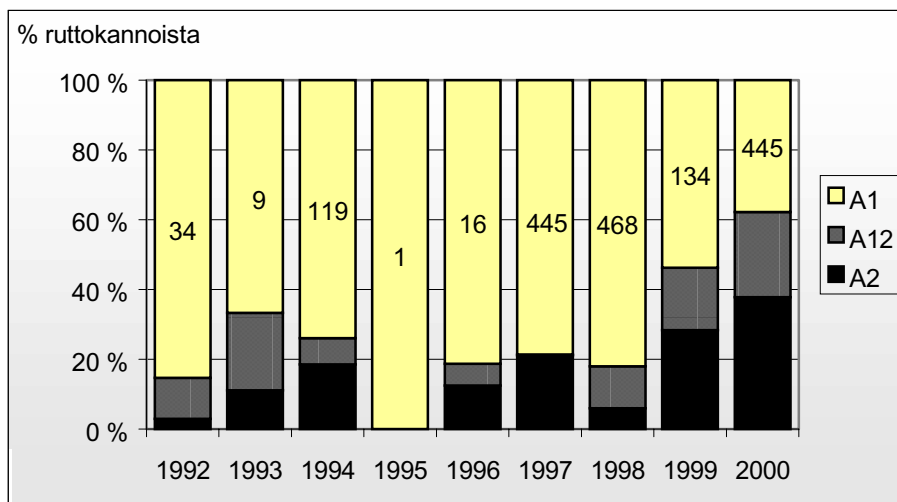


Kuva 1. Perunaruttokantojen metalakssyylin sietokyvyn suhteelliset muutokset vuosina 1990-2000. 100 ppm sietävät kannat ovat käytännössä täysin kestäviä torjuntavalmisteelle.

A2-parittelumuoto löytyi Suomesta vuonna 1992. Vuosina 1992-1998 A2-muodon keskimääräinen osuus oli noin 20 % populaatiosta. A1- ja A2-muotojen runsaussuhteet vaihtelivat peltokohtaisesti. Etelä- ja Itä-Suomessa A2-muodon osuus oli selvästi suurempi kuin muualla maassa. Vuosien 1999 ja 2000 populaatioissa A1- ja A2-muotojen keskinäinen osuus oli lähellä 50:50, mikä on tyypillistä suvullisesti lisääntyvälle populaatiolle (Spielman ym. 1991). 1980-luvun puolivälin jälkeen molempia parittelumuotoja on löydetty kaikkialta Euroopasta peruna- ja tomaattikasvustoista. Parittelutyyppien keskinäiset osuudet ovat vaihdelleet vuodesta ja maasta toiseen (Spielman ym. 1991, Fry ym. 1993, Hermansen ym. 2000).

Suomalaisista ruttokannoista on löydetty kaikki yksittäiset virulenssitekijät 1-8, 10 ja 11. Virulenssit 1, 3, 4, 7 ja 11 ilmenevät miltei kaikissa roduissa ja virulenssi 10 on hyvin yleinen. Vastaavasti virulenssit 2, 5, 6 ja 8 ovat harvinaisia. Harvinaiset virulenssit ilmenevät tyypillisesti monta virulenssitekijää omaavissa roduissa (Taulukko 2).

Vuosien 1990-2000 ruttopopulaatioista määritettiin yli 70 erilaisen virulenssikirjon omaavaa rotua. Kolme yleisintä rotua kattoi lähes 70 % populaatiosta. Suomessa yleisimmät rotut ovat yleisimpien joukossa muuallakin Euroopassa (Hermansen ym. 2000). Suomessa yksittäisten ruttoisolaattien sisältämien virulenssitekijöiden määrä on lisääntynyt 1990-luvun alkuvuosien 4-5:stä nykyiseen 6-7:ään, jonka on osoitettu olevan tyypillistä suvullisesti lisääntyvälle populaatiolle (Tooley ym. 1986).



Kuva 2. Ruton A1- ja A2-parittelumuotojen osuus populaatiossa vuosina 1992-2000. A12-kannat tuottivat munaitiöitä molempien vanhempien kanssa. Pylväässä on esitetty kunakin vuonna tutkittujen isolaattien lukumäärä.

Taulukko 2. Yleisimmät Suomessa esiintyneet virulenssirodut ja niiden esiintymistiheys ruttopopulaatiossa.

Virulenssirotu	Virulenssirodun osuus %			Yhteensä	
	1990-1994	1995-1997	1998-2000	%	kpl
1,3,4,7,10,11	23	44	67	41	200
1,3,4,7,11	16	11	15	14	69
1,3,4,7,8,10,11	8	24	0	11	53
1,3,4,11	6	0	0	2	12
3,4,7,11	0	0	5	2	8
1,4,7,10,11	2	3	0	2	8
1,2,3,4,6,7,10,11	0	1	4	1	7
Muut rodut	44	18	9	27	130

Ruton neljästä tunnetusta haplotyypistä Suomesta on löydetty vain kaksi: Ia ja IIa. Ennen vuotta 1980 Euroopassa esiintyi ainoastaan haplotyyppiä Ib, joka on sittemmin korvautunut muilla haplotyypeillä. Suomesta ei ole löydetty Ib haplotyyppiä, mikä osoittaa ruttokantojen kuuluvan 'uuteen' suvullisesti lisääntyvään populaatioon (Griffith & Shaw 1998). Suvullisen lisääntymisen vaikutukset on huomioitava tulevia torjuntastrategioita laadittaessa.

4 Kirjallisuus

- Bardsley, R.A., Shattock, R.C. & Day, J. 1998. Studies comparing the sensitivity of European & USA isolates of *Phytophthora infestans* to propamocarb hydrochloride. Brighton Crop Protection Conference: Pests & Diseases 1998: Volume 2: Proceedings of an International Conference, Brighton, UK, 16-19 November 1998: s. 523-528.
- Brurberg, M. B., Hannukkala, A. & Hermansen, A. 1999. Genetic variability of *Phytophthora infestans* in Norway and Finland as revealed by mating type and fingerprint probe RG57. *Mycological Research* 103:1609-1615.
- Fry, W.E., Drenth, A., Spielman, L.J., Mantel, B.C., Davidse, L.C. & Goodwin, S.B. 1991. Population genetic structure of *Phytophthora infestans* in the Netherlands. *Phytopathology* 81:1330-1336.
- Fry, W.E., Goodwin, S.B., Dyer, A.T., Matuszak, J. M., Drenth, A., Tooley, P.W., Sujkowski, L.S., Koh, Y.J., Cohen, B.A., Spielman, L.J., Deahl, K.L., Inglis, D.A. & Sandlan, K.P. 1993. Historical and recent migrations of *Phytophthora infestans*: chronology, pathways, and implications. *Plant Disease* 77:653-661.
- Griffith, G.W. & Shaw, D.S. 1998. Polymorphisms in *Phytophthora infestans*: four mitochondrial haplotypes are detected after PCR amplification of DNA from pure cultures or from host lesions. *Applied and environmental microbiology (USA)* 64:4007-4014.
- Hermansen, A., Hannukkala, A.O., Nærstad, R.H. & Brurberg, M.B. 2000. Variation in populations of *Phytophthora infestans* in Finland and Norway: mating type, metalaxyl resistance and virulence phenotype. *Plant Pathology* 49:11-22.
- Kankila, J.J., Hannukkala, A.O., Rokka, V.M. & Pietilä, L.T. 1995. Screening *Phytophthora infestans* populations and breeding for resistance in Finland. Teoksessa: Dowley, L.J., Bannan, E., Cooke, L.R., Keane, T. & O'Sullivan, E. (toim.), *Phytophthora infestans* 150. Dublin: Boole Press. s. 261-267. ISBN 1 85748 0090.
- Lee, T. van der, De Witte, I., Drenth, A., Alfonso, C. & Govers, F. 1997. AFLP linkage map of the oomycete *Phytophthora infestans*. *Fungal Genetics and Biology* 21:278-291.
- Spielman, L.J., Drenth, A., Davidse, C., Sujkowski, L.J., Gu, W., Tooley, P.W. & Fry, E.E. 1991. A second world-wide migration and population displacement of *Phytophthora infestans*? *Plant Pathology* 40:422-430.
- Tooley, P.W., Sweigard, J.A. & Fry, W.E. 1986. Fitness and virulence of *Phytophthora infestans* isolates from sexual and asexual populations. *Phytopathology* 76:1209-1212.

Munaitiöt ovat vaarallinen perunaruton tartuntalähde pellossa

Ari Lehtinen¹⁾, Asko Hannukkala¹⁾ ja Terhi Rantanen¹⁾

¹⁾MTT, Kasvintuotannon tutkimus, Kasvinsuojelu, 31600 Jokioinen, ari.lehtinen@mtt.fi, asko.hannukkala@mtt.fi, terhi.rantanen@mtt.fi

Tiivistelmä

Tutkimuksessa selvitettiin perunaruton (*Phytophthora infestans*) tarttumista maasta kasveihin ja kasveihin iskeytyneiden ruttokantojen ominaisuuksia kasvihuoneessa ja koekentällä Jokioisilla. Perunapelloilta löydettiin ruttopesäkkeitä, joissa ensimmäiset oireet ilmaantuivat alalehtiin mosaiikkimaisesti. Laboratoriossa näissä lehdissä muodostui runsaasti munaitiöitä. Sekä A1- että A2-pariutumistyyppin edustajia oli pesäkkeistä eristetyissä ruttokannoissa lähes yhtä paljon. Havaitut tautipesäkkeet olivat todennäköisesti peräisin maassa säilyneistä munaitiöistä, koska munaitiöstä alkunsa saavat ruttokannat jakautuvat keskimäärin tasan molempiin pariutumistyyppeihin. Pesäkkeistä kerättyjen multanäytteiden osoitettiin infektoivan perunan lehdyköitä kasvihuoneessa. Samalta lohkolta seuraavana keväänä kerätyt maanäytteet olivat edelleen tartutuskykyisiä, joten munaitiöt säilyivät maassa talven yli. Suotuisissa olosuhteissa tartunta maasta puhkesi näkyviksi oireiksi kasvihuoneessa biotestissä 2 viikossa. Maasta alkavan tartunnan etenemistä säätelevät tekijät tulisi selvittää nykyistä tarkemmin, sillä luotettavia toimintaohjeita tartuntariskin vähentämiseksi ei muuten voi laatia.

Asiasanat: peruna, kasvinsuojelu, kasvitaudit, perunarutto, Phytophthora infestans, suvullinen lisääntyminen, maalevintä, sieni-itiöt

1 Johdanto

A1- ja A2-pariutumistyyppin ruttokannat pystyvät toistensa läheisyydessä lisääntymään suvullisesti ja muodostamaan munaitiöitä, jotka säilyvät maassa ainakin 1-4 vuotta (Flier ym. 2001). Munaitiöitä on osoitettu muodostuvan perunapelloilla ympäri Euroopan (Drenth ym. 1995, Andersson ym. 1998). Munaitiöiden ja niistä muodostuneen ominaisuuksiltaan vaihtelevan jälkeläistön vaikutus perunaruttoepidemioihin on sen sijaan vielä selvittämättä.

Perunaruton tarttumista luontaisesti saastuneesta maasta perunaan ei ole tätä ennen tietääksemme onnistuttu osoittamaan. Kirjallisuudessa epäiltyyn maatartuntaepidemiaan on yhdistetty seuraavat havainnot (Andersson ym. 1998):

1. Ruttopesäkkeiden ilmaantuminen perunakasvustoon aikaisin kesällä lohkolta, jolla on yhtenä neljästä viime vuodesta ollut ruttainen perunakasvusto.
2. Ensioireet ilmaantuvat lähellä maata oleviin tai sitä koskettaviin lehtiin.

3. Ruttopesäkkeessä esiintyy molempia pariutumistyyppisiä edustavia kantoja.
4. Munaitiöitä muodostuu kasveihin ruttopesäkkeessä.

Tutkimuksen tavoitteena oli seurata perunaruton oireiden ja taudinaiheuttajan kehittymistä, karakterisoida oireilevista kasveista eristettyä ruttopopulaatiota ja tutkia mullan infektiivisyyttä ruttopesäkkeissä, joiden epäiltiin saaneen alkunsa munaitiöistä.

2 Aineisto ja menetelmät

2.1 Maatartuntapesäkkeiden etsiminen

Vuosina 2000 ja 2001 tutkittiin perunaruton ilmaantumista Jokioisilla sijaitsevalle koekentälle, jossa perunaa on viljelty yhtäjaksoisesti vuodesta 1990 lähtien. Lohkolta odotettiin löytyvän munaitiöistä alkunsa saaneita ruttopesäkkeitä, koska peruna on ollut useimpina vuosina pahoin ruton saastuttama ja molempiin pariutumistyyppisiin kuuluvia ruttokantoja on aikaisempina vuosina esiintynyt kasvustoissa.

Jokioisten lisäksi maatartunnan seurauksena syntyneitä ruttopesäkkeitä etsittiin Perunatutkimuslaitoksen koekentiltä ja viljelijöiden pelloilta eri puolilta Suomea. Löydetyistä pesäkkeistä kerättiin ensimmäisenä infektoituneita lehdyköitä munaitiöiden toteamiseksi, ja 1-2 viikkoa myöhemmin uusia oireilevia lehdyköitä, joissa oli vain yksi ruttolaikku ruttokantojen eristämiseksi. Lisäksi 12 pesäkkeestä otettiin noin 1 kg:n multanäyte maan tartutuskyvyn osoittamiseksi pyydyskasvitestillä.

Ensimmäisistä ruttopesäkkeistä kerättiin Jokioisilta molempina vuosina, ja Lammilta vuonna 2001 kasvinäytteitä, joista tutkittiin siemenmukulan ja varren alaosan ruttoisuus kvantitatiivisen PCR-menetelmän avulla. Testauksella haluttiin osoittaa, ettei ruton DNA:ta ole siemenmukulassa, ja sulkea pois mukulatartunnan mahdollisuus.

2.2 Munaitiöiden muodostuminen perunassa

Perunaruton munaitiöiden muodostumista tutkittiin ruttopesäkkeistä kerätyissä, ensimmäisenä tartunnan saaneissa lehdyköissä, joissa oli useita ruttolaikkuja vierekkäin. Lehdyköistä tehtiin korkkiporalla läpimitaltaan 1,5 cm:n kiekkoja, jotka pantiin kellumaan steriiliin veteen Petri-maljoille. Maljoja inkuboitiin kasvihuoneessa 10-14 vrk, jonka jälkeen munaitiöiden esiintymisen lehdyköiden solukoissa tarkastettiin mikroskoopilla.

Elokuun alussa 2000 Jokioisilta ja Nummi-Pusulasta kerättiin molemmista 20 ruttoista perunan vartta, joista tutkittiin munaitiöiden muodostumista pelto-

oloissa. Jokioisilta kerätyt varret olivat Bintje-lajiketta, Nummi-Pusulana näyttöet olivat peräisin useasta eri lajikkeesta. Laboratoriossa varsista leikattiin noin 5-9 cm:n mittaisia paloja, joita keitettiin ensin 20 minuuttia 96 %:ssa etanolissa ja siirrettiin sitten 12 tunniksi 1 %:een natriumhypokloriittiin. Tämän jälkeen varrenpaloista leikattiin varren pituussuuntaisia mahdollisimman ohuita leikkeitä, joista munaitiöiden esiintyminen tarkastettiin mikroskoopin avulla.

2.3 Ruttokantojen eristäminen, ylläpito ja testaus

Ruttokantojen eristämistä varten ruttokantaiset perunan lehdykät pidettiin kasvihuoneessa Petri-maljoissa kostutetun imupaperin päällä. Itiötuotannon käynnistämiseksi kasvihuoneen olosuhteet säädettiin rutan kasvuun mahdollisimman suotuisiksi: lämpötila 16°C ja ilman suhteellinen kosteus yli 90 %. Kaikki ruttokantojen ominaisuuksia luonnehtivat testit tehtiin näissä vakioolosuhteissa. Ruttokantoja ylläpidettiin ja lisättiin biologisiin testeihin kasvihuoneessa kasvatetun Bintje-lajikkeen lehdyköillä. Osa kannoista eristettiin puhtasviljelmiksi ruisagar-alustalle tarkempia tutkimuksia varten.

Ruttokantojen pariumistyyppi määritettiin risteyttämällä tutkittava isolaatti tunnetun A1- ja A2-testikannan kanssa perunan lehtiekossa tai ruisagar-alustalla. Ruttokannan pariumistyyppi määritettiin sen testikannan pariumistyyppi, jonka kanssa se ei pystynyt muodostamaan munaitiöitä (Hermansen ym. 2000).

2.4 Maanäytteiden tartutuskyvyn osoittaminen

Lokakuussa 2000 neljä 10 litran maanäytettä kerättiin Jokioisilla lohkolta, jolla maatartunnan etenemistä oli seurattu kasvustossa. Helmikuussa 2001 aloitettuun testiin asti maanäytteitä säilytettiin ulkolämpötilassa sateelta suojatussa varastossa. Lisäksi 5. toukokuuta 2001 lohkolta kerättiin viisi 5 litran näytettä jyrsimellä tehdyn muokkauksen jälkeen juuri ennen perunan istutusta.

Jokioisilta ja muualta Suomesta kerättyjen maanäytteiden tartutuskyky testattiin Drenth ym. (1995) kuvaamalla testillä. Muovilaatikoiden (37x28x11 cm) pohjalle levitettiin tasaiseksi kerrokseksi 1 litra multaa, joka kasteltiin vesijohtovedellä niin, että vesi ulottui korkeintaan 1 cm:n maanpinnan yläpuolelle. Veteen asetettiin perunan lehdyköitä pyydystämään märässä maassa munaitiöistä muodostuvia parveiluitiöitä. Infektoituneet lehdykät laskettiin ja niistä eristettiin ruttokantoja, joiden ominaisuuksia verrattiin Jokioisten maatartuntapesäkkeissä esiintyvään populaatioon.

3 Tulokset ja tulosten tarkastelu

3.1 Oireet ja populaatiot maatartuntapesäkeissä

Yhteensä 7 epäiltyä maatartuntapesäkettä tutkittiin vuosina 2000 ja 2001 (Kuva 2). Näissä ensimmäiset rutto-oireet ilmaantuivat alalehtiin. Lammilla pesäkkeestä löytyi ruton oireita myös varsista aivan epidemian alussa. Normaalisti poiketen alalehdet olivat yleensä ruton kirjavoittamia lukuisien tartuntojen seurauksena (Kuva 1).

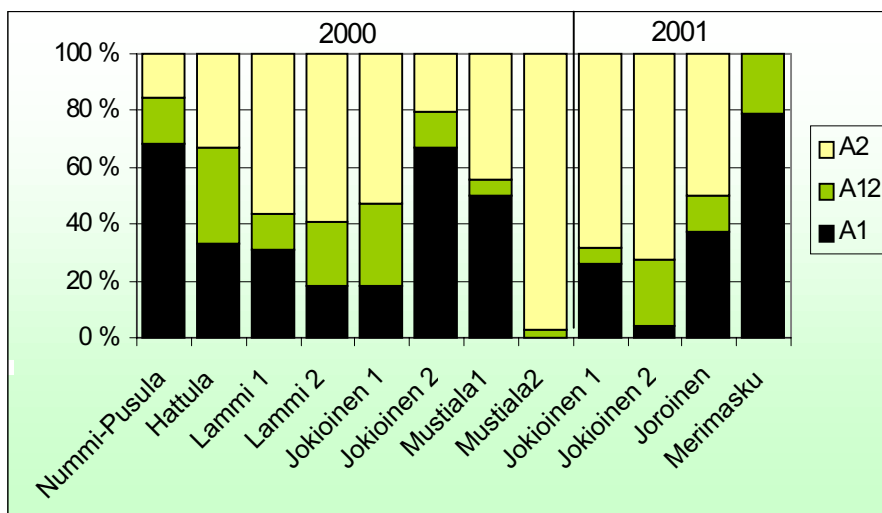


Kuva 1. Maasta alalehtiin tarttuneen perunaruton aiheuttamaa mosaiikki- maista kirjavuutta (vasemmalla) ja tavanomainen ilmasta levinneiden itiöiden aikaansaama ruttolaikku perunan lehdessä (oikealla). (Kuvat: Asko Hannukala)

Perunaruton DNA:ta ei löydetty näytekasvien siemenmukuloista eikä varsista maanpinnan alapuolelta, joten tartunta ei ollut peräisin siemenmukulasta. Epäiltyjen maatartuntapesäkkeiden ilmaantumisen aikaan ei Lammilta eikä Jokioisilta oltu vielä löydetty ruttoa. Tauti näytti leviävän näille alueille pesäkkeistä, jotka olivat todennäköisesti peräisin maassa säilyneistä munaitöistä.

Maatartuntapesäkkeistä kerättyjen ruttokantojen paritumistyyppijakauma oli epidemian alussa hyvin tasainen (Kuva 2). Tulos on odotettu, koska munaitöistä muodostuvat jälkeläiset jakautuvat molempiin paritumistyyppisiin suhteessa, joka riippuu vanhemmista (Gallegly 1968, Judelson ym. 1995).

Populaatiossa esiintyi myös paljon molempien testivanhempien kanssa pariutuvia ruttokantoja (A12), jotka olivat todennäköisesti eri pariutumistyyppisten ruttokantojen seoksia. Epidemian edetessä joillakin pelloilla A1-muoto, toisilla A2-muoto yleistyi vallitsevaksi populaatiossa. Tämä tukee käsitystä, että kumpikaan pariutumistyyppi ei sinänsä ole aggressiivisempi kuin toinen, vaan muut perinnölliset tekijät säätelevät yksittäisen isolaatin selviytymiskykyä populaatiossa (Flier & Turkensteen 1999).



Kuva 2. Maatartuntapesäkkeistä eristettyjen ruttokantojen pariutumistyyppi-kauma juuri pesäkkeen ilmaannuttua (1) ja 1-2 viikkoa sen jälkeen (2).

3.2 Suomen perunamaissa on infektoivia munaitiöitä

Jokioisilta sekä syksyllä että keväällä kerätyt maanäytteet osoittautuivat tartutuskykyisiksi pyydyskasvitesteissä. Ensimmäiset oireet ilmaantuivat pyydyslehdyköihin 8-15 päivän kuluessa testin aloituksesta. Eniten tartuntoja tuottanut syksyllä kerätty näyte infektoi lehdyköitä kahden kuukauden ajan. Siihen mennessä kaikki itämiskykyiset munaitiöt olivat todennäköisesti ehtineet itää (Flier ym. 2001).

Jokioisilla ainakin osa munaitiöistä säilyi talven yli maassa, koska keväälläkin otettu multanäyte aiheutti testissä oireita. Tähänastisten tulosten perusteella munaitiöiden määrä maassa vähenee talven aikana. Keväällä vain yksi viidestä maanäytteestä oli tartutuskykyinen, kun syksyllä kahteen kolmasosaan näytteistä ilmaantui oireita.

Munaitiöiden väheneminen maassa johtui todennäköisesti siitä, että osa itiöistä virittyi itämään syksyn kosteissa olosuhteissa. Syksyllä kerätyt näytteetkin altistuivat ennen testaamista pelto-oloja vastaaville lämpötilavaihte-

luille, mutta ne säilytettiin sateelta suojassa. Maan jäätyminen tuskin vähensi munaitiöitä, koska niiden tiedetään selviävän pakastamisesta jopa -80°C:ssa (Drenth ym. 1995, Fay & Fry 1997).

Tutkituista multanäytteistä ainoastaan Jokioisilta kerätyt näytteet olivat tartutuskykyisiä pyydyskasvitestissä. Jokioisten lohkolla munaitiöitä on ehtinyt kerääntyä maahan hyvin paljon pitkän ajan kuluessa. Perunaa on viljelty kyseisellä lohkolla vuodesta 1990 lähtien ja kasvustot ovat olleet usein pahoin ruton saastuttamia. Muissa näytteissä mahdollisten munaitiöiden määrä oli niin pieni, ettei testin herkkyys ollut riittävä niiden osoittamiseen, tai munaitiöitä ei osunut kerättyyn multanäytteeseen.

Jokioisten maanäytteistä kerättyjen ruttokantojen pariutumistyyppijakauma oli hyvin tasainen ja sisälsi paljon molempien testivanhempien kanssa pariutuvia kantoja, kuten pelloiltakin kerätyt populaatiot. Osa maasta eristetyistä ruttokannoista kasvoi erittäin huonosti ja osa oli erittäin nopeakasvuista. Tämä tukee käsitystä, että suvullinen lisääntyminen tuottaa populaatioon myös aggressiivisuus- ja fitness-ominaisuuksien vaihtelua (Flier & Turkensteen 1999).

Tutkimuksessa osoitettiin, että maa voi toimia ruton tartuntalähteenä. Maasta tulevan tartunnan hallitsemiseksi pitäisi edelleen selvittää, millaiset kosteus- ja lämpöolot ovat kriittisiä tekijöitä infektio tapahtuman etenemiselle ja miten maasta tulevan tartunnan riskiä voitaisiin nykyistä paremmin ennakoida. Maatartunnan torjuntaohjeiden laatimiseksi tarvitaan lisätietoa epidemian kulkua säätelevistä tekijöistä.

4 Kirjallisuus

- Andersson, B., Sandström, M. & Strömberg, A. 1998. Indications of soil borne inoculum of *Phytophthora infestans*. *Potato Research* 41:305-310.
- Drenth, A., Janssen, E.M. & Govers, F. 1995. Formation and survival of oospores of *Phytophthora infestans* under natural conditions. *Plant Pathology* 44:86-94.
- Fay, J.C. & Fry, W.E. 1997. Effects of hot and cold temperatures on the survival of oospores produced by United States strains of *Phytophthora infestans*. *American Potato Journal* 74:315.
- Flier, W.G., Grunwald, N.J., Fry, W.E. & Turkensteen, L.J. 2001. Formation, production and viability of oospores of *Phytophthora infestans* from potato and *Solanum demissum* in the Toluca Valley, Central Mexico. *Mycological Research*. 105:998-1006.

- Flier, W.G. & Turkensteen, L.J. 1999. Foliar aggressiveness of *Phytophthora infestans* in three potato growing regions in the Netherlands. *European Journal of Plant Pathology* 105:381-388.
- Gallegly, M.E. 1968. Genetics of pathogenicity of *Phytophthora infestans*. *Annual Review of Phytopathology* 6, 375-396.
- Hermansen, A., Hannukkala, A., Nærstad, R.H. & Brurberg, M.B. 2000. Variation in populations of *Phytophthora infestans* in Finland and Norway: mating type, metalaxyl resistance and virulence phenotype. *Plant Pathology* 49:11-22.
- Judelson, H.S., Spielman, L.J. & Shattock, R.C. 1995. Genetic mapping and non-Mendelian segregation of mating type loci in the oomycete, *Phytophthora infestans*. *Genetics (USA)* 141:503-512.

Ruton leviäminen maasta kasviin ja maasta alkaneen epidemian eteneminen pellolla

Terhi Rantanen¹⁾, Ari Lehtinen¹⁾ ja Asko Hannukkala¹⁾

¹⁾MTT, Kasvintuotannon tutkimus, Kasvinsuojelu, 31600 Jokioinen, terhi.rantanen@mtt.fi, ari.lehtinen@mtt.fi, asko.hannukkala@mtt.fi

Tiivistelmä

Perunaruton aiheuttajan (*Phytophthora infestans*) etenemistä infektoituneesta maasta perunakasviin seurattiin mittaamalla taudinaiheuttajan DNA-pitoisuuksien muutoksia kvantitatiivisella PCR-menetelmällä. DNA-pitoisuudet määritettiin kuudesta eri kasvinosasta kerran viikossa kasvukauden ajan. Aivan epidemian alussa ruttosienen DNA:ta oli eniten kasvin maata koskeavissa alimmissa lehdissä. Tällöin varsien maanalaisissa osissa ja emomukuloissa ei ollut taudinaiheuttajan DNA:ta, ja näkyviä perunaruton oireita oli vain kolmessa kymmenestä tutkitusta alalehtinäytteestä. Viikkoa myöhemmin DNA-pitoisuudet olivat korkeimmat kasvien ylimmissä lehdissä ja varsien yläosissa. Kolme viikkoa epidemian alusta DNA:ta löydettiin myös mukuloista. DNA-määrien muutokset yksittäisissä kasveissa vastasivat näkyvän epidemian kehittymistä lohkokolla. DNA-pitoisuudet olivat suurimmillaan yleensä juuri ensimmäisten oireiden ilmaantuessa kasvien maanpäällisiin osiin. Ruton oireita ilmaantui läheisille seurantalohkoille sitä myöhemmin mitä kauempana maatartuntalohkosta ne sijaitivat.

Asiasanat: peruna, kasvinsuojelu, kasvitaudit, perunarutto, *Phytophthora infestans*, PCR-tekniikka, epidemiologia, sienitiöt

1 Johdanto

Maassa talven yli säilyvät munaitiöt ovat perunaruttoepidemioiden uusi alkulähde (Medina & Platt 1999, Turkesteen ym. 2000). Useissa tutkimuksissa erityisesti Pohjois-Euroopassa ja Pohjois-Amerikassa on arveltu, että munaitiöt voivat infektoida perunan (Zarzycka & Sobkowiak 1997, Andersson ym. 1998, Stromberg ym. 1999). Munaitiöiden leviämisestä luontaisesti saastuneesta maaperästä kasveihin ja munaitiöistä alkunsa saaneen epidemian etenemisestä viljelmällä tiedetään kuitenkin hyvin vähän. Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli seurata perunaruttoepidemian kehittymistä perunalohkolla, jonka maaperästä oli löydetty munaitiöitä. Samalla verrattiin *P. infestans*-DNA:n määrien muutoksia yksittäisten kasvien eri osissa näkyvien oireiden etenemiseen kasvustossa.

2 Aineisto ja menetelmät

Keväällä 2001 perunaa istutettiin lohkolle, jossa oli viljelty perunaa vuodesta 1990 lähtien. Lajike oli Bintje. Lohkolta toukokuun alussa ennen istutusta kerätyt maanäytteet olivat Drenthin ym. (1995) kehittämässä syöttikasvitesissä aiheuttaneet perunaruton oireita perunan lehdyköihin.

Tutkimusta varten istutettiin neljä 32,5 metrin mittaista perunapenkkiä 8. toukokuuta. Alue peitettiin harsokatteella, joka poistettiin 18. kesäkuuta. Toiset neljä samanmittaista penkkiä istutettiin edellisten viereen 28. toukokuuta Näiden suojana ei käytetty harsoa. Lohkot jaettiin edelleen pituussuunnassa kahdeksaan 4,5 metrin mittaiseen osalohkoon, jotta ruttopesäkkeiden ilmaantumisesta ja epidemian etenemistä voitiin seurata tarkasti lohkojen eri osissa. Koko tutkimusalueella kasteltiin säännöllisesti korkean maankosteuden ylläpitämiseksi. Ruttolaikkujen ilmaantumisesta kasvien lehdille tarkkailtiin taimettumisesta alkaen 2-3 kertaa viikossa.

12. kesäkuuta lähtien kerättiin kerran viikossa kaksikymmentä kokonaista kasvia viidestä kiinnitetystä kohdasta 5 metrin etäisyydeltä toisistaan. Kymmenestä kasvista kerrallaan otettiin näyte kuudesta eri kasvinosasta: varresta maan alta, varren tyveltä maanpinnan yläpuolelta, alalehdistä, varren keskiosasta, ylälehdistä, emomukulasta ja tytärmukuloista. Kasvinäytteistä puristettiin mehua, josta 50 µl käytettiin DNA-eristykseen. DNA eristettiin kasvimateriaalista DNeasy Plant Mini Kitillä (Qiagen).

P. infestans-lajin DNA-pitoisuudet näytteissä määritettiin suhteellisella kvantitoinnilla Taqman-kemiaan perustuvalla PCR-menetelmällä (ABI PRISM 7700 Sequence Detector, PE Biosystems). Alukkeet ja FAM-leimattu koetin suunniteltiin spesifisille *P. infestans* ITS1-alueille. Standardikäyrä tehtiin käyttämällä vakiotilavuutta puhdistetusta *P. infestans* DNA:sta eri laimennoksilla.

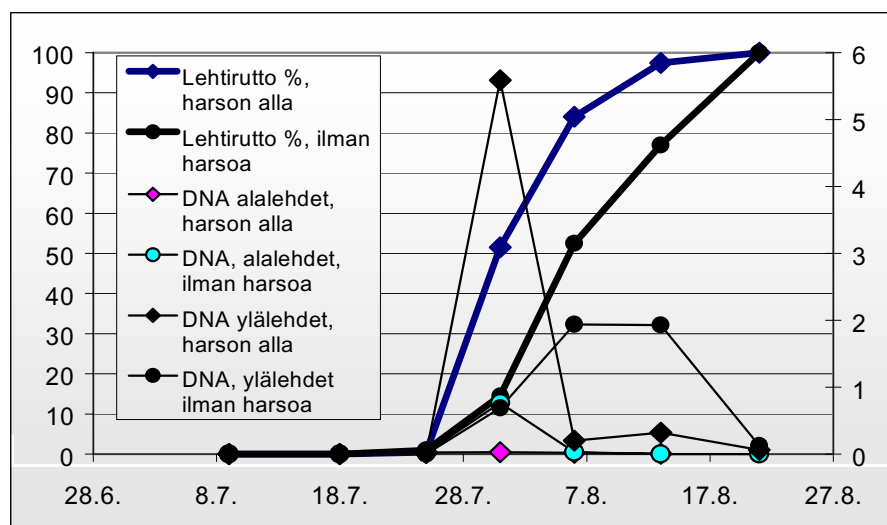
Epidemian leviämistä lähiympäristön perunakasvustoihin tarkkailtiin 2-3 kertaa viikossa viidellä 4 x 10 m kokoisella perunapalstalla, jotka oli istutettu tarkoitusta varten eri puolille maatartuntalohkoa. Näistä lähin sijaitsi noin 50 metrin päässä ja kauimmainen noin 300 metrin päässä metsäsaarekkeen takana. Tarkkailulohkot sijaitsivat maatartuntalohkolta itään, kaakkoon, etelään ja länteen.

3 Tulokset ja tulosten tarkastelu

Kasvukauden alku oli viileä ja kuiva, ja kastelusta huolimatta harson alta löytyviksi odotettuja aikaisia perunaruttopesäkkeitä ei ilmaantunut lohkolle. Yksi yksittäinen ruttolaikku löydettiin toinen kesäkuuta harson alla kasvanneen kasvin alalehdestä, mutta sääolot eivät suosineet epidemian leviämistä.

Seuraavat rutto-oireet löytyivät 18. heinäkuuta kolmen kasvin alalehdistä lohkon osalta, jota ei ollut peitetty harsolla kasvukauden alussa. Sen jälkeen epidemia levisi hyvin nopeasti ja 27. heinäkuuta tyypillisiä rutto-oireita löytyi joka kasvista. Ensimmäiset oireet olivat keltaisia mosaiikkimaisia pieniä laikkuja kaikkialla alalehdissä ja vasta myöhemmin tyypillisiä ruttolaikkuja ilmestyi ylälehtiin (Kuva 1 s. 23).

Lohkolla, joka oli katettu harsolla kasvukauden alussa, ensimmäiset oireet ilmestyivät pääasiassa ylälehtiin ja olivat tyypillisiä ruskeita ruttolaikkuja. Tauti eteni selvästi nopeammin tällä lohkolle kuin lohkolle, joka oli istutettu myöhemmin ja jätetty peittämättä. Kuudes elokuuta mennessä 80 % lehdistä oli tuhoutunut harson alla kasvatetuista kasveista ja 50 % avomaalla kasvatetuista kasveista. Koko kasvusto molemmilta lohkoilta oli täydellisesti tuhoutunut 15. elokuuta mennessä (Kuva 1).



Kuva 1. Lehtiruton oireiden ja ruton DNA-pitoisuuksien kehitys kasvien ala- ja ylälehdissä kesällä 2001 harson alla ja ilman harsoa kasvatetussa peruna-kasvustossa, johon ruttotartunta alunperin levisi maasta.

P. infestans-DNA:ta löydettiin ensimmäisen kerran kasvin alalehdistä 24. heinäkuuta (Kuva 1). DNA:ta löydettiin jokaisen kymmenen näytteen alalehdistä, kun oireita oli vain kolmessa näistä kasveista. DNA:ta löydettiin myös

ylälehdistä ja kasvien varsista, mutta näkyviä oireita ei näissä kasvin osissa vielä ollut.

DNA-määrät alalehdissä olivat viisi kertaa suuremmat kuin ylälehdissä ja kymmenen kertaa suuremmat kuin varren keskiosassa. Hyvin pieniä määriä DNA:ta löytyi kasvien varsista juuri maan pinnan yläpuolelta. Varret maan alla ja emomukulat eivät olleet tässä vaiheessa vielä infektoituneet, joten tartunta ei voinut olla peräisin siemenmukuloista.

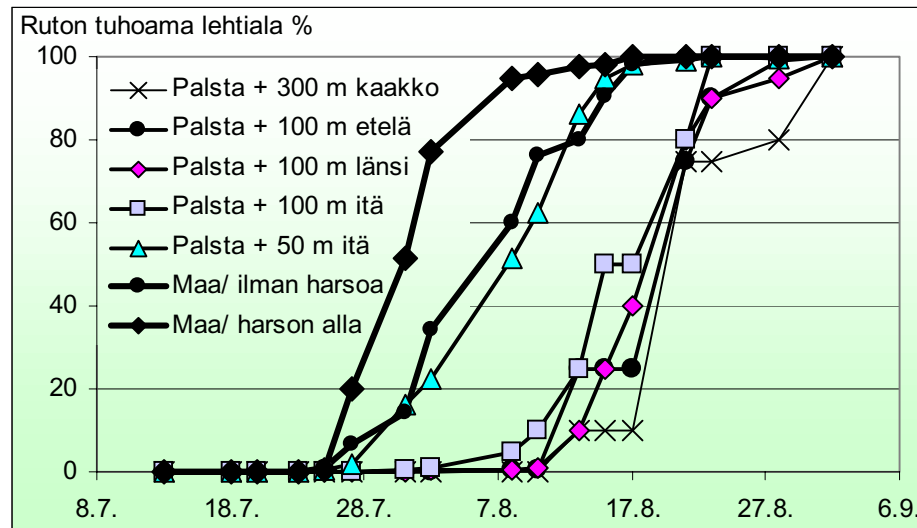
Viikkoa myöhemmin *P. infestans*-DNA:n pitoisuudet avomaalla kasvaneiden kasvien alalehdissä kasvoivat rajusti samalla, kun rutto-oireiden määrä lisääntyi. Sen sijaan harson alla kasvaneiden kasvien alalehdissä DNA-määrät jäivät samalle tasolle kuin 24. heinäkuuta. Matala DNA-pitoisuus näissä alalehdissä johtuu mitä todennäköisimmin siitä, että epidemia levisi räjähdysmäisesti harson alla kasvaneissa kasveissa. Näytteiden oton välisenä aikana alalehdet tuhoutuivat jo täysin, mikä selittää matalan DNA-pitoisuuden 30.7 otetuissa näytteissä. Alalehtien korkeimmat DNA-pitoisuudet olisi saatu mitatuksi, jos kasvinäytteitä olisi kerätty useammin kuin kerran viikossa. Sen sijaan harson alla kasvaneiden kasvien ylälehdissä DNA-määrät moninkertaistuivat 24.-30.7 välisenä aikana. 30. heinäkuuta otetuissa näytteissä löytyi patogeenin DNA:ta myös emo- ja tytärmukuloista.

Seuraavien viikkojen aikana avomaalla kasvaneiden kasvien alalehdet kuolivat ja samalla patogeenin DNA-määrät laskivat solujen hajotessa. Avomaalla kasvaneiden kasvien ylälehdissä patogeenin DNA-määrät nousivat rajusti vasta viikon kuluttua harson alla kasvaneiden kasvien tasolle, vaikka *P. infestans*-DNA:ta löydettiin ensimmäisen kerran näiden kasvien alalehdistä. Kasvukauden loppuun mennessä DNA-määrät laskivat myös kasvien ylälehdissä ja varsiosissa, mutta nousivat vielä tytärmukuloissa. DNA-määrät mukuloissa olivat hyvin matalia verrattuna lehdistä ja varren yläosista löydettyihin määriin. Myöskään näkyviä oireita ei mukuloista löytynyt.

Perunarutolle suotuisissa olosuhteissa epidemia levisi hyvin nopeasti. Viikon kuluttua pesäkettä, josta epidemia sai alkunsa, ei enää voitu erottaa muusta kasvustosta. Epidemia levisi selvästi nopeammin harson alla kasvaneissa kasveissa, vaikka se alkoi avomaalla kasvaneista kasveista. Tätä todistavat perunarutto-oireiden raju eteneminen lohkolla ja DNA-pitoisuuksien nopea kasvu taudinaiheuttajan lisääntyessä, ja sitä seurannut pitoisuuksien lasku DNA:n hajotessa kasvin lehtien kuollessa. Todennäköisin syy tähän selvästi nopeampaan taudin etenemiseen on harson alla kasvaneiden kasvien korkeampi fysiologinen ikä.

Mitatut DNA-pitoisuudet vastasivat hyvin epidemian kulkua, vaikka ne määritettiin yksittäisistä kasveista. PCR-menetelmällä pystyttiin seuraamaan infektion nopeaa etenemistä vuorollaan kasvin eri osissa jo ennen oireiden il-

mestymistä. Menetelmän avulla pystyttiin toteamaan infektio myös tytär-
mukuloissa jo heinäkuun lopussa, vaikka näkyviä oireita ei tällöin havaittu.



Kuva 2. Maasta alkunsa saaneen lehtiruton etenemisnopeus lohkokolla harson alla ja ilman harsoa viljellyssä perunassa sekä taudin leviämisen nopeus viidellä lähiympäristön palstalla eri etäisyyksillä ja eri ilmansuunnissa alkuperäisestä tartuntapesäkkeestä.

Epidemian leviämistä viidelle läheiselle seurantalohkolla tutkittiin tarkkailemalla ensimmäisten ruttolaikkujen ilmaantumista palstoille. Tauti levisi seurantalohkoille sitä nopeammin mitä lähempänä maatartuntalohkoa ne sijaitsivat ilmansuunnasta riippumatta. Lähimmältä noin 50 metrin päässä sijainneelta seurantalohkolta löytyi ensimmäinen ruttolaikku jo 5 vuorokauden kuluttua epidemian alusta maatartuntalohkolla (Kuva 2).

Muilla saman peltoaukean seurantalohkoilla epidemia alkoi vastaavasti 13, 15 ja 21 vuorokauden kuluttua. Kauimmaiselle metsäsaarekkeen takana olevalle palstalle ensimmäiset ruttolaikut ilmaantuivat 26 vuorokauden kuluttua maatartuntalohkon epidemian alusta. Ensimmäiset ruttolaikut löytyivät lehdistä kasvuston keskivaiheilta tiheimmästä kohdasta, jossa on taudinaiheuttajan lisääntymiselle otollisimmat olosuhteet. Todennäköisimmin epidemia sai alkunsa näillä seurantalohkoilla ilman mukana leviävistä pesäkeitiöistä.

Tutkimuksessa kävi ilmi, että maasta alkava tartunta voi johtaa hyvin rajusti eteneviin epidemioihin lohkokolla ja sen läheisyydessä viljeltävässä perunassa. Suvullisen lisääntymisen vaikutus jälkeläisten aggressiivisuuden vaihteluun tulisi selvittää, ja kartoittaa tarkemmin, valikoituvatko maatartuntapopulaation aggressiivisimmat kannat tuhoamaan lähiympäristön kasvustoja.

4 Kirjallisuus

- Andersson, B., Sandström, M. & Strömberg, A. 1998. Indications of soil borne inoculum of *Phytophthora infestans*. *Potato Research* 41:305-310.
- Drenth, A., Janssen, E.M. & Govers, F. 1995. Formation and survival of oospores of *Phytophthora infestans* under natural conditions. *Plant Pathology* 44:86-94.
- Medina, M.V. & Platt, H.W. 1999. Viability of oospores of *Phytophthora infestans* under field conditions in northeastern North America. *Canadian Journal of Plant Pathology* 21:137-143.
- Strömberg, A., Persson, L. & Wikstrom, M. 1999. Infection of potatoes by oospores of *Phytophthora infestans* in soil. *Plant Disease* 83:876.
- Turkensteen, L. J., Flier, W.G., Wanningen, R. & Mulder, A. 2000. Production, survival and infectivity of oospores of *Phytophthora infestans*. *Plant Pathology* 49:688-696.
- Zarzycka, H. & Sobkowiak, S. 1997. Formation and survival of *Phytophthora infestans* oospores and their role as a primary infection source of the pathogen. *Plant Breeding and Seed Science* 41:27-38.

Kemiallisen torjunnan ja ainevalikoiman kehitys 1990-luvulla

Anne Rahkonen¹⁾

¹⁾Perunantutkimuslaitos, Ruusuontie 156, 16900 Lammi, anne.rahkonen@petla.fi

Tiivistelmä

Vuosittaisia torjunta-aineiden myyntitilastoja ja perunan viljelypinta-aloja vertaamalla arvioitiin rutontorjunta-aineiden käytön muutoksia Suomessa. 1980-luvulla valmisteiden myyntimäärät vastasivat keskimäärin yhtä torjuntaruiskutusta koko peruna-alalle. 1990-luvulla vuoteen 1997 saakka myyntimäärät vastasivat kahta torjuntaruiskutusta koko peruna-alalle. Vuonna 1998 myynti kohosi ja pysyi aiempaa suurempana myös seuraavina vuosina. Vuosien 1998–2000 myynti vastasi 3,5 rutontorjuntaruiskutusta koko peruna-alalle. Rutontorjunta-aineiden myynnin lisääntyminen 1990-luvun lopulla osui samoihin vuosiin totuttua aikaisemman rutonpuhkeamisen kanssa. Vuodesta 1998 lähtien epäiltiin ruton munaitiöiden talvehtivan Suomessa, ja samalla viljelijöitä kehoitettiin entistä huolellisempaan rutontorjuntaan.

Asiasanat: peruna, kasvinsuojelu, kasvitaudit, perunarutto, Phytophthora infestans, kemiallinen torjunta, torjunta-aineet, fungisidit

1 Johdanto

Kemiallinen perunaruton (*Phytophthora infestans*) torjunta on tavanomaisessa viljelyssä lähes rutiininomainen toimenpide suojata kasvustot taudilta. 1990-luvun puoliväliin asti torjunta perustui fenylamidi- (Ridomil MZ) ja metyylibisditiokarbamaatteihin (Maneba ja Dithane 45-M) (Seppänen 1989). 1990-luvulla perunaruton havaittiin käyttäytyvän aiempaa aggressiivisemmin. Rutto puhkesi totuttua aikaisemmin (Hannukkala 1998) ja se alkoi olla jokavuotinen vieras myös Pohjois-Suomessa. Vastaavia havaintoja tehtiin Pohjois-Ruotsissa (Rahkonen 2001).

Ruttoepidemioiden voimistumisen myötä ruton torjuntaohjeita muutettiin. Esimerkiksi ruiskutuksia neuvottiin aikaistamaan ja lisäämään ruiskutuskerroja. Samaan aikaan 1990-luvulla rutontorjunta-aineiden valikoima lisääntyi, mikä osaltaan saattoi vaikuttaa torjuntakäytäntöön (Hannukkala 1991).

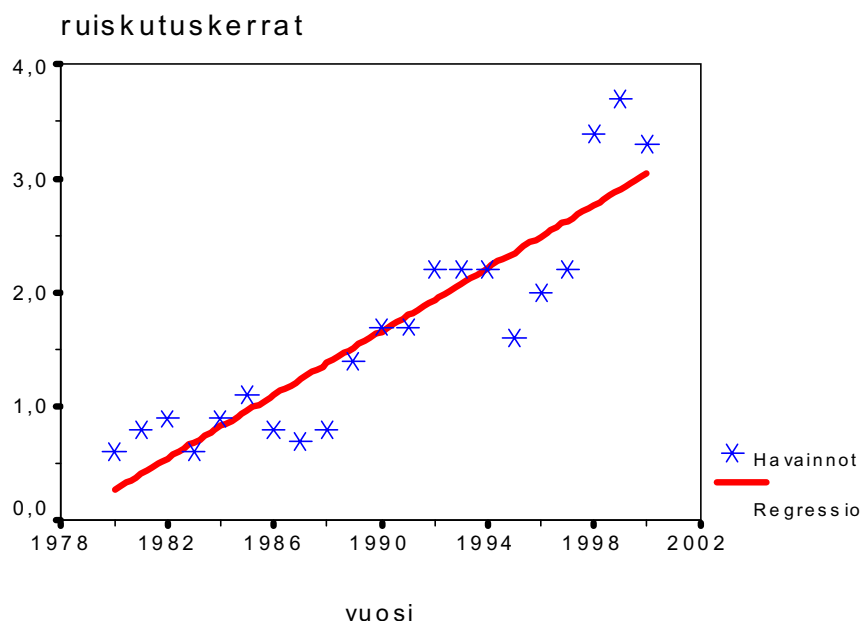
Tässä selvityksessä arvioidaan torjunta-aineiden myyntiä ja perunan viljelypinta-aloja kuvaavien tilastotietojen perusteella, ovatko kemiallisen rutontorjunnan käytännöt muuttuneet kahden viime vuosikymmenen aikana, ja onko ruttoepidemioiden aikaistuminen vaikuttanut rutontorjunta-aineiden myyntiin.

2 Aineisto ja menetelmät

Torjunta-aineiden myyntitilastoista (Hynninen & Blomqvist 1986-1999, Londesborough ym. 2000) poimittiin perunanviljelyssä yleisesti käytettyjen rutontorjunta-aineiden myyntimäärät. Kuprijauhetta ja Euparen M –valmistetta ei otettu tarkasteluun mukaan, koska niiden käyttö perunarutontorjunnassa on vähäistä. Toisaalta eräitä rutontorjunta-aineita käytetään vähäisiä määriä eräille muille kasveille, mutta muuta käyttöä ei ole perunaan kohdistetuista myyntimääristä vähennetty. Myyntitilastojen tehoainekilot muunnettiin tehoainepitoisuuden ja käyttöannoksen avulla käsittelyhehtaareiksi. Näin päästiin vertaamaan kunkin valmisteen käytön yleisyyttä.

3 Tulokset ja tulosten tarkastelu

Kemiallinen rutontorjunta yleistyi 1970-luvun alussa. 1980-luvun puoliväliin saakka ainevalikoima rajoittui Manebaan ja Dithaneen, ja Kuprijauhetta käytettiin vähäisiä määriä (Markkula ym. 1990). 1980-luvun alkupuolella rutontorjunta-aineiden myyntimäärä riitti keskimäärin yhteen ruttoruiskutukseen 80 prosentille peruna-alasta. Pienet perunaviljelmät hoidettiin yleensä ilman kemiallista torjuntaa. Ammattiviljelmilläkin kahta ruiskutusta pidettiin keskimäärin riittävänä (Seppänen 1989, Markkula ym. 1990).



Kuva 1. Ruttoruiskutusten määrä kasvukaudella eri vuosina ($R^2 = 0,82$, $Y = 0,14 \times X - 273,84$).

Ridomil MZ tuli myyntiin alkuvuodesta 1985. Jo koevaiheessa se osoittautui tehokkaaksi aineeksi (Perunantutkimuslaitos 1983, 1984). Sekä kokeissa että käytännön viljelyksillä käytettiin Ridomilia yleensä kerran ja vaikeissa oloissa kaksi kertaa kesässä, mikä riitti suojaamaan kasvuston (Seppänen 1989).

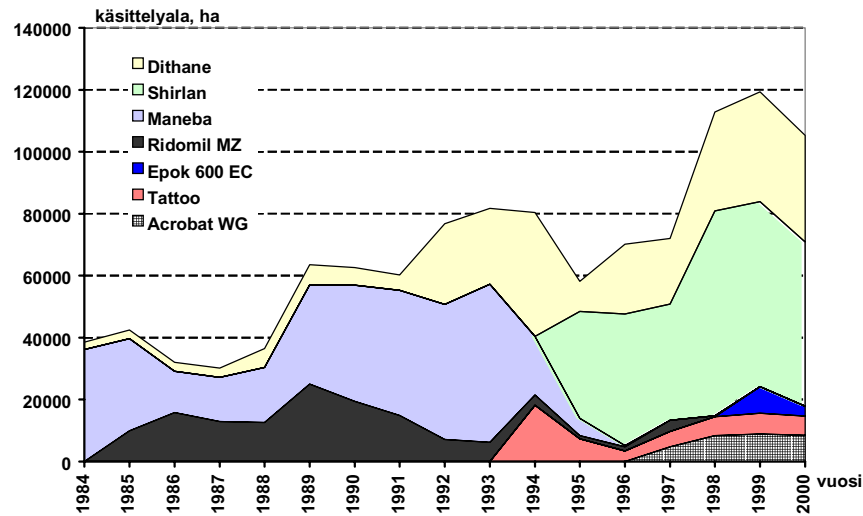
Ridomilin myynti oli huipussaan vuosina 1986–1987, jolloin sen osuus rutontorjunnan käsittelyalasta oli keskimäärin 46 %. Ensimmäisiä viitteitä Ridomilin heikentyneestä tehosta ilmeni pahana ruttovuonna 1988 (Perunantutkimuslaitos 1988). Parin seuraavan vuoden aikana kentältä kantautui viestejä siitä, että Ridomil ei tehonnut totutulla tavalla. Syksyllä 1989 metalakssyylinkestäviä kantoja määritettiin Suomessa ensimmäisen kerran. Pienestä otoksesta löytyi metalakssyylin kestävyttä yllättävän runsaasti (Hannukkala 1991).

Ridomilin käyttöohjeita muutettiin metalakssyyliresistenssiriskin vähentämiseksi. Ruttoista kasvustoa ei saanut ruiskuttaa Ridomililla. Käyttö rajoitettiin enintään kahteen kertaan ohjelman alussa, ja ohjelma neuvottiin päättämään kosketusvaikutteisella aineella. Siemenperunakäyttö kiellettiin vuonna 1991 (Hannukkala 1991).

Ridomilin myynti romahti 1990-luvun alkupuolella muutamaan prosenttiin käsittelyalasta. Samanaikaisesti muiden valmisteiden myynti lisääntyi niin, että rutontorjunta-aineiden vuosittainen myyntimäärä vastasi kahta ruiskutuskertaa koko peruna-alalle.

Uusia valmisteita tuli markkinoille 1990-luvulla: Tattoo vuonna 1994, Shirilan 1995, Acrobat 1997, ja Ridomil MZ vaihtui Epok 600 EC:en vuoden 1998 lopulla. Dithane M-45 jauheen tilalle tuli rakeistettu Dithane DG vuonna 1994.

Uusien valmisteiden markkinoille tulo sinänsä ei lisännyt rutontorjunta-aineiden käyttöä, vaan käyttö pysyi vakaana vuoteen 1997 saakka. Vuosi 1998 oli rutontorjunnan kannalta vaikea. Silloin rutontorjunta-aineiden myynti lisääntyi tasolle, jolla se on pysynyt myös vuosina 1999–2000. Näinä vuosina myyntimäärä vastasi keskimäärin 3,5 ruiskutuskertaa koko valtakunnan peruna-alalle.



Kuva 2. Eri rutontorjunta-aineilla käsitellyn perunanviljelyalan muutokset vuosina 1984-2000.

Rutontorjunta-aineiden käytön lisääntyminen 1990-luvun alussa ei ole käytetyn aineiston puitteissa luotettavasti selitettävissä. Mahdollisia torjunnan lisääntymistä selittäviä tekijöitä voivat olla esimerkiksi viljelyn ammattimaistumisesta johtuva huolellisempi rutontorjunta, sääolojen muuttuminen rutolle suotuisammaksi tai ruttokantojen muuttuminen. Dithanen peittauskäytön osuutta ei ole tässä aineistossa arvioitu eikä eritelty rutontorjuntakäytöstä. Dithane M-45:n peittauskäyttö voi vääristää tuloksia vähän, mutta tuskin merkittävästi.

Rutontorjunnan huomattava lisääntyminen 1990-luvun lopulla ajoittuu samoihin vuosiin aikaistuneen ruton ja munaitöiden talvehtimisepäilyjen kanssa. Kohonnut rutontorjunta-aineiden myynti 1990-luvun lopulla kielii mitä ilmeisemmin lisääntyneestä torjuntatarpeesta ja siitä, että viljelijät suhtautuvat muuttuneeseen tilanteeseen vakavasti.

4 Kirjallisuus

- Hannukkala, A. 1991. Ei Ridomilia enää siemenperunalle. Tuottava Peruna 18, 2:23.
- Hannukkala, A. 1998. Perunarutto oli viime kesän pahin tautiongelma. Tuottava Peruna 25, 4:15–17.
- Hynninen, E.-L. & Blomqvist, H. 1986-1991. Torjunta-aineiden myynti Suomessa. Kemia – Kemi. 13 (1986) 9:725–728, 14 (1987) 6:569–572, 15 (1988) 6:570–573, 16 (1989) 6:614–617, 17 (1990) 6:530–533, 18 (1991) 6:506–509.
- Hynninen, E.-L. & Blomqvist, H. 1992-1999. Pesticide Sales in Finland. Kemia – Kemi. 19 (1992) 6:563–565, 20 (1993) 6:535-537, 21 (1994) 6:529–531, 22 (1995) 8:529–531, 23 (1996) 6:485–488, 24 (1997) 6:514–517, 25 (1998) 6:513–516, 26 (1999) 6:498–500.
- Londesborough, S., Hynninen, E.-L. & Blomqvist, H. 2000. Pesticide Sales in Finland in 1999. Kemia – Kemi 27:492-494.
- Markkula, M., Tiittanen, K. & Vasarainen, A. 1990. Torjunta-aineet maa- ja metsätaloudessa 1953–1987. MTT:n tiedote 2/90. Jokioinen: Maatalouden tutkimuskeskus. 58 s.
- Perunantutkimuslaitos 1983. Perunantutkimuslaitoksen koetuloksia 1983. Lammi. Perunantutkimuslaitos. 126 s.
- Perunantutkimuslaitos 1984. Perunantutkimuslaitoksen koetuloksia 1984. Lammi. Perunantutkimuslaitos. 142 s.
- Perunantutkimuslaitos 1988. Perunantutkimuslaitoksen koetuloksia 1988. Lammi. Perunantutkimuslaitos. 119 s.
- Rahkonen, A. 2001. Ruotsissa siemenperunaopissa. Tuottava Peruna 28, 4:22–24.
- Seppänen, E. 1989. Perunarutto kuriin. Koetoiminta ja käytäntö 46:42. 23.5.1989.

Ruiskutustekniikoiden parantaminen perunaruton torjunnassa

Antti Lavonen¹⁾, Pasi Suomi²⁾, Hannu Haapala²⁾ ja Ari Lehtinen³⁾

¹⁾MTK, Markkinaorganisaatioryhmä, PL 510, 00101 Helsinki, antti.lavonen@mtk.fi

²⁾MTT, Maatalousteknologian tutkimus, Vakolantie 55, 03400 Vihti, pasi.suomi@mtt.fi, hannu.haapala@mtt.fi

³⁾MTT, Kasvintuotannon tutkimus, Kasvinsuojelu, 31600 Jokioinen, ari.lehtinen@mtt.fi

Tiivistelmä

Tutkimuksessa selvitettiin perunaruton torjuntatehon parantamismahdollisuuksia ruiskutustekniikoita kehittämällä. Kenttäkokeessa verrattavina olivat perinteinen ruisku viuhka-, pyörrekammio- ja ilmasuuttimin varustettuna (ruiskutusmäärä 300-400 l/ha), Hardi Twin -ilma-avusteinen ruisku (150-200 l/ha) ja Danfoil -puhallinruisku (40 l/ha). Suuttimien levitystasaisuudet olivat hyväksyttäviä, lukuun ottamatta pyörrekammiosuuttimia. Torjunta-aineen tunkeutumista perunakasvustoon selvitettiin kasvustoon asetetuilla vesiherkillä papereilla, joista mitattiin ruiskutusnesteen peittoaste. Paperit kuvattiin Olympus C-1400 L -digitaalikameralla. Kuvatiedostot analysoitiin Global Lab Image -analyysiohjelmalla. Vesiherkästä paperista määritetyn peittoasteen tuli kuvata mahdollisimman oikein perunalehdykällä olevaa ruiskutusnesteen todellista peittoastetta. Kirjallisuuden perusteella ei tarkkaa yhteyttä paperin ja lehdykän peittoasteiden välille löydetty, joten se tutkittiin kokeellisesti. Tulosten mukaan peittoaste vesiherkällä paperilla on suurempi kuin lehdykän ylä- ja alapinnalla. Saadun aineiston avulla luotiin kaksi lineaarista mallia, joissa vesiherkän paperin peittoasteen avulla voidaan selittää lehdykän pinnan peittoaste. Viuhka-, pyörrekammio- ja ilmasuuttimilla saatiin lehtien yläpinnoille parhaat peittoasteet suuren nestemäärän ansiosta. Lehtien alapintojen kostutuskyky oli kuitenkin näillä suuttimilla huono. Ilmasuutin toimi parhaiten pystypinnoilla. Hardi Twin -ruiskun ilmapuhallus tehosti ruiskutteen tunkeutuvuutta varsille ja lehtien alapinnoille kasvuston yläosassa. Danfoil-ruiskun pieni nestemäärä johti alhaiseen peittoasteeseen koko kasvustossa. Suhteellisesti ottaen Danfoil toimi hyvin kasvuston alaosassa kostuttaen varret ja lehtien alapinnat. Korkea ruiskutusnesteen konsentraatio korvaakin alhaista peittoastetta sisävaikutteisia aineita käytettäessä. Kaikkien tekniikoiden avulla saavutettiin yhtä hyvä ruttosuoja. Pienen nestetarpeen vuoksi ilma-avusteiset tekniikat tehostavat työnkäyttöä. Ruiskutteen vähäinen kulkeuma mahdollistaa ruiskutuksen myös totuttua tuulisemmissä olosuhteissa. Ilma-avusteisen tekniikan haittana on kuitenkin kalliimpi hankintahinta ja vaikeampi säädettävyys.

Asiasanat: kasvinsuojelu, kasvitaudit, peruna, perunarutto, kemiallinen torjunta, ruiskutustekniikka, kasvinsuojeluruiskut, suuttimet

1 Johdanto

Rutto on muuttunut aggressiivisemmäksi ja ilmestyy kasvustoihin yhä aikaisemmassa vaiheessa ruttokantojen muuntelun myötä (Hannukkala 2000, Lehtinen ym. 2001). Hankalina ruttovuosina ruton kehittyminen on vaikeaa pysäyttää toistuvillakaan käsittelyillä. Yhdeksi syyksi oletetaan puutteellista ruiskutustekniikkaa, jolla torjunta-ainetta ei saada riittävän tasaisesti ja peittävästi kasvustoon.

Kaikki markkinoilla olevat torjunta-aineet ovat joko puhtaasti kosketusvaikutteisia tai kosketus- ja sisävaikutteisen aineen seoksia. Seosaineissakin kosketusvaikutteinen osa vaatii tehotakseen hyvää peittoastetta kohteessaan. Sisävaikutteinen aine liikkuu pääasiassa kasvissa ylöspäin ja lehtien reunoille päin (Hagenvall 1987, Schönherr & Riederer 1989). Erityisesti kosketusvaikutteinen torjunta-aine on saatava tunkeutumaan tiheäänkin kasvustoon myös varsiin ja lehtien alapinnoille.

Tutkimuksessa selvitettiin, voidaanko ruiskutusteknisillä ratkaisulla parantaa ruiskutusnesteen peittoastetta kasvustossa ja tehostaa ruiskutteen tunkeutumista kasvuston vaikeasti saavutettaviin osiin. Lisäksi tutkittiin eri tekniikoiden antama biologinen teho erityyppisillä torjunta-aineilla ja eri kehitysvaiheissa olevissa kasvustoissa.

2 Aineisto ja menetelmät

2.1 Ruiskutustekniikat

Ennen kenttäkokeita mitattiin käytettävien suutinten ja kasvinsuojeluruiskujen levitystasaisuudet MTT/Vakolassa. Mittauksissa noudatettiin Suomen maatalouden ympäristöohjelman mukaisesta kasvinsuojeluruiskujen kunto-testauksesta annettuja ohjeita (KTTK 1996). Levitystasaisuus mitattiin Hardi Spray Scanner –laitteistolla.

Kokeisiin valittiin mukaan viisi ruiskutustekniikkaa: viuhka-, pyörrekammio- ja ilmasuuttimet tavanomaisessa ruiskussa, ilma-avusteinen Hardi Twin-ruisku ja Danfoil-puhallinruisku. Hardi Twin-ruiskussa käytetään viuhkasuuttimia pisaroiden muodostamiseen, mutta Danfoil-ruiskussa pisarat muodostetaan ilmavirtauksen avulla erikoissuuttimissa. Molemmissa ruiskuissa ilmapuhalluksen avulla pyritään tehostamaan ruiskutusnesteen tunkeutumista kasvustossa ja vähentämään kulkeuman riskiä. Hardi Twinissä käytettiin puolitettyä nestemäärää (150 tai 200 l/ha) perinteiseen ruiskuun nähden ja Danfoilissa 40 l/ha kaikissa ruiskutuksissa.

Torjunta-aineen tunkeutumista mitattiin perunakasvustoon asetettujen vesiherkkien papereiden avulla. Ruiskutusnesteen peittoasteen määrittämiseen paperista sovellettiin kuvausmenetelmää. Paperilta mitatun peittoasteen ja perunan lehdykälle tulleen ruiskutusnesteen todellisen peittoasteen välinen yhteys tutkittiin kokeellisesti, koska sellaista ei kirjallisuustiedoista löydetty.

2.2 Kenttäkoe

Kenttäkoe toteutettiin Lammilla vuonna 1999 Van Gogh- ja Nicola-lajikkeilla, vuonna 2000 Posmo- ja Suvi-lajikkeilla. Kokeissa käytettiin kahta torjunta-aineen annostasoa, suositeltua ja puolikasta annosta. Kenttäkokeessa tehtiin kuusi ruiskutusta 7-14 vrk välein. Ruiskutusten aikana mitattiin ilman lämpötila ja suhteellinen kosteus sekä tuulen nopeus ja suunta.

Ruiskutusnesteen peittoasteen määrittämiseksi puolen annoksen ruutuihin pantiin ennen ruiskutusta 10 vesiherkkää paperia (26 mm x 78 mm) lehtiin kasvuston yläosaan ja alaosaan. Toinen puoli taitetusta paperista oli lehden ala- ja toinen yläpinnalla. Lisäksi kasvustoon asetettiin kaksi pystykeräintä, joihin oli kiinnitetty 250 mm pitkä ja 26 mm leveä vesiherkkä paperi molemmiin puolin keräintä. Toinen keräimistä oli ajosuunnassa, toinen siihen nähden poikittain. Paperit kerättiin ruiskutuksen jälkeen pois välittömästi niiden kuivuttua.

Ruiskutuksen jälkeen kasvustosta otettiin kaksi lehti- ja varsinäytettä kasvuston ylä- ja alaosasta. Näytteet laitettiin kostutetun imupaperin päälle Petri-maljoille. Varsien haavakohdat kastettiin Dithane-liuokseen (7,5g/l), jonka jälkeen varret ja lehdet ruiskutettiin 1 ml:lla perunaruton itiösuspensiota (25-175x10³ itiötä/ml). Maljoja inkuboitiin kasvihuoneessa kaksi vuorokautta 100%:n suhteellisessa kosteudessa n. 16 °C:ssa, jonka jälkeen kosteus laskettiin 80%:iin. Ruton tartuttama pinta-ala arvioitiin 7 vuorokauden kuluttua testin aloittamisesta.

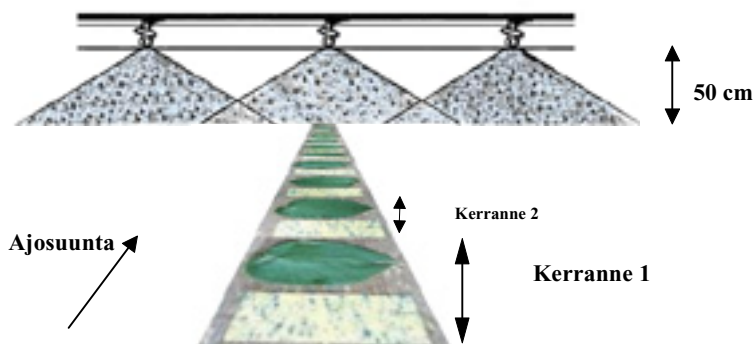
Taulukko 1. Kenttäkokeissa käytetyt ruiskutustekniikat, torjunta-aineet, ko-keiden aikaiset ilmasto- ja kasvusto-olosuhteet vuosina 1999 ja 2000.

Vuosi	Ruiskutuskerä		Nestemäärä, l/ha				Voimoton kierrosnopeus, r/min				Torjunta-aine		Ilman lämpötila, °C				Kasvuston korkeus, cm			
	Ruiskutustekniikka		Ruiskutusaine, bar	Puomin korkeus, cm	Ajonepeus, km/h		Puhaltimen asetus	Torjunta-aine	Täysi annos, yks./ha	Tuulen nopeus, m/s	Tuulen suunta	Ilman lämpötila, °C	Ilman suhteellinen kosteus, %	Pilvisuus, %	Kasvuston korkeus, cm	Yksilöitä, kpl/1 m	Kasvuston peittävyys, %	Kasvuston kehityssaste, BBCH-asteikko		
1999	1	Muhkasuutin	300	4.0	50	5.0	1600	0	Acrobat	2.0	24	87	29	44	28	61	3.6	96	61	
		Pyöreäkammio	300	5.0	60	4.8	1500	0	Acrobat	2.0	24	87	28	42	33	60	3.6	96	61	
		Hardi Twin	150	4.0	50	5.0	1600	6	Acrobat	2.0	3.0	90	28	43	21	62	3.6	96	61	
		Danfoi	40	0.5	60	5.0	1700	16	Acrobat	2.0	2.5	93	30	43	24	61	3.6	98	62	
	2	Muhkasuutin	400	4.0	50	4.9	1530	0	Tattoo	4.0	3.5	228	18	62	2	67	3.3	99	68	
		Pyöreäkammio	400	5.0	60	4.5	1430	0	Tattoo	4.0	3.0	225	18	62	3	68	3.3	100	69	
		Hardi Twin	200	4.0	50	5.0	1570	6	Tattoo	4.0	3.1	225	17	60	5	68	3.3	100	68	
		Danfoi	40	0.5	60	5.0	1700	16	Tattoo	4.0	3.0	228	18	61	3	67	3.3	100	69	
	3	Muhkasuutin	400	4.0	50	4.9	1530	0	Shirlan	0.4	2.6	90	22	48	1	66	3.5	98	84	
		Pyöreäkammio	400	5.0	60	4.5	1430	0	Shirlan	0.4	2.9	90	21	48	3	68	3.4	100	86	
		Hardi Twin	200	4.0	50	5.0	1570	8	Shirlan	0.4	2.9	90	22	44	0	67	3.3	100	84	
		Danfoi	40	0.5	60	5.0	1700	16	Shirlan	0.4	2.9	90	22	46	1	64	3.1	100	85	
	4	Muhkasuutin	400	4.0	50	4.9	1530	0	Dithane	2.0	1.5	270	15	58	3	63	3.9	100	92	
		Pyöreäkammio	400	5.0	60	4.5	1430	0	Dithane	2.0	1.3	270	15	56	4	67	3.8	100	92	
		Hardi Twin	200	4.0	50	5.0	1570	8	Dithane	2.0	0.9	270	15	53	5	66	3.8	100	92	
		Danfoi	40	0.5	60	5.0	1700	16	Dithane	2.0	1.4	270	15	57	2	66	3.8	100	92	
	5	Muhkasuutin	400	4.0	50	4.9	1530	0	Shirlan	0.4	1.7	158	22	62	1	65	3.3	100	93	
		Pyöreäkammio	400	5.0	60	4.5	1430	0	Shirlan	0.4	1.5	158	22	60	0	66	3.3	100	93	
		Hardi Twin	200	4.0	50	5.0	1570	8	Shirlan	0.4	1.5	158	23	57	0	67	3.4	100	93	
		Danfoi	40	0.5	60	5.0	1700	16	Shirlan	0.4	1.6	180	22	63	0	66	3.2	100	93	
2000	1	Muhkasuutin	300	4.0	50	5.0	1600		Tattoo	4.0	1.9	17	24	67	73	51	4.3	95	56	
		Ilmasuutin	300	6.0	50	5.1	1650		Tattoo	4.0	1.7	90	24	60	67	53	4.5	95	56	
		Hardi Twin	150	4.0	50	5.0	1600	6	Tattoo	4.0	1.8	56	23	64	90	52	4.4	95	56	
		Danfoi	40	0.5	60	5.0	1700	16	Tattoo	4.0	1.8	23	26	49	48	51	4.4	94	56	
	2	Muhkasuutin	400	4.0	50	4.9	1550		Acrobat	2.0	1.4	270	20	91	80	73	4.2	99	65	
		Ilmasuutin	400	6.0	50	4.2	1350		Acrobat	2.0	1.8	264	20	89	78	72	4.0	99	65	
		Hardi Twin	200	4.0	50	5.0	1600	8	Acrobat	2.0	2.0	225	21	86	80	73	4.1	98	65	
		Danfoi	40	0.5	60	5.0	1700	18	Acrobat	2.0	1.6	219	19	92	80	73	4.1	99	65	
	3	Muhkasuutin	400	4.0	50	4.9	1550		Dithane	2.0	2.2	45	19	88	80	78	4.3	100	70	
		Ilmasuutin	400	6.0	50	4.2	1350		Dithane	2.0	2.1	28	18	87	80	78	3.9	100	70	
		Hardi Twin	200	4.0	50	5.0	1600	8	Dithane	2.0	1.7	0	18	90	90	77	4.1	100	70	
		Danfoi	40	0.5	60	5.0	1700	18	Dithane	2.0	2.1	23	19	88	80	78	4.1	100	70	
	4	Muhkasuutin	400	4.0	50	4.9	1550		Dithane	2.0	4.1	0	15	85	63	74	4.2	100	93	
		Ilmasuutin	400	6.0	50	4.2	1350		Dithane	2.0	2.9	0	16	78	23	74	3.9	100	93	
		Hardi Twin	200	4.0	50	5.0	1600	8	Dithane	2.0	3.0	68	16	79	45	73	4.1	100	93	
		Danfoi	40	0.5	60	5.0	2100	22	Dithane	2.0	2.7	0	16	82	33	73	3.9	100	93	
	5	Muhkasuutin	400	4.0	50	4.9	1550		Shirlan	0.4	0.5	0	17	83	55	75	3.8	100	93	
		Ilmasuutin	400	6.0	50	4.2	1350		Shirlan	0.4	0.7	0	17	84	55	76	4.2	100	93	
		Hardi Twin	200	4.0	50	5.0	1600	8	Shirlan	0.4	0.7	0	17	86	60	76	3.9	100	93	
		Danfoi	40	0.5	60	5.0	2100	25	Shirlan	0.4	0.7	0	16	87	70	75	4.3	100	93	
	6	Muhkasuutin	400	4.0	50	4.9	1550		Shirlan	0.4	1.5	84	18	77	44	77	4.3	100	93	
		Ilmasuutin	400	6.0	50	4.2	1350		Shirlan	0.4	2.0	96	19	78	0	76	3.9	100	93	
		Hardi Twin	200	4.0	50	5.0	1600	8	Shirlan	0.4	1.7	113	17	79	13	77	4.1	100	93	
		Danfoi	40	0.5	60	5.0	2100	25	Shirlan	0.4	1.6	113	18	80	0	76	4.1	100	93	

2.3 Vertailukoe vesiherkälle paperille ja perunan lehdykälle

Vesiherkille papereille ja perunan lehdyköille ruiskutettiin peittoasteiden vertaamiseksi nestemäärät 40, 100, 200, 300 ja 400 l/ha.

Ruiskutusnesteenä käytettiin veden ja Tinopal 5BM-GX fluoresoivan aineen liuosta, jolloin pisarat ja pisaramuodostelmat saatiin UV-lamppujen avulla lehdyköiden pinnalta esille. Jokaisessa vertailukokeessa oli 50 kappaletta eli kerrannetta paperi/lehdykkä yläpintapareja sekä paperi/lehdykkä alapintapareja. Lehdykän ylä- ja alapintaparit asetettiin samaan ajokertaan (Kuva 1), jotta lehdyköiden ylä- ja alapintojen peittoasteiden vertailu olisi luotettava.



Kuva 1. Vesiherkät paperit ja perunan lehdykät vertailukokeessa, jossa ympäristöolosuhteet ja ruiskutusparametrit olivat vakiot. Periaatekuva.

2.4 Kuvausjärjestelmä ja digitaalikuva-analysointi

Kuvausjärjestelmässä käytettiin Olympus C-1400 L -digitaalikameraa. Kameran kuvakoko tarkimmalla asetuksella on 1280 x 1024 pikseliä eli noin 1,3 miljoonaa pikseliä kuvaa kohden. Peittoastealueeseen otettiin mukaan vain pisarat, jotka olivat halkaisijaltaan yli 50 µm. Koska digitaalikameralla ei vakiovarustein pystynyt ottamaan tarvittavan läheltä kuvaa, kameraan hankittiin +10 diopterin lähilinssi. Näin kuvausjärjestelmällä voitiin kuvata 20 x 25 mm:n kokoinen alue.

Kuvien analyysin kannalta oli erityisen tärkeää, että kuvauskohde oli tasaisesti valaistu ja valaistus oli sama jokaisella kuvaushetkellä. Kamera asennettiin reprokuvaustelineeseen, jossa oli kaksi valkoista valoa tuottavaa lamppua. Näitä lamppeja käytettiin vesiherkän paperin kuvauksessa. Lehdykän kuvauksessa lamput korvattiin UV-loisteputkilampuilla. Vaikka vesiherkkä paperi oli valaistu reprokuvaustelineessä mahdollisimman tasaisesti, kameran valotusautomaattikka valotti paperin keltaisen taustan eriasteisilla peittoasteilla eri tavoin. Koska tulosten oli oltava vertailukelpoisia, piti kaikki

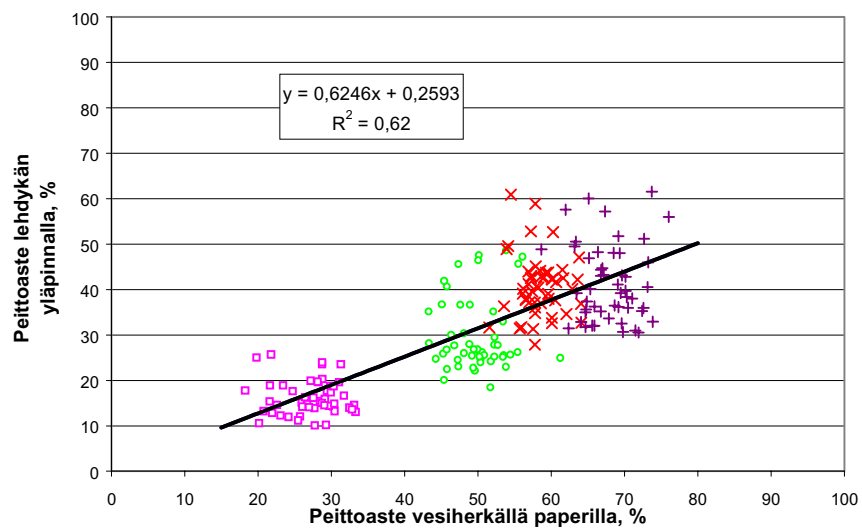
kuvat editoida (normeerata) kuvankäsittelyohjelmalla. Kuvasta mitattiin ruiskutusnesteen peittoaste *Global lab image* -analyysiohjelman avulla. Ohjelman analysointi perustuu pikselien värisävyarvoihin.

3 Tulokset

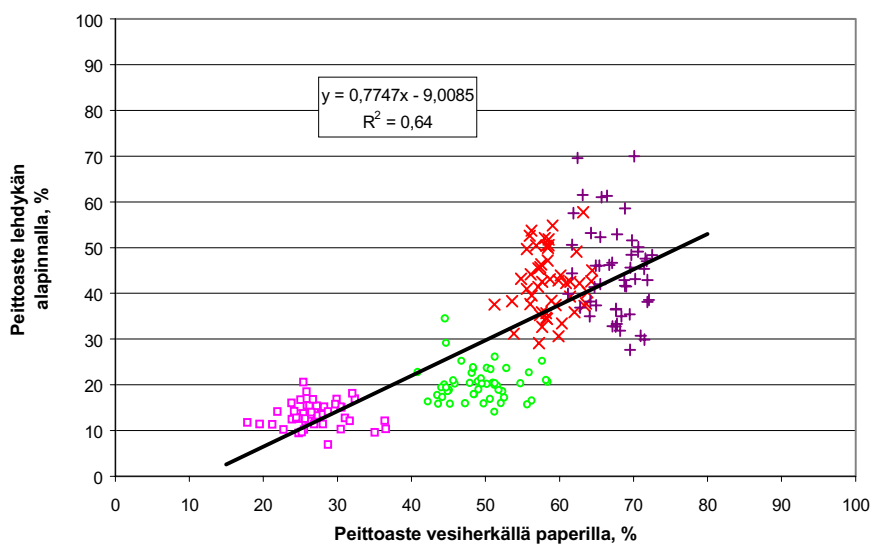
3.1 Vesiherkän paperin ja perunan lehdykän ala- ja yläpinnan väliset matemaattiset mallit

Saatujen peittoasteiden perusteella tehtiin regressioanalyysit siten, että mallissa A oli mukana nestemäärien 100–400 l/ha paperin ja lehdykän yläpinnan peittoasteet ja mallissa B vastaavasti paperin ja lehdykän alapinnan peittoasteet. Molemmissa malleissa oli yhteensä 200 peittoasteparin arvot. Regressioanalyysistä malleihin saatiin suoran kulmakertoimet β ja leikkauspisteet α y-akselille. Mallissa A (Kuva 2) noin 62 % lehdykän yläpinnan peittoasteiden vaihtelusta pystytään selittämään paperin peittoasteiden vaihtelulla. Mallissa B (Kuva 3) noin 64 % lehdykän alapinnan peittoasteiden vaihtelusta pystytään selittämään paperin peittoasteiden vaihtelulla.

Kuviin 2 ja 3 on mallien lisäksi lisätty analysoidut peittoasteet sirontakuviona, joissa x_i = paperin peittoaste ja y_i = lehdykän peittoaste ($i = 1 - 200$). Molemmista kuvioista voi havaita neljä pisteiden keskittymää, jotka johtuvat vertailukokeiden nestemääristä. Sirontakuvion (Kuva 2) mukaan aineisto näyttää seuraavan lineaarisesti muodostettua mallia A. Alapinnan mallissa B (Kuva 3) sen sijaan on havaittavissa pientä epälineaarisuutta, koska havaittu lehdykän alapinnan peittoaste nestemäärällä 200 l/ha oli hieman liian alhainen ja nestemäärällä 300 l/ha vastaavasti liian suuri. Tämä saattoi johtua hieman väärästä analyysiohjelman tulkinta-alueesta. Malleista malli A näyttäisi loogiselta, koska vakiotekijä α ei poikkea arvosta 0 kovinkaan paljoa. Mallissa B tekijä α poikkeaa huomattavasti nolasta, jonka lisäksi se on negatiivinen.



Kuva 2. Malli A vesiherkän paperin ja lehdykän yläpinnan peittoasteiden välille. (□) = 100 l/ha, (O) = 200 l/ha, (x) = 300 l/ha ja (+) = 400 l/ha.



Kuva 3. Malli B vesiherkän paperin ja lehdykän alapinnan peittoasteiden välille. (□) = 100 l/ha, (O) = 200 l/ha, (x) = 300 l/ha ja (+) = 400 l/ha.

3.2 Peittoaste, tunkeutumiskyky ja kostutuskyky

Vuonna 1999 peittoaste mitattiin kolmen ruiskutuksen yhteydessä molemmilta lajikkeilta. Vuoden 2000 sateisen kesän takia peittoasteet mitattiin vain kahdella ruiskutuskerralla. Peittoaste lehtien yläpinnoilla oli suoraan suhteessa käytettyyn nestemäärään. Tulos oli tältä osin täysin samansuuntainen molempina vuosina. Parhaaseen peittoasteeseen kasvuston yläosassa päästiin viuhka-, pyörrekammio- ja ilmasuutinten 300-400 l/ha ja huonoimpaan Danfoilin 40 l/ha nestemäärällä. Peittoaste väheni 30-50 %:iin kasvuston alaosaan mentäessä (Taulukko2).

Taulukko 2. Peittoasteet vesiherkillä papereilla eri ruiskutustekniikoilla. Samalla kirjaimella merkityt koejäsenet eivät eroa merkitsevästi toisistaan muuttuja- ja vuosikohtaisesti (Tukeyn testi, $p < 0,05$).

Ruiskutus- tekniikka	Vuosi	Lehdet, kasvuston alaosa		Lehdet, kasvuston yläosa		Pystykeräimet, kasvuston alaosa		Pystykeräimet, kasvuston yläosa	
		Alapinta	Yläpinta	Alapinta	Yläpinta	Ajosuun- nassa	Poikittain ajosuuntaan	Ajosuun- nassa	Poikittain ajosuuntaan
Viuhkasuutin	1999	0.9 a	18.8 bc	3.5 b	41.5 c	8.1 b	7.5 b	14.2 bc	13.1 b
Pyörrekammio	1999	0.9 a	21.2 c	2.8 ab	45.9 d	10.1 b	10.1 b	16.6 c	15.1 b
Hardi Twin	1999	2.3 b	15.5 b	7.0 c	20.8 b	6.6 b	7.4 b	9.9 b	11.9 b
Danfoil	1999	0.6 a	2.3 a	1.0 a	5.7 a	1.1 a	1.9 a	1.3 a	2.5 a
Kaikki yhteensä	1999	1.2	14.5	3.6	28.5	6.5	6.7	10.5	10.6
Viuhkasuutin	2000	0.8 a	15.0 b	2.1 a	49.5 c	4.3 ab	5.4 ab	11.5 bc	4.6 a
Ilmasuutin	2000	0.7 a	22.4 c	2.4 a	47.8 c	9.0 b	9.8 c	17.3 c	6.8 a
Hardi Twin	2000	1.2 a	10.2 b	7.2 b	24.0 b	4.8 ab	4.9 ab	5.6 ab	5.3 a
Danfoil	2000	0.6 a	2.4 a	0.9 a	7.2 a	0.8 a	1.8 a	1.0 a	2.0 a
Kaikki yhteensä	2000	0.8	12.5	3.2	32.1	4.7	5.5	8.8	4.7

Taulukko 3. Ruiskutusnesteen tunkeutumis- ja kostutuskyky eri ruiskutustekniikoilla. Samalla kirjaimella merkityt koejäsenet eivät eroa merkitsevästi toisistaan muuttuja- ja vuosikohtaisesti (Tukeyn testi, $p < 0,05$).

Ruiskutus- tekniikka	Vuosi	Tunkeutumis-%		Lehtien alapintojen kustutuskyky, %		Varsien kostutuskyky suhteessa lehtiin, %	
		Lehdillä	Varsissa	Kasvuston alaosa	Kasvuston yläosa	Kasvuston alaosa	Kasvuston yläosa
Viuhkasuutin	1999	48.5 a	54.2 a	6.7 a	13.7 a	58.8 a	41.4 a
Pyörrekammio	1999	47.4 a	57.9 a	5.8 a	6.4 a	56.3 a	34.9 a
Hardi Twin	1999	87.7 b	65.4 ab	15.6 a	51.3 b	44.7 a	61.7 b
Danfoil	1999	41.8 a	84.1 b	34.6 b	24.7 ab	74.4 a	38.5 a
Kaikki yhteensä	1999	56.3	65.4	15.7	24.0	58.6	44.1
Viuhkasuutin	2000	30.8 a	56.2 a	6.9 a	4.2 a	45.2 a	16.8 a
Ilmasuutin	2000	48.5 a	70.1 ab	3.0 a	6.6 a	42.0 a	27.1 a
Hardi Twin	2000	49.5 a	110.4 b	14.3 a	41.6 b	55.7 a	28.6 a
Danfoil	2000	36.3 a	83.4 ab	27.4 b	13.5 a	63.3 a	23.1 a
Kaikki yhteensä	2000	41.3	80.0	12.9	16.4	51.6	23.9

Ilma-avusteiset ruiskut tehostivat ruiskutusnesteen tunkeutumista kasvustoon. Vuonna 2000 ilmapuhalluksen edullinen vaikutus tunkeutuvuuteen tuli ilmi edellisvuodesta poiketen Hardi Twinillä vain mitattuna varsien alaosista. Ilmapuhallus paransi myös lehtien alapintojen kostumista. Hardi tehosti ruiskutteen tunkeutumista kasvuston yläosassa ja Danfoil kasvuston alaosassa.

3.3 Biologinen teho

Vuoden 1999 kuivan kesän aikana Lammilla ei esiintynyt ruttoa käsittelemättömissäkään kasvustoissa. Torjunta-aineiden tehoa ei näin pystytty vertailemaan pelto-oloissa. Vuonna 2000 sen sijaan sääolot olivat erittäin edulliset ruton kehittymiselle. Kaikilla tekniikoilla ja annostasoilla saatiin tällöin ruton ilmestymistä viivytettyä elokuun puoliväliin. Ruton kehityksessä ei ollut eroja ruiskutustekniikoiden tai ainemäärien välillä. Käsittelyjen jälkeen otettujen lehti- ja varsinäytteiden perusteella ruiskutusten teho oli molempina vuosina hyvä ottaen huomioon mitatut, osin erittäin alhaiset peittoasteet. Erityisesti varsien saastunta oli hyvin vähäistä. Rutto-% lehdillä oli suurempi kasvuston ala- kuin yläosassa, minkä osaksi selittänee aleneva peittoaste ja torjunta-ainemäärä. Tehoerot tekniikoiden välillä oli vähäiset, vaikka peittoaste-erot olivat suuret. Puolitetuilla torjunta-aineannoksilla saavutettiin heikompi ruttosuoja kuin täysillä annoksilla sekä kasvuston ylä- että alaosassa.

Heikoin teho todettiin molempina vuosina ruiskutuksissa, jotka tehtiin helteisissä ja kuivissa olosuhteissa. Kahden vuoden tulosten perusteella aineiden välillä ei voi sanoa olevan tehoeroa. Peräkkäiset ruiskutukset samalla aineella voivat teholtaan poiketa merkittävästi ruttopaineen vaihtelun takia. Kumpakaan vuonna ei perunasadon määrässä tai laadussa todettu merkitseviä eroja ruiskutustekniikoiden välillä. Mukularuttoa ei myöskään todettu sadossa.

Taulukko 4. Ruiskutustekniikoiden antama biologinen teho. Samalla kirjaimella merkityt koejäsenet eivät eroa merkittävästi toisistaan muuttuja- ja vuosikohtaisesti (Tukeyn testi, $p < 0,05$).

Ruiskutus- tekniikka	Vuosi	Ruttolaikkujen lukumäärä lehdillä		Rutto-% lehdillä		Ruton esiintymis-% varsissa	
		Kasvuston alaosa	Kasvuston yläosa	Kasvuston alaosa	Kasvuston yläosa	Kasvuston alaosa	Kasvuston yläosa
Viuhasuutin	1999	0.30 a	0.39 ab	2.30 a	0.48 a	3.13 a	6.25 a
Pyörrekammio	1999	0.33 a	0.15 a	1.29 a	0.23 a	0.63 a	6.88 a
Hardi Twin	1999	0.16 a	0.44 ab	2.31 a	0.81 a	1.88 a	4.38 a
Danfoil	1999	0.69 b	0.64 b	3.61 a	0.93 a	1.88 a	5.00 a
Kaikki yhteensä	1999	0.37	0.40	2.38	0.61	1.88	5.63
Viukasutin	2000	1.11 a	0.70 a	6.28 a	2.86 a	0.63 a	3.13 a
Ilmasuutin	2000	0.99 a	0.79 a	4.92 a	2.33 a	1.25 a	3.75 a
Hardi Twin	2000	0.97 a	0.85 a	5.57 a	2.93 a	2.50 a	6.25 a
Danfoil	2000	0.95 a	0.63 a	5.26 a	1.68 a	0.63 a	8.75 a
Kaikki yhteensä	2000	1.00	0.74	5.50	2.45	1.25	5.47

Taulukko 5. Torjunta-ainekäsittelyiden antama biologinen teho. Samalla kirjaimella merkityt koejäsenet eivät eroa merkitsevästi toisistaan muuttujakohtaisesti (Tukeyn testi, $p < 0,05$).

Ruiskutuskerä/ Torjunta-aine		Vuosi	Ruttolaikkujen lukumäärä lehdillä		Rutto-% lehdillä		Ruton esiintymis-% varsissa	
			Kasvuston alaosa	Kasvuston yläosa	Kasvuston alaosa	Kasvuston yläosa	Kasvuston alaosa	Kasvuston yläosa
1. ruiskutus, Acrobat	1999	0.63 b	0.02 a	5.95 c	0.03 a	0.78 a	12.50 b	
2. ruiskutus, Tattoo	1999	0.38 ab	0.05 a	0.80 ab	0.05 a	0.00 a	2.34 a	
3. ruiskutus, Shirlan	1999	0.69 b	1.75 b	4.44 bc	2.58 b	2.34 a	10.94 b	
4. ruiskutus, Dithane	1999	0.13 a	0.06 a	0.67 ab	0.13 a	5.47 a	2.34 a	
5. ruiskutus, Shirlan	1999	0.03 a	0.14 a	0.03 a	0.27 a	0.78 a	0.00 a	
Kaikki yhteensä	1999	0.37	0.40	2.38	0.61	1.88	5.63	
1. ruiskutus, Tattoo	2000	2.00 b	2.03 c	12.81 b	6.11 b	2.34 a	8.59 bc	
2. ruiskutus, Acrobat	2000	0.58 a	0.17 a	4.50 a	0.56 a	2.34 a	14.06 c	
3. ruiskutus, Dithane	2000	1.61 b	0.53 ab	4.86 a	0.98 a	1.56 a	2.34 ab	
5. ruiskutus, Shirlan	2000	0.17 a	0.05 a	2.06 a	0.13 a	0.00 a	0.00 a	
6. ruiskutus, Shirlan	2000	0.54 a	0.94 b	2.75 a	4.50 b	0.00 a	2.34 ab	
Kaikki yhteensä	2000	1.00	0.74	5.50	2.45	1.25	5.47	

4 Tulosten tarkastelu ja johtopäätökset

Muodostetut mallit kuvasivat perunan lehdykän peittoasteita nestemäärillä 100–400 l/ha, kun paperin peittoaste on 15 – 75 %. Verrattaessa paperin peittoasteita Jernin (1992) ja perunan lehdykän peittoasteita Anken ja Irlan (2000) tuloksiin, ne vastasivat toisiaan. Analysointiohjelman parametrivalintaa varten tulisi jatkotutkimuksissa kuitenkin kehittää kalibrointimenetelmä, jonka avulla pystytään tekemään haluttu peittoaste lehdykän tai vesiherkän paperin pinnalle.

Työpäivän aikana kuvausjärjestelmällä voidaan ottaa 300–400 kuvaa. Koska analyysiohjelmalla voitiin myös analysoida noin 300 kuvatiedostoa päivässä, menetelmästä saatiin tavoitteenmukainen. Tutkimuksessa luotua menetelmää voidaan käyttää tulevissa ruiskutustutkimuksissa ja sitä on helppo kehittää päivittämällä tekniikka uudemmaksi ja tarkemmaksi. Ruiskutteen pisarakoon ja peittoasteen merkitystä samoin kuin tarvittavia annosmääriä tulisi selvittää jatkotutkimuksin. Ruiskutustekniikkaa voidaan kehittää tehokkaammaksi ja ympäristöystävällisemmäksi vasta silloin, kun tiedetään tavoiteltu peittoaste ja pisarakoko.

Viuhka-, pyörrekammio- ja ilmasuuttimet pystyvät suuren nestemäärän ansiosta takaamaan riittävän peittoasteen lehtien yläpinnoille. Puutteet erityisesti lehtien alapintojen kostutuskyvyssä heikentävät tulosta. Ilmasuutin toimii parhaiten pystypinnoilla. Hardi Twin pystyy ilmapuhalluksensa avulla pienelläkin nestemäärällä parempaan tulokseen tunkeutuvuudessa ja lehtien alapintojen kostutuksessa kuin perinteinen viuhkasuutin. Biologinen teho on

samaa luokkaa kuin viuhkasuuttimella. Danfoilin erittäin alhainen nestemäärä kostautuu alhaisena peittoasteena kasvustossa. Suhteellinen peittoasteen jakauma on kuitenkin hyvä: Danfoil toimii erinomaisesti kasvuston alaosissa kostuttaen hyvin varret ja lehtien alapinnat. Ainemäärän jakauma on näissä suhteissa parempi kuin perinteisillä suuttimilla, jolloin toimivuus sisävaikutteisilla aineilla on hyvä. Danfoilin antama alhainen peittoaste näyttää olevan riittävä antamaan muiden ruiskujen veroisen suojan ruttoa vastaan myös kosketusvaikutteisella Shirlanilla, joka vahakerrokseen imeytyttyään ei enää liiku mihinkään. Tehty laboratorionkoe osoitti, että Danfoilin muita korkeampi ruiskutusnesteen väkevyys ei sinällään tehosta biologista suojaa. Hislop ja Baines (1980) havaitsivat kokeissaan peittoasteen olevan tärkein biologiseen tehoon vaikuttava tekijä kosketusvaikutteisilla fungisideilla. He totesivat kuitenkin, että peittoasteella voi olla yläraja, jonka yli peittoastetta lisättäessä biologiseen tehoon tarvittava ainemäärä ei enää alene.

Koska kaikilla tekniikoilla saadaan hyvä biologinen teho rutontorjunnassa, on ilmatekniikoiden korkeammat investointikustannukset saatava korvatuksi muilla hyödyillä. Vaikka kulkeumaa ei mitattu, ovat ilma-avusteiset ruiskut ja -suuttimet osoittautuneet muiden tekemissä kokeissa (Permin & Odgaard 1989, Brandt 1990, Hislop ym. 1993, Hislop ym. 1995) selvästi ympäristöystävällisemmiksi kuin perinteiset viuhka- ja pyörrekammiosuuttimet. Lisäksi ilma-avusteisten tekniikoiden vaatimat pienet nestemäärät tehostavat työnkäyttöä. Niillä voidaan ruiskuttaa vielä melko tuulisissa oloissa, jolloin mahdollisia ruiskutuspäiviä on enemmän kuin perinteisiä ruiskuja käytettäessä.

Tulevaisuudessa olisi selvitettävä myös alapäin ruiskutuksen mahdollisuudet perunaruton torjunnassa. Ilma-avusteisillakin ruiskuilla saadaan lehtien alapinnoille hyvin vähäinen peittoaste, mikä näyttää kuitenkin antavan riittävän suojan ilman mukana leviävää ruttoa vastaan. Munaitiöiden aiheuttama tartuntapaine kohdistuu perunan alalehtiin. Maasta tulevaa tartuntaa vastaan alalehdet on kyettävä suojaamaan torjunta-aineilla nykyistä paremmin.

5 Kirjallisuus

- Anken, T. & Irla, E. 2000. Spritztechnik gegen krautfäule in kartoffeln. FAT-Berichte nr. 548. Tänikon, Switzerland: FAT 8 s.
- Brandt, J. 1990. Luftassisterad besprutning- ett exempel i Hardi Twin. Teoksessa: 31:a svenska växtskyddskonferensen, Uppsala Institutionen för växtodlingslära, Konsulentavdelningen/Mark. Växter, Sveriges lantbruksuniversitet 1990. s. 91-106.
- Hagenvall, H. 1987. Besprutningsteknik i lantbruket. Uppsala: SLU. Speciella skrifter/Sveriges lantbruksuniversitet, 25 25:1-66.

- Hannukkala, A. 2000. Perunaruttopopulaation muuntelu Suomessa. Teoksessa: Salo, R. & Kurppa, A. (toim.). Kohti huippulaatuista siemenperunaa: Satoa projektista 'Siemenperunan laadunhallinnan erikoiskysymykset'. Maatalouden tutkimuskeskuksen julkaisuja. Sarja A 71. Jokioinen: MTT. s. 24-28.
- Hislop, E.C. & Baines, C.R. 1980. An analysis of some spray factors affecting the protection of foliage by fungicides. Symposium on Spraying Systems for the 1980'. Proceedings of the symposium, Royal Holloway College, maaliskuu 1980. Lontoo: BCPC Publications. Monograph 24:23-33.
- Hislop, E.C., Western, N.M. & Butler, R. 1995. Experimental air-assisted spraying of a maturing cereal crop under controlled conditions. Crop Protection vol. 14(1):19-26.
- Hislop, E.C., Western, N.M., Cooke, B.K. & Butler, R. 1993. Experimental air-assisted spraying of young cereal plants under controlled conditions. Crop Protection 12(5):193-200.
- Jern, M. 1992. Metoder för kvalitativ analys av appliceringsresultatet. Helsingin yliopisto, Maa- ja kotitalousteknologian laitos. Pro gradu -tutkielma. 87 s.
- KTTK 1998. Kasvinsuojeluruiskujen kuntotestausohje. Kasvintuotannon tarkastuskeskuksen määräyksen 100/482/96 liite. 7 s.
- Lehtinen, A., Rantanen, T. & Hannukkala, A. 2001. Munaitiöistä syntyä enimmäkseen perunarutto. Koetoiminta ja käytäntö 2:13.
- Permin, O. & Odgaard, P. 1989. Afdrift ved marksprøjtning. 6. Danske Planteværnskonference /Pesticider og Miljø. Slagelse: Statens planteavlsvforsøg, Danmarks Jordbruksforskning, 1989 s. 204-220.
- Schönherr, J. & Riederer, M. 1989. Foliar penetration and accumulation of organic chemicals in plant cuticles. Reviews of Environmental Contamination and Toxicology Vol 108:1-70.

Lehti- ja mukularuton ennakointi ja torjunta

Asko Hannukkala¹⁾, Ari Lehtinen¹⁾ ja Terhi Rantanen¹⁾

¹⁾MTT, Kasvintuotannon tutkimus, Kasvinsuojelu, 31600 Jokioinen, asko.hannukkala@mtt.fi, terhi.rantanen@mtt.fi

Tiivistelmä

Perunaruton torjuntaruiskutusten aloittamiseen ja ajoittamiseen kehitetyt ennustemallit ja asiantuntijajärjestelmät eivät ota huomioon lohkolta maasta tai mukuloista tulevaa tartuntaa. Tutkimuksessa selvitettiin eri tyyppisten torjunta-aineiden tehoa lehtiruttoa sekä näkyvää ja piilevää mukularuttoa vastaan, jos ruiskutukset aloitetaan taudinaiheuttajan esiintyessä oireettomana kasvustossa. Samalla tutkittiin, voidaanko NegFry-ennusteeseen tukeutuen vähentää ruiskutuskertoja tai ainemääriä, kun ruttovaara on pieni. Shirlan-valmiste antoi kaikissa torjuntastrategioissa parhaan suojan lehti- ja mukularuttoa vastaan. Dithane- ja Acrobat-valmisteet tehosivat hyvin rutiininomaisesti ruiskutettuna, mutta niiden teho kärsi, kun ruiskutusten tai tehoaineen määrästä tingittiin. Vähäisestä lehtiruton määrästä huolimatta näkyvää ja piilevää mukularuttoa oli paljon varsinkin Dithane-valmisteella toteutetuissa ohjelmissa. Mukularuton iskeytymiseen liittyvät tekijät vaativat lisätutkimuksia, koska lehtiruton perusteella mukularuton määrää ei voi ennakoita.

Asiasanat: kasvinsuojelu, kasvitaudit, peruna, perunarutto, Phytophthora infestans, mukularutto, kemiallinen torjunta, ennusteet, mallit, asiantuntijajärjestelmät, fungisidit, mankotsebi, fluatsinami, dimetomorfi

1 Johdanto

Maasta leviävä perunarutto on aikaistanut epidemioiden alkamista ja siksi kemiallista ruttosuojaa on ylläpidettävä kasvustossa yli kuukauden pidempään kuin 1990-luvun alussa. Samalla yhteiskunnan paineet torjunta-aineiden käytön vähentämiseksi ovat kasvaneet ja jokaisen torjuntaruiskutuksen tarpeellisuus on pystyttävä perustelevaan ehkä jo lähitulevaisuudessa (Wiik 1996).

Torjunta-ainepanosta voidaan vähentää pienentämällä torjunta-aineannosta tai pidentämällä ruiskutusväliä ruttoriskin ollessa pieni (Kirk ym. 2001). Ruttovaaran ennakointiin vallitsevien sääolojen perusteella on kehitetty erilaisia ennustemalleja ja asiantuntijajärjestelmiä, joista Pohjoismaissa on selvitetty erityisesti NegFry-mallin toimivuutta (Secher & Bouma 1996).

NegFry-ennuste toimii, jos säämittaukset vastaavat riittävän hyvin lohkolta vallitsevia olosuhteita. Malli ei kuitenkaan ota huomioon lohkon sisältä maasta tai mukuloista tulevaa tartuntaa (Hansen 1995). Ennusteen mukaan

tehtynä ensimmäinen ruiskutus saattaa myöhästyä ja siksi tarvitaan uusia keinoja ruttoepidemian alkamisen määrittämiseksi. Nykyaikaiset PCR-perusteiset tunnistusmenetelmät tarjoavat mahdollisuuden havaita ruton ilmaantuminen kasvustoon heti ensimmäisten itiöiden kulkeutuessa kasvustoon tai ruton alkaessa edetä kasvin solukoissa (Niepold & Schöber-Butin 1995).

Kasvukauden lopussa kasvustoissa esiintyy yleensä hiukan lehtiruttoa, jos torjunta-ainepanosta pienennetään (Kirk ym. 2001). Tämä ei vaikuta normaalisti sadon määrään, mutta voi lisätä merkittävästi ruttoisten mukuloiden osuutta sadossa. Lehtiruton määrän perusteella on vaikea ennustaa, paljonko sadossa esiintyy mukularuttoa, koska mukuloiden tartuntaan vaikuttaa etenkin sateiden määrä ja ajoittuminen (Hemmen 1977, Schepers 1996).

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää, miten hyvin eri tyyppiset torjunta-aineet suojaavat perunan lehtirutolta ja etenkin näkyvältä ja piilevältä mukularutolta, jos ruiskutukset aloitetaan vasta, kun taudinaiheuttaja on levinnyt kasvustoon. Samalla tutkittiin voidaanko NegFry-ennusteeseen tukeutuen vähentää ruiskutuskertoja tai ainemääriä, kun ruttovaara on pieni.

2 Aineisto ja menetelmät

Vuosina 2000 ja 2001 Tammelassa toteutetussa kenttäkokeessa verrattiin vaikutustavaltaan kolmen erilaisen torjunta-aineen tehoa lehti- ja mukularuttoon. Jokaisen torjunta-aineen käytössä noudatettiin lisäksi neljää erilaista NegFry-malliin perustuvaa ruiskutusstrategiaa.

Tutkittavat rutontorjunta-aineet olivat Dithane NT (mankotsebi 750g/kg), Shirlan (fluatsinami 500 g/l) ja Acrobat WG (dimetomorfi 90 g/kg ja mankotsebi 600 g/kg). Dithane- ja Shirlan-ohjelmat toteutettiin kokonaan näillä valmisteilla. Acrobat-valmistetta käytettiin kahdella ensimmäisellä ruiskutuskerralla, jonka jälkeen ruiskutuksia jatkettiin Shirlan-valmisteella.

Torjunta-aineiden käytössä noudatettiin seuraavia strategioita:

- a. Ruiskutukset aloitettiin ruttoennusteen perusteella ja sen jälkeen ruiskutukset uusittiin Shirlan- ja Dithane-valmisteilla 7 vrk välein ja Acrobat-valmisteella 10 vrk välein (Rutiiniohjelma).
- b. Ruiskutukset aloitettiin ja uusintaruiskutukset tehtiin ruttoennusteen perusteella. Valmisteen suoja-ajaksi oletettiin Shirlan- ja Dithane-valmisteilla 7 vrk ja Acrobat-valmisteella 10 vrk (NegFry-ohjelma).
- c. Ruiskutukset aloitettiin ja uusintaruiskutukset tehtiin ruttoennusteen perusteella, kuten edellä. Valmisteiden käyttömäärät olivat kuitenkin vain puolet myyntipäällyksen suosituksesta (Shirlan 0,2 l/ha, Dithane 1 kg/ha ja Acrobat 1 kg/ha) siihen asti, kun ensimmäiset ruttolaikut ilmaantuivat ruiskuttamattomiin suojaruutuihin (NegFry1/2-ohjelma).

- d. Ruiskutukset aloitettiin, kun taudinaiheuttajan DNA:ta löytyi kerätyistä näytelehdistä, jonka jälkeen ruiskutukset uusittiin ennusteen mukaan, kuten kohdassa b. Koeruuduista kerättiin 2 kertaa viikossa 20 lehdykkää ja niistä puristetusta massasta määritettiin perunaruton DNA kvantitatiivisella PCR-menetelmällä (PCR-ohjelma).

Lehtiruton alkamista tarkkailtiin tarkastamalla koeruutujen väliset ruiskuttamattomat suojarivit kolme kertaa viikossa kesäkuun puolivälistä alkaen. Kun ensimmäiset ruttolaikut löydettiin, koeruudut tarkastettiin 2-3 kertaa viikossa ja ruton tuhoama lehtiala arvioitiin prosentteina koko lehtialasta. Havaintojen perusteella kullekin ruudulle laskettiin taudin etenemisnopeutta kuvaava käyrä, jonka alapuolelle jäävän kuvion pinta-alaa (AUDPC) käytetään vertailtaessa eri aineiden ja torjuntastrategioiden tehoa toisiinsa.

Sadonkorjuun jälkeen jokaisesta ruudusta otettiin kaksi 100 mukulan näytettä kooltaan kaupakelpoisesta sadosta. Toinen näyte-erä tarkastettiin lokakuussa ja toinen tammikuussa mukularuton toteamiseksi. Mukularuton esiintymisen määritettiin sekä kappale- että painoprosentteina sadosta.

Silmävaraisessa mukularuttoanalyysissä terveiksi todetuista mukuloista otettiin erikseen 15 kpl näyte ja siitä määritettiin kvantitatiivisella PCR-menetelmällä, oliko oireettomissa mukuloissa ruton DNA:ta. Menetelmä on kuvattu edellä artikkelissa 'Ruton leviäminen maasta kasviin ja maasta alkaneen epidemian eteneminen pellolla'.

3 Tulokset ja tulosten tarkastelu

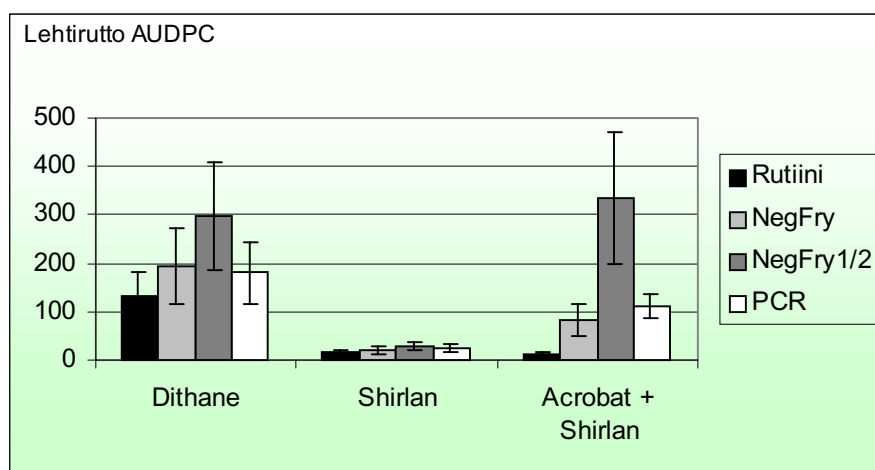
Rutiiniohjelmissa tehtiin vuonna 2000 seitsemän ja vuonna 2001 kahdeksan ruiskutusta. Vuonna 2000 NegFry-ennusteen perusteellakin tehtiin 7 ruiskutusta hieman erilaisella ajoituksella, kuin rutiininomaisesti toimittaessa. Vuonna 2001 NegFry-ennusteen avulla voitiin säästää 2 ruiskutuskertaa. Kun ruiskutukset aloitettiin ruton DNA:n löydyttyä kasvustosta, tarvittiin kumpakin vuonna 1-3 ruiskutusta vähemmän kuin aloitettaessa ruiskutukset NegFry-mallin mukaan.

Rutiininomaisesti toteutetussa Dithane-ohjelmassa ruiskutettiin keskimäärin yli 11 kg/ha tehoainetta vuodessa, kun vähimmillään Shirlan-ohjelmissa tarvittiin 1,1 kg/ha tehoainetta vuodessa (Taulukko 1).

Ruton DNA:ta löydettiin perunan lehdistä 21.7. 2000 ja 3.8. 2001. Ruton ensioireet löytyivät koeruutujen välisistä käsittelemättömistä kaistoista 24.7. 2000 ja 10.8. 2001. Ensimmäiset ruttolaikut havaittiin puolitetuilla annoksilla käsitellyissä koejäsenissä vastaavasti 24.7. 2000 ja 17.8. 2001. Pahiten saastuneissa koeruuduissa oli viimeisellä havaintokerralla 5.9. 2000 75 % lehtialasta tuhoutunut, mutta vastaavasti 10.9. 2001 enimmillään vain 1 % lehtialasta oli tuhoutunut.

Taulukko 1. Torjunta-aineen ja –strategian vaikutus ruiskutusten ja käytetyn tehoaineen määrään, oireiden ilmaantumisen viiveeseen ja lehtiruton tuhoamaan lehtialaan viimeisellä havaintokerralla keskimäärin vuosina 2000-2001.

Valmiste	Ruiskutus-strategia	Ruiskutuksia kpl 2000-2001	Tehoainetta g/ha/vuosi.	Oireiden viive vrk	Lehtirutto % lopussa
Dithane	Rutiini	7 - 8	11250	21	22,4
	NegFry	7 - 6	9750	17	21,5
	NegFry1/2	7 - 6	8250	14	28,4
	PCR	6 - 5	8250	17	22,1
Shirlan	Rutiini	7 - 8	1500	23	1,1
	NegFry	7 - 6	1300	24	2,4
	NegFry1/2	7 - 6	1100	20	2,7
	PCR	6 - 5	1100	22	2,9
Acrobat +	Rutiini	2 + 5 - 5	3760	25	0,8
Shirlan	NegFry	2 + 4 - 3	3460	19	12,1
	NegFry1/2	2 + 4 - 3	2080	19	28,4
	PCR	2 + 3 - 3	3360	16	16,5



Kuva 1. Torjunta-aineiden ja –strategioiden vaikutus ruton etenemisnopeuteen mitattuna taudin etenemiskäyrän alle jäävällä pinta-alalla (AUDPC) keskimäärin vuosina 2000-2001.

Kaikki Shirlan-valmisteella ja muillakin aineilla rutiininomaisesti toteutetut torjuntaohjelmat viivästyttivät ruton ilmaantumista noin 10 vrk vuonna 2000 ja yli 30 vrk vuonna 2001 (Taulukko 1). Lehtiruton torjunnassa kaikki Shirlan-valmisteella toteutetut ohjelmat antoivat erinomaisen torjuntatuloksen. Miltei yhtä hyvä suoja saatiin, kun ruiskutukset aloitettiin Acrobat-valmisteella ja myöhemmät ruiskutukset tehtiin rutiininomaisesti. Etenkin Acrobat-annoksen puolittaminen heikensi ratkaisevasti torjuntatulosta. Kaik-

ki Dithane-valmisteella toteutetut ohjelmat olivat torjuntateholtaan heikompia kuin Acrobat- ja Shirlan-ohjelmat (Taulukko 1, Kuva 1).

Mukularuton määrä sadossa oli yllättävän suuri vähäiseen lehtiruton esiintymiseen nähden etenkin syksyllä 2001. Dithane-valmisteella käsitellyissä koejäsenissä oli enimmillään yli 30 % ruttoisia mukuloita, vaikkei lehtiruttoa ollut kuin 1 %. Lehtiruton määrästä riippumatta Shirlan-valmisteella käsitellyt koejäsenet olivat jokseenkin puhtaita mukularutosta. Valmiste on muissakin tutkimuksissa ollut tehokkain valmiste mukularuttoa vastaan (Schepers 1996, Hemmen 1997).

Taulukko 2. Torjuntavalmisteiden ja ruiskutusstrategioiden vaikutus mukulasatoon, mukularuttoon vuosina 2000-2001 ja terveiksi luokiteltujen mukuloiden piilevän ruton määrään DNA-pitoisuuksilla mitattuna vuonna 2000.

Valmiste	Ruiskutusstrategia	Kokonais-sato t/ha	Mukularutto %	Kauppakelpoinen sato t/ha	Suhteellinen DNA-pitoisuus
Dithane	Rutiini	42,8	7,0	33,0	3,08
	NegFry	40,6	8,3	29,9	1,68
	NegFry1/2	41,1	4,6	33,3	-
	PCR	40,9	5,3	32,6	1,65
Shirlan	Rutiini	47,9	2,5	42,4	1,53
	NegFry	44,2	1,4	39,6	1,15
	NegFry1/2	43,6	1,2	39,4	-
	PCR	44,0	1,0	40,0	0,56
Acrobat +	Rutiini	45,8	1,5	41,3	0,99
Shirlan	NegFry	43,1	1,8	38,3	1,58
	NegFry1/2	40,2	1,6	36,3	-
	PCR	43,0	2,2	38,0	1,70

Silmävaraisesti terveiksi luokitelluista mukuloista löytyi lokakuussa melko suuria ruton DNA-pitoisuuksia (Taulukko 2). Molempina vuosina syksyn piilevät tartunnat puhkesivat näkyviksi oireiksi seuraavaan tammikuuhun mennessä. Tammikuussa silmävaraisesti terveissä mukuloissa ei enää ollut piilevää tartuntaa.

Tutkimuksen perusteella Shirlan-valmistetta käytettäessä ruiskutusten ja tehoaineen määrässä on mahdollista joustaa ilman, että torjuntateho heikkenee. Monissa Euroopan maissa myyntipäällyksen ohjeessa valmisteen käyttömäärä onkin 0,3 l/ha Suomessa suositellun 0,4 l/ha sijaan (Schepers 1996).

Mukularuton iskeytymiseen vaikuttavista ympäristötekijöistä ei vielä tiedetä riittävästi. Lehtiruton määrän perusteella mukulatartunnan ankaruutta ei pystytä ennakoimaan (Kirk ym. 2001) Pieni lehtiruton määrä voi sateisina syksyinä johtaa erittäin runsaaseen mukulatartuntaan varsinkin, jos viimeiset

ruiskutukset tehdään Dithane-valmisteella (Hemmen 1997). Lisätutkimusta tarvittaisiinkin mukularuton epidemiologiasta, jotta riittävän tarkat toimintaohjeet mukularuton torjumiseksi voitaisiin laatia viljelijöiden käyttöön.

4 Kirjallisuus

- Hansen, J.G. 1995. Meteorological dataflow and management for potato late blight forecasting in Denmark. Teoksessa: Hansen, J. G. & Sigvald, R. (toim.). Proceedings of the Workshop on Weather Information and Plant Protection. SP Report No. 10. Lyngby. Danish Institute of Plant and Soil Science. s. 57-63.
- Hemmen, C. 1997. Erfahrungen zur Bekämpfung von Braunfäule an Kartoffeln. Nachrichtenblatt des Deutschen Pflanzenschutzdienstes 49:178-181.
- Kirk, W.W., Felcher, K.J., Douches, D.S., Coombs, J., Stein, J.M., Baker, K.M. & Hammerschmidt, R. 2001. Effect of host plant resistance and reduced rates and frequencies of fungicide application to control potato late blight. Plant Disease 85:1113-1118.
- Niepold, F. & Schöber-Butin B. 1995. Application of the PCR technique to detect *Phytophthora infestans* in potato tubers and leaves. Microbiological Research 150:379-385.
- Schepers, H.T.A.M. 1996. Effect of rain on efficacy of fungicide deposits on potato against *Phytophthora infestans*. Potato Research 39:541-550.
- Secher, B.J.M. & Bouma, E. (toim.) 1996. Survey on European crop protection decision support systems. SP report no. 16. Tjele, Denmark: Danish Institute of Plant and Soil Science. 95 s.
- Wiik, L. 1996. Control of potato late blight (*Phytophthora infestans*) in Sweden. Teoksessa: Correll, A. 13th Danish Plant Protection Conference. SP rapport Nr. 4. Tjele. Statens Planteavlsforsøg s. 29-40.

Rutontorjunta luomuviljelyssä – tarkkailukohteena ruokaperunatila

Elina Virtanen¹⁾

¹⁾MTT, Pohjois-Pohjanmaan tutkimusasema, 92400 Ruukki, elina.virtanen@mtt.fi

Tiivistelmä

Rutontorjuntaan ei sallita luonnonmukaisessa perunaviljelyssä kemiallisia torjunta-aineita. Torjuntaan on käytettävä tuotantoketjun eri vaiheita, yleensä tilakohtaisina sovelluksina. Aikaisuus ja mukularutonkestävyys lajikevalinnassa sekä sertifioidun siemenen käyttö ovat lähtökohtana. Lajikkeen aikaisuuden lisäksi idätys, istutus, hallittu viljelykierto ja lohkon hoitotoimet turvaavat kasvuston kehittymisen ja sadon muodostumisen mahdollisimman pitkälle ennen ruton iskeytymistä. Lehtirutto tuhoaa kuitenkin kasvuston vuosittain, vain sen leviämisenopeudessa on eroja. Vuosi vuodelta ruton aikaisempi ilmestyminen kasvustoihin talvehtivine munaitiöineen nähdään uhkana luonnonmukaiselle perunanviljelylle. Nykyisillä ”torjuntakeinoilla” se on entistä vaikeampi hallita.

Asiasanat: peruna, ruokaperuna, kasvinsuojelu, kasvitaudit, perunarutto, Phytophthora infestans, luonnonmukainen viljely, viljelykierto, siemenperuna, sertifiointi

1 Taustaa

Luonnonmukaisessa perunanviljelyssä perunarutto on kasvitaudeista vaikein hallita. Rutto on taudille sääoloiltaan otollisina vuosina uhka jopa koko perunasadolle. Koska kemiallisten torjunta-aineiden käyttö ei ole sallittua, rutontorjunnassa on otettava huomioon kaikki tuotantoketjun vaiheet (Holm 1994). Keskeisimpinä rutontorjunnan keinoina pidetään kestäviä/aikaisia lajikkeita (Varis ym. 1996), viljelmien sijoitusta tuulisille ja ojitukseltaan kunnossa oleville lohkoille sekä kasvustojen elinvoimaisuutta (Zwankhuizen ym. 1998). Perunaruton hallintaan on luonnonmukaisessa viljelyssä kuitenkin vaikea antaa yksiselitteisiä ohjeita (Holm ym. 1999). Ratkaisut ovat käytännössä tilakohtaisia, osin alueellisia.

Pohjois-Pohjanmaan TE-keskuksen alueella viljellään perunaa luonnonmukaisesti n. 80 ha:lla. Tuotanto on keskittynyt Ruukin, Siikajoen ja Lumijoen kuntiin. MTT:n Pohjois-Pohjanmaan tutkimusasema osallistui ”Uuden perunaruton epidemiologia ja kemiallinen torjunta” –projektiin vuosina 1997-2001 seuraamalla perunaruton alkamisajankohtaa ja keräämällä kasvustosta ruttonäytteitä alueen perunaa tuottavilta luomutiloilta. Perunaruton aiheuttamia ongelmia ja ruttoriskin vähentämiseksi tehtäviä toimenpiteitä peilataan

Pohjois-Pohjanmaan yhden suurimman ruokaperunaa viljelevän luomutilan käytäntöön.

2 Rutontorjunta alkaa lajikevalinnasta ja käyttösiemenestä

Lajikevalinnassa painoarvo on rutonkestävyydessä ja aikaisuudessa. Lajikevalintaa sanelee myös tavanomaisen tuotannon valtalajikkeet, sillä lajikenimeltä tunnettu luomuperuna on helpompi markkinoida. Vaikka lajikkeelta vaaditaankin lehtirutonkestävyyttä, etusijalla pidetään kuitenkin lajikkeen aikaisuutta ja mukularutonkestävyyttä. Lehtirutonkestävien lajikkeiden heikkoutena saattaa olla alttius mukularutolle. Esimerkkitalalla lehtirutonkestävä Matilda mielletään mukularutolle alttiiksi lajikkeeksi.

Sertifioidun siemenen käyttö on tuotannon lähtökohta. Jopa käyttösiemenen lisäys omalla tilalla katsotaan nykytilanteessa riskitekijäksi. Luomutuotannolle tulevaisuuden uhkana nähdään myös luonnonmukaisesti tuotetun sertifioidun siemenperunan käyttöpakko. Pelkona on paitsi perunarutturiskin lisääntyminen ja puhkeaminen jo taimivaiheessa mahdollisesti ruttoisista siemenmukuloista myös siemenperunoiden heikompi elinvoimaisuus tavanomaisesti tuotettuun ja sertifioituun verrattuna.

3 Lohkon valinnalla ja idätyksellä vähennetään rutturiskiä

Ruttoitiöiden kaukokulkeutumista on mahdotonta estää, mutta viljeltävän lohkon ympäristön ruttopesäkkeet (kompostit, jätekasat) on syytä hävittää. Myös lohkoa ympäröivien avo-ojien pajut on perattava, jotta ne eivät olisi tuulen esteenä. Pohjois-Pohjanmaalla kasvukauden aikana merituulet tuulettavat kasvustoja, kunhan penkit on istutettu tuulivirtausten suuntaisiksi. Viljeltävän lohkon toimimaton ojitus ja pellon pinnan painaumat lisäävät myös rutturiskiä sadejaksoina.

Luonnonmukaisessa perunantuotannossa pyritään suhteellisen myöhäiseen istutukseen toisaalta lämmenneeseen maahan istutetun perunan nopean alkukehityksen takia toisaalta rikkakasvien torjunnan helpottamiseksi. Idätys on nopean alkukehityksen lähtökohta, ja nopea kasvuston kehitys onkin ruttonorjunnan kannalta erityisen tärkeää. Tällä tavalla taataan sadon kehittyminen mahdollisimman pitkälle ennen ruton ilmestymistä kasvustoon.

4 Istutuksessa ja hoitotoimissa noudatetaan tarkkuutta

Jotta kasvustosta saadaan avoin ja hyvin tuulettuva, rivivälinä käytetään 80 cm ja istutustiheytenä lajikkeesta riippuen 30-32 cm. Penkki muotoillaan istutusvaiheessa liki täyteen mittaansa, mahdollisimman suureksi. Näin istutusaikainen maan kosteus saadaan pidättäytymään penkkiin ja karkea maalaji sitoutuu muotoonsa helpommin. Riittävän suuri ja muotonsa säilyttävä penkki suojaa mukularuttosaastunnalta.

Rikkatorjunta/multaukset tehdään lautasvannas –multaimella kaksi kertaa ennen taimettumista ja kerran taimettumisen jälkeen 20-30 cm:n taimivaiheessa. Ennen taimettumista tehdyissä multauksissa multaimen lisävarusteenä on penkin päällysten käsittelyyn kettingit. Huolellinen rikkakasvien torjunta vähentää huomattavasti ruttopesäkkeiden syntymistä kasvustoon. Lisäksi noin 30-40 cm taimivaiheessa penkin vaot käsitellään kultivaattorin piikeillä jopa 30 cm syvyyteen. Tätä vaon pohjan kuohkeuttamista pidetään tärkeänä rutontorjuntakeinona, sillä se helpottaa ja nopeuttaa sadevesien imeytymistä maahan.

5 Kasvusto ”rauhoitetaan” hoitotoimista nostoon

Esimerkkitalan viljelytekniikkaan kuuluu, että kasvusto on koskematon hoitotoimien jälkeen nostoon saakka. Lohkoilla on säätökastelujärjestelmä, ja sitä käytetään kasvukauden sääoloista riippuen. Perunan luonnonmukaisessa viljelyssä varsistonhävityksenä sallitaan murskaus/niitto. Perinteisesti varsistonmurskaus suositellaan tehtäväksi, kun n. 5 % kasvustosta on ruton saastuttamaa. ”Rauhoitetussa” kasvustossa lehtirutto tuhoaa kasvuston vuosittain, vain sen leviämisenopeudessa on eroja. Kun ruton eteneminen on maltillista, vihreää lehtialaa saattaa olla luontaiseen tuleentumiseen saakka. Tämä antaa lisää aikaa mukulasadon kasvulle. Nosto aloitetaan vasta, kun rutto on tuhonnut varret täysin eikä vihreää varsimassaa ole lainkaan näkyvissä. Nosto ajoitetaan aina syyskuun loppupuolelle, kunnes mukuloiden kuori on vahvistunut. Vaikka nosto toteutetaan kuivalla säällä, sadon alkukuivatus on tehtävä ennen varastointia.

6 Viljelykierto on ravinnehuollon ja kasvinsuojelun perusta

Viljelykierto ja siihen valittavat välikasvit ovat aina tilakohtaiset; kolmivuotiseen kiertoon on sisällytetty virna-kaura-apila sekoitus (1. vuosi), peruna (2. vuosi) ja kaura (3. vuosi). Viherlannoitusvuonna virna-kaura-apila kasvuston alkukesän hoitotoimilla pidetään esimerkiksi juolavehänä ja muut ongelmarikkakasvit kurissa.

Rutontorjunnassa kasvuston rehevöitymistä on vältettävä. Viherlannoituksessa onkin hallittava typen oikea-aikainen ja –määräinen vapautuminen, jotta peruna saisi riittävästi typpeä kasvuston kehityksen alkuvaiheessa eikä lannoitus rehevöittäisi tai pitkittäisi kasvuston tuleentumista. Esimerkkitalalla viherlannoitusvuonna kasvustomassa murskataan syksyllä niittosilppurilla ja jätetään lautaskarhi –muokkauksen jäljeltä talveksi maan pinnalle. Kyntö keväällä paitsi nopeuttaa maan lämpenemistä myös rytmittää viherlannoitusvaikutuksen sopivasti perunan kehitykseen.

7 Uudet ruttotyypit ja ruton aikaisuus uhkana

Pohjois-Pohjanmaan luomuperunatilan käytäntö minimoida ruttoriski vaatii niin kokemusta tuotannosta kuin tarkkuuttakin. Uudet ruttotyypit talvehtivine munaitiöineen ja vuosi vuodelta aikaisemmin kasvustoon ilmestyvä rutto saattavat olla uhka luonnonmukaiselle perunantuotannolle. Vaikka uusia keinoja rutontorjuntaan etsitäänkin, tuloksia ei ole vielä saatu. Esimerkiksi kuminan eteeristen öljyjen (karvoni ja limoneeni) ruttoruiskutukset MTT:n Pohjois-Pohjanmaan tutkimusasemalla pitkittivät ruton iskeytymistä vain noin 5-7 vuorokautta. Jos perunarutto tulevaisuudessa uhkaa kasvustoja vielä varhaisemmassa vaiheessa, nykyisillä luonnonmukaisen viljelyn keinoilla rutto ei ole enää hallittavissa.

8 Kirjallisuus

- Holm, S. 1994. Diseases and pests in organic agriculture. SP rapport Nr. 17. Lyngby. Statens Planteavlsvorsøg. 44 s.
- Holm, S., Kristensen, H. & Tersbol, M. 1999. Crop protection – monitoring in organic farming. Teoksessa: 16th Danish Plant Protection Conference. DJF rapport Markbrug nr. 10. Tjele. Danmarks JordbrugsForskning. s. 55-63.
- Varis, E., Pietilä, L. & Koikkalainen, K. 1996. Comparison of conventional, integrated and organic potato production in field experiments in Finland. *Acta Agriculturae Scandinavica* 46:41-48.
- Zwankhuizen, M. J., Govers, F. & Zadoks, J. C. 1998. Development of potato late blight epidemics: disease foci, disease gradients and infection sources. *Phytopathology* 88:754-763.

Perunaruton torjuntastrategiat ja tutkimus-tarpeet

Asko Hannukkala¹⁾, Ari Lehtinen¹⁾ ja Terhi Rantanen¹⁾

¹⁾MTT, Kasvintuotannon tutkimus, Kasvinsuojelu, 31600 Jokioinen, asko.hannukkala@mtt.fi, ari.lehtinen@mtt.fi, terhi.rantanen@mtt.fi

1 Johdanto

Uudenlaisen perunaruton takia rutontorjunnan onnistuminen vaatii aiempaa enemmän ammattitaitoa ja tietoa muuttuneen taudinaiheuttajan ominaisuuksista. Rutontorjunta ei ole pelkästään sarja peräkkäisiä torjuntaruiskutuksia. Rutonuhkaan suunnitelmallisesti ennalta varautumalla sekä hygieniää ja viljelykäytäntöjä kehittämällä voidaan ruttotartunnan alkulähteitä vähentää merkittävästi, jolloin uuden, entistä ärhäkämmän ruton hallinta ei välttämättä edellytä lisääntyneitä torjunta-aineiden käyttöä.

Päättynyt tutkimushanke tuotti merkittävästi tietoa uuden ruton biologiasta ja epidemiologiasta. Erittäin paljon lisätietoa kuitenkin kaivattaisiin siitä, miten lämpötila, kosteus ja muut ympäristötekijät vaikuttavat nykyisen ruton eri elämänvaiheisiin. Tällainen tutkimus on hyvin kallista ja työlästä, ja hyviin tuloksiin päästään vain kansainvälisen tutkijaverkoston yhteistyön avulla.

2 Ennakkotorjunta ja viljelytekniikka

Ruttotartunnan alkulähteiden jäljittäminen ja poistaminen on tehokas keino vähentää kasvustoihin kohdistuvaa ruttopainetta. Lähtökohtana on terve siemenperuna. Valitettavasti ei tarkoin tiedetä, mikä on siemenperunassa piilevänä esiintyvän ruton merkitys tartuntalähteenä. Jäteperunan käsittelyyn tulisi kiinnittää nykyistä enemmän huomiota. Peittämättömissä jätekasoissa kehittyvät ruttoiset kasvit levittävät tehokkaasti tautia tuotantolohkoille. Hollannissa on lainsäädännöllä kielletty peittämättömät perunan jätekasat ja sanktiona lain rikkomisesta on tuntuva sakkorangaistus.

Edellisvuosien jääntiperuna on vaarallinen ruton tartuntalähde, josta Suomesakin on viime vuosina tullut yhä merkittävämpi vitsaus. Uhkana ei ole pelkästään perunalohkolla kasvava edellisvuoden peruna. Ruttoisia varsia voi kehittyä edellisvuoden perunalohkolla riippumatta siitä, mitä kasvia lohkolla seuraavana vuonna viljellään. Mitään erityisen hyviä keinoja jääntiperunan hävittämiseen ei ole. Maahan jääneiden mukuloiden paleltumista edistävät tekijät lieventävät haittaa, mutta käytännössä niihin ei ole helppo vaikuttaa tehokkaasti. Ruton esiintymistä jääntiperunassa ja lähiympäristön puutarha-

palstoilla on syytä tarkkailla. Torjuntaruiskutukset on aloitettava viimeistään silloin, kun oireita löytyy niistä. Jääntiperunaan kohdistetut ruttoruiskutukset voivat tietyissä tilanteissa olla perusteltuja.

Paras keino maasta tulevan tartunnan ehkäisemiseksi on munaitiöiden muodostumisen estäminen tehokkaalla lehtiruton torjunnalla. Lohkoilla, joilla rutto on päässyt valloilleen, munaitiöitä todennäköisesti on maassa uhkaamassa seuraavien vuosien perunakasvustoja. Tulevaisuudessa viljelijöiden saattaa olla pakko ottaa nykyistä pidemmät viljelykierrot käyttöön. Viljeltäessä perunaa lohkoilla, joilla maatartuntaa esiintyy, kasvustoja on tarkkailtava huolellisesti perunan taimettumisesta lähtien, etenkin alkukesän ollessa lämmin ja sateinen. Mikäli ruttopesäkkeitä lohkolta löytyy, lohko on heti suojattava rutontorjunta-aineella. Sen jälkeen ruttopesäkkeet on mahdollisuuksien mukaan tuhottava mekaanisesti tai kemiallisesti.

Käytettäessä leveää riviväliä, esim. 80-90 cm, kasvustoista tulee ilmavia ja ruton leviämislle otolliset kosteusjaksot lyhenevät. Huolellisesti muotoiltu perunapenkki vähentää mukularuton iskeytymisvaaraa. Penkki, joka ohjaa kastelu- ja sadevedet vaon pohjalle pois mukulapesästä, vähentää kasvustossa syntyvien ruttoitiöiden huuhtoutumista mukuloihin. Yleisesti uskotaan, että paksu multakerros mukuloiden suojana toimii mekaanisena esteenä ruttoitiöille, mutta uusimpien tutkimusten mukaan penkin koko ei vaikuta sanottavasti mukularuton iskeytymiseen.

Perunalajikkeiden rutonkestävyydessä on suuria eroja, mutta nykyisin yleisimmin viljeltyt lajikkeet ovat rutonkestävyydeltään huonoja tai keskinkertaisia. Lajikkeen valinnassa viljelijän mahdollisuudet kuitenkin ovat rajalliset, koska teollisuuden ja kuluttajien vaatimukset ratkaisevat viljeltävät lajikkeet.

3 Kemiallinen torjunta vaatii tarkkuutta

Kemiallinen rutontorjunta tulisi onnistua aloittamaan viimeistään ennen kuin ensimmäiset perunan lehdille lentäneet ruttoitiöt ovat itäneet ja tunkeutuneet lehden sisään. Sen jälkeen torjuntaruiskutus on uusittava aina, kun käytetyn valmisteen suoja-aika on loppunut ja sää on otollinen uusien ruttoitiöiden muodostumiselle tartunnan saaneissa kasveissa lohkolta tai sen lähiympäristössä.

Lehtiruton torjunnassa kaikilla markkinoilla olevilla valmisteilla päästään hyvään tulokseen, kun niitä käytetään kunkin valmisteen ominaisuuksien edellyttämällä tavalla. Torjunnan onnistumista ei ratkaise ainevalinta, vaan taito ajoittaa ruiskutukset ruttovaaran kannalta oikein. Valmisteiden ominaisuuksista, etenkin niiden kulkeutumisesta kasveissa ruiskutuksen jälkeen, kaivattaisiin lisää tietoa.

Torjunnan onnistuminen ja kuhunkin tilanteeseen sopivimman valmisteen valinta edellyttää sään ja kasvuston kehityksen valpasta seurantaa. Torjuntapäätöksen tukena voidaan käyttää kosteus- ja lämpötilatietojen perusteella laskettua ruton riskiennustetta. Ennuste on luotettava, jos se on laskettu viljelylohkon olosuhteita vastaavien säätietojen perusteella.

Nykyvalikoimassa on kosketusvaikutteisia ja lehden solukossa kulkeutuvia valmisteita. Kosketusvaikutteiset valmisteet jäävät ruiskutuksen jälkeen lehden pinnalle tai pinnan vahakerrokseen. Vesiliukoiset kosketusvaikutteiset tehoaineet huuhtoutuvat nopeasti lehdistä rankkojen sadekuurojen aikana.

Selukossa kulkeutuvat aineet leviävät ruiskutuksen jälkeen lehden alapinnalle ja lehden reunoja kohden suojaten ruiskutuksen jälkeen kasvaneita lehden osia. Lehden solukosta sade ei pysty niitä huuhtomaan pois. Lähitulevaisuudessa markkinoille saattaa tulla muualla Euroopassa viime vuosina rekisteröityjä valmisteita, jotka ovat tehokkaita, mutta eivät tuo mitään periaatteellista uutta torjunta-ainevalikoimaan.

Mukularuton hallitsemiseksi on ensiarvoisen tärkeää pitää kasvusto puhtaana rutosta nostoon asti. Jo mitättömän pieni lehtiruton määrä voi sateisena ja lämpimänä syksynä aiheuttaa suurta tuhoa mukuloille. Mukularuton vaaraa voidaan vähentää hävittämällä varret kemiallisesti. Sadon kuivatus noston jälkeen vähentää noston aikana mukulan pinnalle joutuneiden ruttoitiöiden tartutusmahdollisuuksia. Paras suoja mukularuttoa vastaan on yleensä saatu, jos viimeiset ruttoruiskutukset on tehty fluatsinamia sisältävillä valmisteilla.

4 Lisäselvitystä tarvittaisiin

Päätyneen tutkimushankkeen jälkeenkin monia uuden ruton hallintaan liittyviä kysymyksiä jää avoimiksi. Tutkimuksessa saatiin selville, että rutto leviää myös maasta ja voitiin seurata maasta alkaneen epidemian kulkua. Maasta tapahtuvaa tartuntaa sääteleviä kosteus-, lämpötila-, ja muita ympäristötekijöitä ei vielä tunneta niin hyvin, että tartunta-ajankohta voitaisiin luotettavasti ennakoita ja varoittaa viljelijöitä, kun riski on suurimmillaan. Munaitiöiden tarkkaa säilymisaikaa ei myöskään tiedetä. Täten ei voida antaa ohjeita, miten pitkä tauko perunanviljelyssä tarvitaan saastuneella lohkokolla, ennen kuin ruttovaara on ohi.

Ruton lisääntynyt muuntelukyky saattaa tuottaa jälkeläisiä, jotka ovat tartutuskykyisiä viileämmässä ja kuivemmassa, kuin mitä nykyisissä epidemiamalleissa oletetaan. Hollantilaiset tutkijat ovat löytäneet viitteitä tällaisista muutoksista, mutta asian varmistaminen vaatii suuritöisiä lisätutkimuksia, jotka voidaan toteuttaa vain kansainvälisenä yhteistyönä.

Mukularuton ilmaantumiseen liittyy myös monia toistaiseksi tuntemattomia tekijöitä. Mukularuton määrä ei näytä olevan suoranaisesti yhteydessä ruton määrään kasvustossa. Olisi tärkeä tuntea nykyistä tarkemmin ne riskitekijät, jotka johtavat ruton leviämiseen lehdistä mukuloihin, jotta mukulatartunta voitaisiin estää.

Tutkimuksessa osoitettiin, että rutto voi esiintyä mukuloissa oireettomana. Siemenperunassa oireettomana esiintyvän ruton merkitys epidemian alkulähteenä tulisi selvittää. Jos piilotartunnalla on merkitystä, tämä uhka tulisi huomioida myös siementuotannossa.

Uuden entistä muuntelukykyisemmän ruton käyttäytymisen jatkuva tarkkailu osana ruttotutkijoiden kansainvälistä yhteistyötä on välttämätöntä. Erityisesti on tarkkailtava lajikkeiden taudinkestävyyden ja torjunta-aineiden tehokkuuden pysyvyyttä, jotta taudin torjunta tulevaisuudessakin olisi tuloksellista.

Projektin aikana julkaistut artikkelit

- Bradshaw, N., Ampe, G., Bouwman, J., Dowley, L., Habermeyer, J., Hannukkala, A., Hinds, H., Kapsa, J., Koops, A., Little, G., Marquinez, R., Schepers, H., Taylor, P. & de Wever, G. 2000. Report of the Sub-Group Discussions on the practical characteristics of Potato Late Blight fungicides. Teoksessa: Schepers, H. (toim.). Proceedings of the Workshop on the European network for development of an integrated control strategy of potato late blight. PAV-Special Report no. 6 February 2000. Lelystad: Applied Research for Arable Farming and Field Production of Vegetables. s. 23-26.
- Hannukkala, A. 2000. Late blight situation in Finland. NJF-seminar, 3-6 October 2000. Potato late blight - past, present and future. Abstracts of presented papers at the Nordic-Baltic seminar, Bäckaskog, Sweden. Swedish University of Agricultural Sciences. s. 5.
- Hannukkala, A. 2000. Luomuperunan kasvinsuojelu. Luonnonmukaisen vihanneviljelyn tietokortit. Mikkeli: Helsingin Yliopiston Maaseudun tutkimus- ja koulutuskeskus. 7 s.
- Hannukkala, A. 2000. Monitoring insensitivity to metalaxyl and propamocarb. NJF-seminar, 3-6 October 2000. Potato late blight - past, present and future. Abstracts of presented papers at the Nordic-Baltic seminar, Bäckaskog, Sweden. Swedish University of Agricultural Sciences. s. 31.
- Hannukkala, A. 2000. Muuttunut perunarutto ja rutontorjunta Suomessa. Kartul aias, põllul ja toidulaua. Eesti - Soome ühisseminar 26.-27.8.2000. Saku – Võru: Eesti Maaviljeluse Instituut. 7 s.
- Hannukkala, A. 2000. Perunarutto. Perunantutkimuksen talvipäivät, Tampere, 27.-28.1.2000. Muistio. s. 7.
- Hannukkala, A. 2001. Development of sensitivity of *Phytophthora infestans* to metalaxyl and propamocarb hydrochloride in Finland in 1990-2000. Resistance 2001, Meeting the challenge, 24-26 September 2001, IACR-Rothamsted, Harpenden. British Crop Protection Council. 2:17.
- Hannukkala, A. 2001. Regional variation in mating type A1/A2 ratio, metalaxyl and propamocarb resistance in Finland. Teoksessa: Westerdijk, C. E. & Schepers, H.T.A.M. Proceedings of the Workshop on the European network for development of an integrated control strategy of potato late blight. PAV-Special Report no. 7 February 2001. Lelystad: Applied Research for Arable Farming and Field Production of Vegetables. s. 215-218.
- Hannukkala, A. & Lehtinen, A. 2001. Sääsaman antamat hyödyt perunantuotannossa. Kesäseminaari 2001. Perunantuotannon tuotantoteknologian kehitys. Suomen Perunaseuran julkaisu 2/2001, Helsinki. s. 1-11.

- Hannukkala, A., Lehtinen, A. & Rantanen, T. 2001. Variation in Phytophthora infestans population in Finland in 1990-2000. Teoksessa: European Association for Potato Research. Pathology Section Meeting, Poznan, July 10-15 2001. Abstracts of conference papers. Bonin, Poland: Plant Breeding and Acclimatization Institute. s. 71.
- Hannukkala, A. & Rantanen, T. 2000. Characteristics of Finnish Phytophthora infestans population. Teoksessa: Schepers, H. (toim.). Proceedings of the Workshop on the European network for development of an integrated control strategy of potato late blight. PAV-Special Report no. 6 February 2000. Lelystad: Applied Research for Arable Farming and Field Production of Vegetables. s. 262-265.
- Hermansen, A., Hannukkala, A., Hafskjold Naerstad, R. & Brurberg, M. 2000. Variation in populations of Phytophthora infestans in Finland and Norway: mating type, metalaxyl resistance and virulence phenotype. Plant pathology 49: 11-22.
- Kurppa, A. 2000. Siemenperunaprojektin antia. Perunantutkimuksen talvipäivät, Tampere, 27.-28.1.2000. Muistio. s. 5.
- Kurppa, A. 2001. Perunantutkimusyhteistyötä jatketaan ohjelmalla "Peruna on mahdollisuus". Tuottava peruna 28. 2:32-33.
- Kurppa, A. 2000. Siemenperunan laadunhallintaprojekti loppusuoralla. Tuottava peruna 27. 1:22-23.
- Lavonen, A. 2000. Ruiskutustekniikkatutkimus. Perunantutkimuksen talvipäivät, Tampere, 27.-28.1.2000. Muistio. s. 6.
- Lavonen, A. 2001. Ruiskutustekniikka ruton torjunnassa. Perunantutkimuksen talvipäivät, Vammala, 25.-26.1.2001. Muistio. s.10.
- Lavonen, A. 2001. Ruiskutustekniikka ruton torjunnassa. Tuottava peruna 28. 2:29-31.
- Lavonen, A., Suomi, P. & Haapala, H. 2001. Perunaruton torjunta onnistuu kaikilla tekniikoilla. Käytännön Maamies 50. 8:28-29.
- Lehtinen, A. 2001. Variation in Finnish population of Phytophthora infestans measured by virulence. The 18th Nordic postgraduate course in Plant Pathology. Programme, Abstracts and Participants. Ansgarshöjden, Sigtuna, Sweden, May 25-29, 2001. s. 27.
- Rantanen, T., Lehtinen, A. & Hannukkala, A. 2001. The use of quantitative PCR as a tool in epidemiological studies of P. infestans. Teoksessa: European Association for Potato Research. Pathology Section Meeting, Poznan, July 10-15 2001. Abstracts of conference papers. Bonin, Poland: Plant Breeding and Acclimatization Institute. s. 49.

Rantanen, T., Lehtinen, A. & Hannukkala, A. 2001. Piilevän ja näkyvän mukularuton merkitys. Tuottava peruna 28. 2:26-27.

Rantanen, T., Tuominen, S. & Hannukkala, A. 2001. Real-time quantitative PCR for research of *P. infestans* infection. Teoksessa: Westerdijk, C. E. & Schepers, H.T.A.M. Proceedings of the Workshop on the European network for development of an integrated control strategy of potato late blight. PAV-Special Report no. 7 February 2001. Lelystad: Applied Research for Arable Farming and Field Production of Vegetables. s. 285-286.

Salo, R. & Kurppa, A. (toim.) 2000. Kohti huippulaatuista siemenperunaa: Satoa projektista Siemenperunan laadunhallinnan erikoiskysymykset. Maatalouden tutkimuskeskuksen julkaisuja. Sarja A 71. Jokioinen: Maatalouden tutkimuskeskus. 54 s.

Suomi, P.F. 2001. Digitaalikuvausten ja vesiherkän paperin käyttö ruiskutustuloksen analysoinnissa. Pro gradu -tutkielma. Helsingin yliopisto. Maa- ja kotitalousteknologian laitos. 88 s.

Maa- ja elintarviketalous 3

Maa- ja elintarviketalous 3

