

Maa- ja metsätalousministeriö

Maatalousosasto/ Tutkimus- ja neuvontayksikkö

PL 30

00023 Valtioneuvosto

LOPPURAPORTTI

PERUNASEITIN ETIOLOGIA JA TEHOSTETTU TORJUNTA

Etiology and improved control of potato black scurf



Paavo Ahvenniemi, Paula Wilson, Mari Lehtonen ja Jari Valkonen
Helsingin yliopisto, Soveltavan biologian laitos, Kasvipatologian laboratorio
Helsinki, lokakuu 2006

ISBN 952-10-3515-3

LOPPURAPORTTI

PERUNASEITIN ETIOLOGIA JA TEHOSTETTU TORJUNTA

Etiology and improved control of potato black scurf

Vastuuorganisaatio	Helsingin yliopisto / Jari Valkonen Soveltavan biologian laitos Kasvopatologian laboratorio PL 27 00014 Helsingin yliopisto puh. 09-1911 fax. 09-19158727
Hankkeen Dnro	3326/501/2002
Kesto	2003 – 2005 (Loppuraportti 31.10. 2006)

<u>SISÄLLYS:</u>	Sivu
1. Tutkimuksen tavoitteet	2
2. Tutkimusosapuolet ja yhteistyö	3
3. Tutkimuksen tulokset	
3.1. Siemenperäisen seittitartunnan (seittiruven) ja maan viljelytaustan vaikutus perunan seittisyyteen	5
3.2. Siemenperäisen seitin taudinkulku	12
3.3. Antagonistien vaikutus versolaikkuun, perunan kasvuun, satoon sekä sadon seittirupisuuteen	
3.3.1. Vaikutukset kontrolloiduissa koeoloissa	18
3.3.2. Vaikutukset pelto-olosuhteissa	24
3.4. Perunasta eristettyjen <i>Rhizoctonia</i> -isolaattien geneettinen monimuotoisuus	31
3.5. Seitti-isolaattien taudinaiheuttamiskyvyn voimakkuus	35
3.6. Seitti-isolaattien torjunta-ainekestävyys ja kasvunopeus	38
4. Tulosten arviointi	
4.1. Tulosten merkitys	41
4.2. Keskeisimpien tulosten yhteenveto	41
5. Tiivistelmä	45
6. Hankkeen julkaisut	47
7. Liitteet	
LIITE 1 - Perunaseitin torjuntaohjeet	
LIITE 2 - Råd hur man bekämpar filtsjukan	

1. TUTKIMUKSEN TAVOITTEET

Perunaseitin aiheuttamat haitat tunnetaan huonosti Suomessa. Seitin aiheuttajaa (*Rhizoctonia solani*-sieni) ja sen rotuja ei ole tarkemmin tutkittu. Seittisieni leviää rihmastopahkoina (seittirupena) siemenperunan pinnalla ja säilyy rihmastopahkoina myös maassa. Se vioittaa perunakasvia ja vähentää satoa. Seitin aiheuttamat laatuviat ovat erityisen tärkeitä kuluttajanäkökulmasta. Niihin lukeutuvat mukuloiden halkeilu, maltoviat, epämuotoisuus, kokojakauman muutokset ja alentunut tärkkelyspitoisuus (keittolaatu). Suomessa tyypilliset viileät kasvuolot suosivat seittiä. Se on yleistynyt viime vuosina ja sitä pidetään nyt yhtenä pahimmista tautiongelmistä kaikilla perunantuotannon sektoreilla. Tämän tutkimuksen tavoitteena oli luoda vankka asiantuntemusperusta perunaseitistä, sen taudinkulusta sekä aiheuttajasta ja saadun tiedon pohjalta tehostaa seitintorjuntaa. Neuvontaa ja viljelyohjeita nähtiin tarpeelliseksi tarkentaa erityisesti seittiruven torjunnan osalta, jotta suomalaisen siemen-, ruoka- ja tärkkelysperunan laatua saataisiin kohotettua.

Yleiset tavoitteet:

- i) Tämän tutkimuksen tavoitteena oli luoda vankka asiantuntemusperusta perunaseitistä, sen etiologiasta sekä torjuntakeinoista Suomessa. Päättävänä oli perunaseitin tehostettu torjunta.
- ii) Tavoitteena oli saattaa uutta tietoa viljelijöiden, neuvojen ja hallinnon käyttöön tutkimuksen edetessä sekä saada heiltä jatkuvasti palautetta tutkimuksen ohjaamiseksi. Siksi tutkimukseen osallistui koko kotimainen perunantuotantosektori viljelijöistä ja alalla toimivista yrityksistä neuvojiin ja tutkijoihin organisaatioineen.
- iii) Tutkimuksen tavoitteena oli yhdistää syvä, tieteellinen asiantuntemus kasvi/ mikrobi -vuorovaikutuksista vankkaan asiantuntemukseen perunan viljelystä ja käytöstä, sekä kytkeä koejärjestelyissä laboratorio- ja kenttätutkimus vuorovaikutteisesti. Lisäksi tutkimuksessa käytettiin useita uusia tutkimusmenetelmiä, tai sovellettiin moderneja menetelmiä uudella tavalla.

Koejärjestelyjen välittömät tavoitteet:

- i) Seitin esiintymisen ja merkityksen kartoitus perunan päätuotantoalueiden viljelmillä.
- ii) Seitin esiintymisen vertaaminen tavanomaisessa ja luomuviljelyssä.
- iii) Lajikkeen merkityksen ja siemenen seittirupisuuden vaikutuksen selvittäminen perunaseitin esiintymisessä.
- iv) Seitin perunan keittolaatuun kohdistuvan vaikutuksen selvittäminen.
- v) Seittikantojen eristäminen koko perunantuotantoalueelta. Rotujen sukulaisuussuhteiden selvittäminen anastomoositutkimuksella sekä molekyyligeneettisin menetelmin.
- vi) Seittikantojen patogeenisuuden ja virulenssin selvittäminen
- vii) Seittitartunnan mallintaminen: seitin kasvu maassa sekä kasvin eri osien tartunta-ajankohta
- viii) Perunan ja seittisien geenien ilmentymisen tutkiminen perunan puolustus- ja alttiusvasteiden sekä seittisien tartuntamekanismien selvittämiseksi.
- ix) Tuloksien soveltaminen kemiallisen, biologisen ja viljelyteknisen seitintorjunnan tehostamiseen.

2. TUTKIMUSOSAPUOLET JA YHTEISTYÖ

Hankkeen toteuttajina oli useita tahoja. Helsingin yliopiston (HY) Soveltavan biologian laitoksen (SBL) Kasvipatologian laboratorio vastasi tutkimuksen johdosta, koordinoinnista sekä pääasiallisesta toteutuksesta. Maa- ja elintarviketutkimuskeskuksen (MTT) Kasvinsuojelun osaamisalue muodosti yhteyden MTT:n suunnittelemaan luomuperunan siemenhankkeeseen. MTT:n Pohjois-Pohjanmaan tutkimusasema (PPO) teki HY-SBL:n ohella kokeita, joissa tutkittiin varsistonhävityksen vaikutusta sadon seittirupisuuteen. Maaseutukeskusten perunaneuvojat tekivät kasvustohavaintoja ja keräsivät suurimman osan versolaikkunäytteistä. Pääosa seittirupinäytteistä saatiin Potwell Oy:n pakkaamolta. Kesko Oy:n Hahkialan koetila vastasi kenttäkokeiden sadon keittolaadun määrittämisestä.

Koko kotimainen peruna-ala osallistui hankkeen rahoitukseen sekä antoi asiantuntemuksensa hankkeen käyttöön. Yksityinen sektori jatkoi rahoitusta vielä v. 2006, Maa- ja metsätalousministeriön (MMM) rahoituksen päätyttyäkin.

Hankkeen rahoittamiseen osallistuivat MMM:n lisäksi:

Berner Oy
Chips Ab
Finnamyl Oy
Helsingin yliopisto
HG Vilper Oy
Jepuan Peruna Oy
Järviseudun Peruna Oy
Kesko Oy:n koetila, Hahkiala
Kemira GrowHow
Kotimaiset Kasvikset Ry
Krafts Food Ab
MTT Pohjois-Pohjanmaan tutkimusasema
Oulun Maaseutukeskus
Pohjoisen Kantaperuna Oy
Potwell Oy
ProAgria Maaseutukeskukset
Ravintoraisio Oy Ruokaperunateollisuus
Ruokakesko Oy
Saarioinen Oy
Solanum Oy
Suomen Siemenperunakeskus Oy

Hankkeen ohjausryhmän kokouksiin kutsuttiin kaikkien rahoittajien edustajat sekä peruna-alan asiantuntijoita muistakin organisaatioista keskustelemaan tuloksista sekä viitoittamaan jatkotutkimuksia. Hanke piti kuusi kokousta v. 2003-2005 sekä kaksi seitintorjuntaohjeiden työstämiseen liittyvää kokousta hankkeen virallisen päättymisen jälkeen v. 2006. Kokouksiin osallistui kaikkiaan 49 henkilöä, joista jokaisessa kokouksessa oli paikalla vähintään 20. Kaikki ohjausryhmän kokoukset olivat päätösvaltaisia, osoittaen ohjausryhmän jäsenten sitouneisuutta tehtävänsä. Kokouksiin osallistuneet on lueteltu seuraavassa taulukossa.

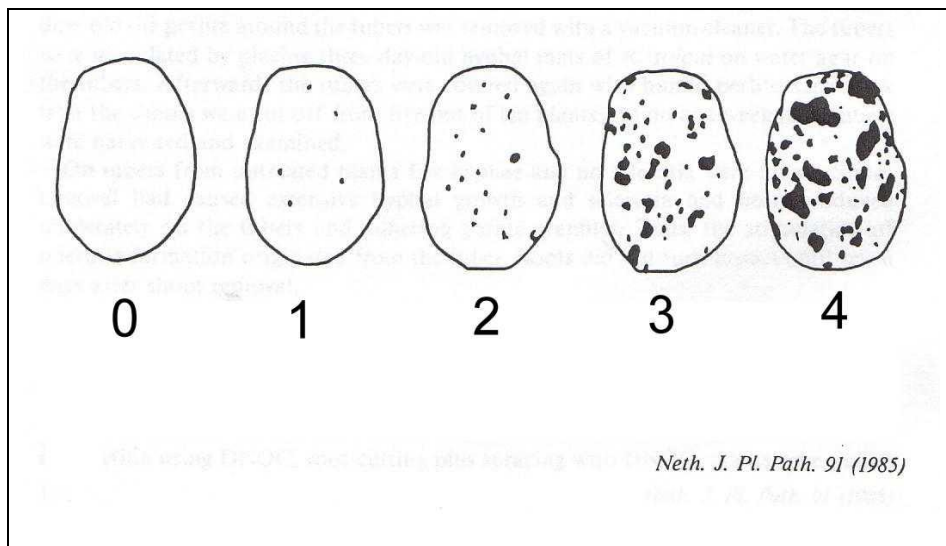
Hankkeen ohjausryhmän jäsenet (*) sekä hankkeen kokouksiin osallistuneet peruna-alan asiantuntijat ja rahoittajien edustajat.

Sukunimi	Organisaatio/Yritys
Ahvenniemi, Paavo	Soveltavan biologian laitos, HY
Andersson, Leif*	Chips Ab
Erkkola, Kalle	Berner Oy, Kasvinsuojeluosasto
Fabritius, Anna-Liisa	Soveltavan biologian laitos, HY
German-Kinnari, Malgorzata	Soveltavan biologian laitos, HY
Hannukkala, Asko	MTT, Kasvinsuojelu
Hauhia, Teemu*	Etelä-Pohjanmaan Maaseutukeskus
Haverinen, Heini	Kesko Oy, tuotetutkimus
Hiltunen, Lea	Soveltavan biologian laitos, HY
Hiltunen, Tuula*	Kemira Agro Oy
Hoxell, Ronny	Kraft Foods Ab
Ilola, Paula*	Raision Yhtymä Oyj Ruokaperunateollisuus
Jaakkola, Kirsi	Liperin Juurespakkaamo
Joutsjoki, Tiina	MTT, Kasvintuotannon tutkimus
Järvenpää, Markku*	Maa- ja metsätalousministeriö
Kari, Maarit*	K-ryhmän koetila, Hahkiala
Kauppi, Timo*	HG Vilper Oy
Ketola, Eliisa	Soveltavan biologian laitos, HY
Kortemaa, Hanna	KTTK (Evira), Siementarkastusosasto
Kuisma, Paavo	Perunantutkimuslaitos
Kurppa, Aarne*	MTT, Kasvintuotannon tutkimus
Lavonen, Antti	PerunaSuomi
Lehtonen, Mari	Soveltavan biologian laitos, HY
Latvala-Kilby, Satu	MTT, Kasvintuotannon tutkimus
Laurila, Jaana	MTT, Kasvintuotannon tutkimus
Mäkelä, Ritva*	Järvisseudun Peruna Oy
Mäki-Valkama, Tuula	Maa- ja metsätalousministeriö
Niemi, Janne	Etelä-Pohjanmaan maaseutukeskus
Nordbäck, Göran	Perunatukku Solanum Oy
Nuolioja, Vesa*	Oulun Maaseutukeskus
Palohuhta, Jukka-Pekka	Suomen siemenperunakeskus Oy
Peltonen, Sari*	Maaseutukeskusten liitto ry
Pirhonen, Minna	Soveltavan biologian laitos, HY
Pisilä, Eero* (pj.)	Pohjoisen Kantaperuna Oy
Pulkkänen, Merja	MTT Pohjois-Pohjanmaan tutkimusasema
Pulkinen, Janne	Kemira GrowHow
Rahkonen, Anne*	Perunantutkimuslaitos
Roine, Elina	Soveltavan biologian laitos, HY
Rännäli, Minna	Soveltavan biologian laitos, HY
Seppänen, Asko	Pohjoisen Kantaperuna Oy
Sillanpää, Arto	Lapuan Peruna Oy
Skullbacka, Stefan*	Kraft Foods Ab
Tikanmäki, Elisa	Saarioinen Oy
Timonen, Sari	Soveltavan biologian laitos, HY
Valkonen, Jari	Soveltavan biologian laitos, HY
Vetoniemi, Teppo*	Potwell Oy
Willman, Johan	Jepuan Peruna Oy
Wilson, Paula	Soveltavan biologian laitos, HY
Virtanen, Elina*	MTT, Pohjois-Pohjanmaan tutkimusasema

3. TUTKIMUKSEN TULOKSET

3.1. Siemenperäisen seittitartunnan (seittiruven) ja maan viljelytaustan vaikutus perunan seittisyyteen

Uudenkaarlepyyn Jepualla järjestettiin vuosina 2003-2005 kenttäkoe, jossa verrattiin siemenen seittirupisuuden määrän vaikutusta perunan versolaikkuisuuteen ja sadon seittirupisuuteen luomuviljelyssä (perunaa joka viides vuosi 80-luvun alusta) ja luomulohkojen vieressä sijainneilla tavanomaisesti pitkässä monokulttuurissa viljellyillä lohkoilla (perunaa yhtäjaksoisesti 70-luvulta). Lohkoparin paikka vaihtui vuosittain luomutilan viljelykierron mukaan. Koe suoritettiin vuosina 2003-2004 lajikkeilla Van Gogh ja Saturna, mutta vuonna 2005 Van Goghin tilalla käytettiin Matiltaa. Seittirupisista siemeneristä valittiin siementä viiteen seittirupisuusluokkaan, seittiruvettomasta voimakkaasti seittirupiseen (Kuva 1).



Kuva 1. Asteikko perunan seittirupisuuden arvioimiseksi.

Lisäksi verranteena käytettiin Suomen Siemenperunakeskuksen tervettä siementä, joka pintasteriloitiin natriumhypokloriitilla. Kenttäkokeet suoritettiin joka vuosi kahtena osaruutukokeena, toinen luomupellolla ja toinen monokulttuuripellolla, lajike pääruuduissa ja siemen (seittirupisuustasot) osaruuduissa (Taulukko 1). Kerranteita oli neljä. Viljelijät, joiden pelloilla tutkimus suoritettiin, hoitivat kokeiden haraukset ja rikkaruohojen ja ruton torjunnan viljelymenetelmälle tyypillisellä tavalla.

Taulukko 1. Jepuan kenttäkokeiden taustatiedot.

	2003		2004		2005	
	Tavanomainen	Luomu	Tavanomainen	Luomu	Tavanomainen	Luomu
Istutus	19.5.	19.5.	1.6.	1.6.	13.5.	13.5.
Lannoitus	740 kg/ha Perunan Y-1	Viherlann. (nurmi)	740 kg/ha Perunan Y-1	Viherlann. (nurmi)	740 kg/ha Perunan Y-1	Viherlann. (nurmi)
Ruttoruiskutukset	4	0	6	0	4	0
Versolaikkulaskenta	25.6.	25.6.	4.8.	4.8.	9.8.	9.8.
Varsien hävitys	7.9. pakkanen	5.8. mek.	~1.9. rutto	~10.8. rutto	30.8. Reglone	10.8. mek.
Nosto	26.9.	26.9.	30.9.	30.9.	20.9.	2.9.
Viljelykierto						
-1	peruna	heinä	peruna	heinä	peruna	heinä
-2	peruna	heinä	peruna	heinä	peruna	heinä
-3	peruna	porkkana	peruna	heinä	peruna	porkkana
-4	peruna	porkkana	peruna	ohra	peruna	ohra
-5	peruna	peruna	peruna	peruna	peruna	peruna

Yksi tutkimuksen tärkeimmistä tavoitteista oli verrata siemen- (6 seittirupisuustasoa) ja maatartunnan (luomu/monokulttuuri) vaikutusta seittisyyteen. Osoittautui, että siementartunnalla oli selvästi maatartuntaa suurempi vaikutus seitinoireiden määrään. Niinpä terve kontrolli tuotti runsaan ja kaikilla käytetyillä kriteereillä mitattuna terveen sadon, riippumatta siitä, oliko viljelytaustana hyvässä viiden vuoden viljelykierrossa ollut luomupelto vai oletettavasti seitin tartuttama vanha perunamaa (Taulukko 2). Toisaalta taudin oireet lisääntyivät niin luomussa kuin monokulttuurissakin selvästi siemenen seittirupisuuden lisääntyessä.

Vanhassa perunamaassa oli edellisiltä vuosilta jäljellä jonkin verran seittisientä, mikä näkyi hieman luomua korkeampina versolaikkulukemina, varsinkin silloin kun siemen oli tervettä tai vain lievästi seittirupista. Tämä maatartunta ei siis kuitenkaan pystynyt vaikuttamaan havaittavissa määrin sadon määrään tai laatuun.

Seittirupisesta erästä valittu seittiruveton siemen ei aiheuttanut seittiongelmiä, vaan tuotti yhtä runsaan ja samanlaatuisen sadon kuin terve kontrolli. Kasvustossa ei ollut myöskään tervettä kontrollia enempää versolaikkua eikä sadossa seittirupea. Toisaalta lieväkin siemenen seittirupisuus, muutama seittipahka mukulassa, riitti laskemaan varsi- ja mukulalukua ja heikentämään sadon määrää ja laatua. Tämä havainto, seittiruvettoman siemenen ongelmattomuus, riippumatta mahdollisesta piilotartunnasta, ja toisaalta pienenkin seittirupisuuden selvä seittisyyttä lisäävä vaikutus, on yksi tutkimuksen tärkeimmistä tuloksista.

Taulukko 2. Siemenen seittirupisuuden ja pellon viljelytaustan, tavanomaisen (tav.om) ja luomuviljelyn, vaikutus perunan kasvuun, kasvuston ja sadon seittisyyteen ja sadon ulkoiseen laatuun.

	Versolaikku			Seittirupi			Varsiluku			Mukulaluku		
	Tav.om.	Luomu	Ka.	Tav.om.	Luomu	Ka.	Tav.om.	Luomu	Ka.	Tav.om.	Luomu	Ka.
Terve	2.3	0.2	1.2	0.5	0.3	0.4	4.9	4.8	4.8	16.8	10.4	13.3
0	5.0	1.0	3.0	0.4	0.4	0.4	4.7	4.9	4.8	17.1	10.9	13.7
1	13.5	6.1	9.8	0.6	1.1	0.9	4.5	4.2	4.4	14.1	9.3	11.5
2	13.7	13.9	13.8	0.5	1.4	1.0	4.4	4.2	4.3	13.6	8.3	10.7
3	20.3	16.4	18.4	0.4	1.9	1.2	4.3	3.8	4.0	13.4	8.1	10.5
4	17.8	16.6	17.2	0.5	1.8	1.2	4.0	3.6	3.8	12.8	7.2	9.8
F-testi	***	***	***	ns	***	***	ns	***	***	***	***	***
Pienin												
merkitsevä ero	4.3	3.6	2.7	-	0.2	0.1	-	0.6	0.4	0.7	1.1	0.7
Siemen*menet	-	-	*	-	-	***	-	-	ns	-	-	ns
Ka	12.1	9.0	***	0.5	1.1	***	4.4	4.2	ns	14.6	9.0	***

	Sato			Tärkkelys			Vihertyneet			Epämuotoiset		
	Tav.om.	Luomu	Ka.	Tav.om.	Luomu	Ka.	Tav.om.	Luomu	Ka.	Tav.om.	Luomu	Ka.
Terve	46.0	21.2	32.4	16.1	13.2	14.5	6.7 ^{a)}	3.5	5.0	6.3 ^{a)}	10.1	8.4
0	48.2	21.1	33.4	16.3	13.3	14.6	5.2	3.8	4.4	7.5	10.9	9.3
1	40.3	18.0	28.2	15.7	13.3	14.4	6.7	5.5	6.1	12.1	13.9	13.1
2	40.0	15.5	26.6	15.4	12.7	14.0	8.6	4.8	6.5	15.5	20.6	18.3
3	38.8	14.4	25.5	15.5	12.4	13.8	9.8	6.1	7.8	14.0	24.4	19.7
4	35.1	13.7	23.4	15.2	12.4	13.7	9.0	4.8	6.7	17.6	20.8	19.3
F-testi	***	***	***	**	***	***	*	ns	***	***	***	***
Pienin												
merkitsevä ero	4.6	2.1	2.1	0.5	0.5	0.3	2.8	-	1.6	2.5	3.2	2.1
Siemen*menet	-	-	ns	-	-	ns	-	-	ns	-	-	**
Ka	41.4	17.3	***	15.7	12.9	***	7.8	4.7	***	13.3	16.8	***

a) Arcsin muunnos

Peruna reagoi seittiin voimakkaasti kaikilla ennestään hyvin tunnetuilla tavoilla. Voimakkaasti seittirupista siementä käytettäessä laskivat varsiluku (22 %), mukulaluku (29 %), sadon määrä (30 %) ja tärkkelyspitoisuus (0.9 %-yksikköä), kun sen sijaan lisääntymistä havaittiin vihertyneiden (3.4 %) ja epämuotoisten (11.3 %) mukuloiden osuudessa. Tutkimuksen laajuuden ansiosta nämä lukemat kuvannevat luotettavasti seitin keskimääräistä vaikutusta kasvuoloissamme.

Tutkimuksessa havaittiin myös uusia oireita, joita ei ole aiemmin osattu kytkeä seittisieneen. Seittisiene aiheutti mukulan itupäähän säännöllisiä kuoppia (lisäys 20.7 %) ja lisäsi mukuloiden juovaisuutta 10.7 % (Taulukko 3). Lisäksi seittisyys vähensi tavallisen perunaruvan määrää sadossa selvästi: perunaruvan peittävä ala pieneni 9.6 %. Nämä havainnot tehtiin vain vuonna 2005. Lisäksi Van Goghilla onttojen ja keskeltä ruskeiden mukuloiden määrää kasvoi selvästi (10.8 %) (Kuva 3).

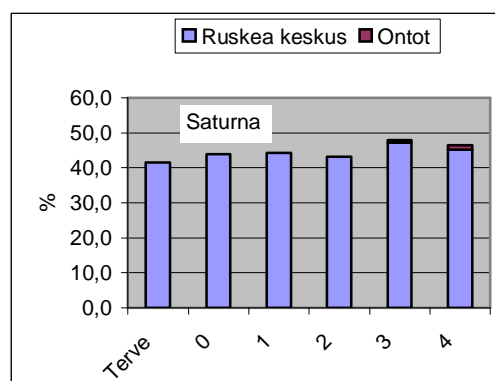
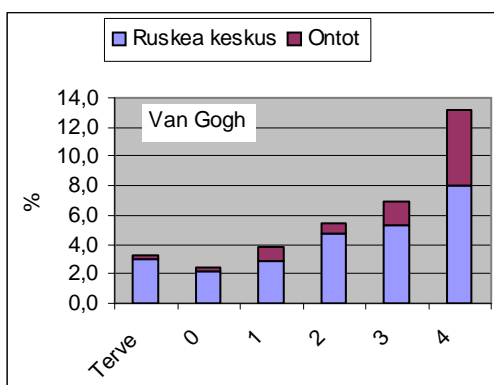
Taulukko 3. Uusia seittisiemen oireita (havainnot kasvukaudelta 2005).

	Kuopat			Juovat			Perunarupi		
	Tavo m	Luomu	Ka	Tavom	Luomu	Ka	Tavom	Luom u	Ka
Terve	3.3 ^{a)}	0.0	2.2	16.6 ^{a)}	23.9	20.2	0.4	59.3	29.9
0	6.8	2.7	5.4	15.2	23.6	19.5	0.4	57.6	29.0
1	21.3	15.3	19.3	22.4	24.6	23.5	0.5	51.4	25.9
2	21.0	19.8	20.6	24.1	29.0	26.5	0.6	40.7	20.7
3	22.5	23.7	22.9	24.9	35.6	30.2	0.5	42.4	21.4
4	20.4	13.2	18.0	26.4	27.9	27.1	0.5	44.7	22.6
F-testi	***	***	***	**	ns	**	ns	***	***
Pienin merkittävä ero Siemen*menet	5.1	10.1	4.5	5.3	-	6.1	-	9.7	2.9
	-	-	ns	-	-	ns	-	-	***
Ka	18.4	12.4	ns	22.6	27.4	*	0.5	49.3	***

^{a)} Arcsin muunnos



Kuva 2. Ennestään tuntemattomia seitin oireita: kuopat mukulan itupäässä (vasemmalla) ja juovaiset mukulat (oikealla).



Kuva 3. Onttojen ja keskeltä ruskeiden mukuloiden osuus Van Goghilla ja Saturnalla kasvukausina 2003 ja 2004 suhteessa siemenen seittirupisuuteen (luokat 0-4, ks. Kuva 1).

Tutkimuksemme oli tiettävästi ensimmäinen, jossa selvitettiin seittisyyden vaikutuksia sadon keittolaatuun. Seitti (siemenen seittirupisuuden kasvu) lisäsi selvästi keitetyn perunan mallon vetisyyttä sekä hieman perunan tarttuvuutta ja makeutta (Taulukko 4). Nämä muutokset selittyvät tärkkelyspitoisuuden vähentymisellä. Lisäksi mallon värin tasaisuus vaihteli eri seittirupisuustasojen välillä vaikeasti selitettävällä tavalla. Seittisyys ei sen sijaan vaikuttanut merkittävästi keittoaikaan, makuun, keittotummumiseen eikä mallon hajoavuuteen tai pehmeuteen tai keitetyn perunan värin kypsytyteen ja yleiseen ulkonäköön. Seittisyydellä ei ollut myöskään vaikutusta sadon glykoalkaloidipitoisuuteen (Kuva 4).

Taulukko 4. Siemenen seittirupisuuden ja pellon viljelytaustan vaikutus perunan keittolaatuun.

	Keittoaika			Rikkikiehuminen			Pehmeys			Värin kypsyys			Värin tasaisuus		
	Tavom	Luomu	Ka	Tavom	Luomu	Ka	Tavom	Luomu	Ka	Tavom	Luomu	Ka	Tavom	Luomu	Ka
Terve	31.9	28.8	30.3	8.3	8.8	8.5	4.8	5.9	5.3	5.8	6.4	6.1	4.3	6.7	5.5
0	30.3	28.9	29.6	8.4	8.8	8.6	4.9	5.6	5.3	5.9	6.2	6.0	5.2	6.5	5.8
1	32.0	27.6	29.8	8.5	8.8	8.7	4.7	6.2	5.5	6.0	6.7	6.3	6.0	7.2	6.6
2	31.3	28.4	29.9	8.6	8.9	8.8	4.5	5.7	5.1	6.0	6.3	6.2	5.3	6.5	5.9
3	30.5	28.5	29.5	8.5	9.0	8.7	4.8	5.7	5.2	5.8	6.5	6.1	5.2	6.5	5.8
4	31.8	28.4	30.1	8.5	8.9	8.7	5.1	6.0	5.5	5.9	6.2	6.1	5.6	6.4	6.0
F-testi	ns	ns	ns	ns	**	ns	ns	*	ns	ns	*	ns	**	ns	**
Pienin merkitsevä ero	-	-	-	-	-	-	-	0.4	-	-	0.3	-	-	-	-
Siemen*menet	-	-	ns	-	-	ns	-	-	ns	-	-	ns	-	-	ns
Ka	31.3	28.4	***	8.5	8.9	***	4.8	5.8	***	5.9	6.4	***	5.3	6.6	***

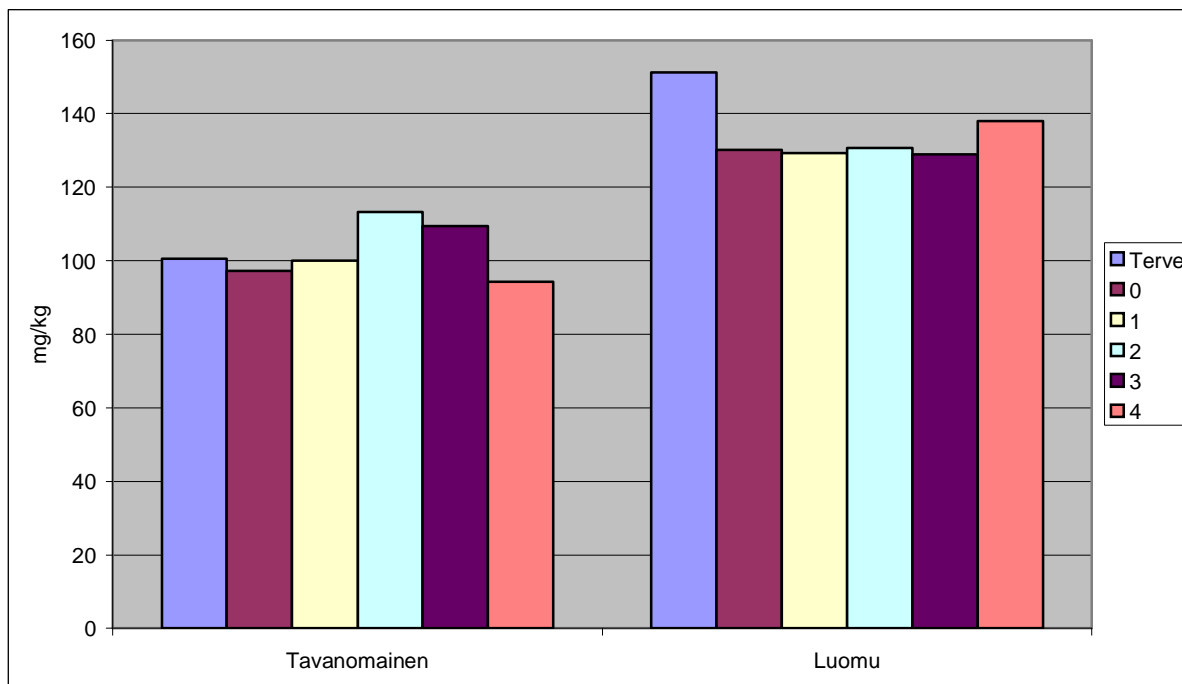
	Makeus			Maku			Tarttuvuus			Kuivuus			Keittotummuminen		
	Tavom	Luomu	Ka	Tavom	Luomu	Ka	Tavom	Luomu	Ka	Tavom	Luomu	Ka	Tavom	Luomu	Ka
Terve	3.1	4.1	3.6	5.4	5.7	5.5	4.8	6.4	5.6	6.5	5.4	5.9	6.5	6.1	6.3
0	2.7	3.9	3.3	5.4	5.8	5.6	5.2	6.4	5.9	6.4	5.2	5.8	6.0	6.3	6.2
1	2.9	3.7	3.3	5.6	5.9	5.7	4.9	7.3	6.1	6.3	5.0	5.6	6.3	6.2	6.2
2	3.3	4.1	3.7	6.3	5.9	6.1	5.5	6.9	6.2	6.0	4.8	5.4	6.3	6.4	6.4
3	3.3	4.4	3.9	5.6	5.2	5.4	5.8	7.1	6.4	6.2	4.8	5.5	6.3	5.9	6.1
4	3.2	4.5	3.8	6.0	5.2	5.6	4.9	6.8	5.8	5.8	4.7	5.3	6.2	6.0	6.1
F-testi	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	***	***	ns	ns	ns
Pienin merkitsevä ero	-	-	0.4	-	-	-	-	-	0.5	-	0.2	0.2	-	-	-
Siemen*menet	-	-	ns	-	-	ns	-	-	ns	-	-	ns	-	-	ns
Ka	3.1	4.1	***	5.7	5.6	ns	5.2	6.8	***	6.2	5.0	***	6.3	6.2	ns

Tutkimuksessa havaittiin, että vanhaan perunamaahan saattaa muodostua jokin seitin kehitystä jarruttava tekijä. Tämä nk. estovaikutus näkyi kahdella tavalla: ensinnäkin vanhassa perunamaassa satoon muodostui selvästi luomua vähemmän seittirupea, eikä määrä riippunut, toisin kuin luomussa, lainkaan siemenen seittirupisuudesta (Taulukko 2). Toiseksi, koekentistä otetuilla maanäytteillä tehtiin laboratoriotestejä, joissa havaittiin, että lähelle terveistä minimukuloista kasvavia taimia laitettu seittitartuke (seitillä inokuloitu savikansiemen) aiheutti monokulttuurimaassa selvästi vähemmän versolaikkuja ja salli idun paremman kasvun kuin luomumaa (Taulukko 5). Viljelymenetelmät erosivat tässä suhteessa toisistaan kuitenkin vain vuosina 2003 ja 2005, mutta eivät vuonna 2004. Kasvatuslämpötilalla ei ollut vaikutusta versolaikun määrään, mutta itu jäi 10°C:ssa hieman lyhyemmäksi kuin 20°C:ssa.

Taulukko 5. Perunamaan estovaikutus siettisieneen tavanomaisen ja luomuviljelyn välillä. Estovaikutus ilmeni minimukuloista kasvavien itujen versolaikkuisuuden vähentymisenä ja vähäisenä vaikutuksena itujen pituuskasvuun (kasvihuone, 10°C ja 20°).

	Versolaikkuisuus (%)				Idun pituus (cm)			
	Tavom	Luomu	Ka	<i>F</i> (menet)	Tavom	Luomu	Ka	<i>F</i> (menet)
2003 10°C	64.1	75.0	68.8	ns	2.4	1.0	1.8	*
2003 20°C	37.9	58.8	46.8	ns	5.0	2.6	4.0	ns
Ka	51.0	66.9	-	**	4.0	1.8	-	***
<i>F</i> (lämpö)	*	ns	**	-	*	**	**	-
2004 10°C	53.2	51.7	52.5	ns	2.5	3.3	2.9	ns
2004 20°C	63.8	65.8	64.8	ns	3.3	3.5	3.4	ns
Ka	58.5	58.7	-	ns	2.9	3.4	-	ns
<i>F</i> (lämpö)	*	ns	*	-	ns	ns	ns	-
2005 10°C	29.8	59.6	44.7	ns	4.5	1.5	3.0	ns
2005 20°C	18.7	53.7	36.2	ns	6.5	1.9	4.2	ns
Ka	24.2	56.6	-	*	5.5	1.7	-	*
<i>F</i> (lämpö)	*	ns	ns	-	ns	ns	ns	-
10°C	49.0	60.9	54.7	ns	3.1	2.0	2.6	0.2
20°C	40.1	59.5	49.4	**	4.9	2.7	3.8	**
Ka	44.6	60.2	-	**	4.0	2.3	-	**
<i>F</i> (lämpö)	ns	ns	ns	-	ns	ns	*	-
				<i>F</i>				<i>F</i>
vuosi*menet				*				*
vuosi*lämpö				*				ns
menet*lämpö				ns				ns
-2003				ns				ns
-2004				ns				ns
-2005				ns				ns

Luomuviljelyn ja monokulttuurin vaikutusten vertaamista vaikeutti se, että luomussa varsisto tuhoutui perunaruton seurauksena (tai varsisto jouduttiin poistamaan mukularuton riskin vuoksi) kaikkina kolmena koevuonna viimeistään elokuun 10., kun perunan kasvu monokulttuurissa jatkui kuukauden pitempään (Taulukko 1). Luomun sato jäi siksi keskimäärin vain 42 %:iin monokulttuurin sadosta (Taulukko 2). Lyhyestä kasvuajasta johtuen myös luomusadon tärkkelyspitoisuus ja mukulaluku (osa pienistä mukuloista jäi nostossa peltoon) jäivät mataliksi, ja luomun ja monokulttuurin keittolaatu erosi selvästi kaikissa muissa suhteissa paitsi keitetyn perunan maussa ja jälkitummumisessa (Taulukko 4). Luomuperuna käyttäytyi keitettäessä kuin varhaisperuna. Sadon tuleentumattomuudella selittynee myös se, että luomusadon glykoalkaloidipitoisuus oli selvästi monokulttuuriviljelmän satoa korkeampi (Kuva 4).



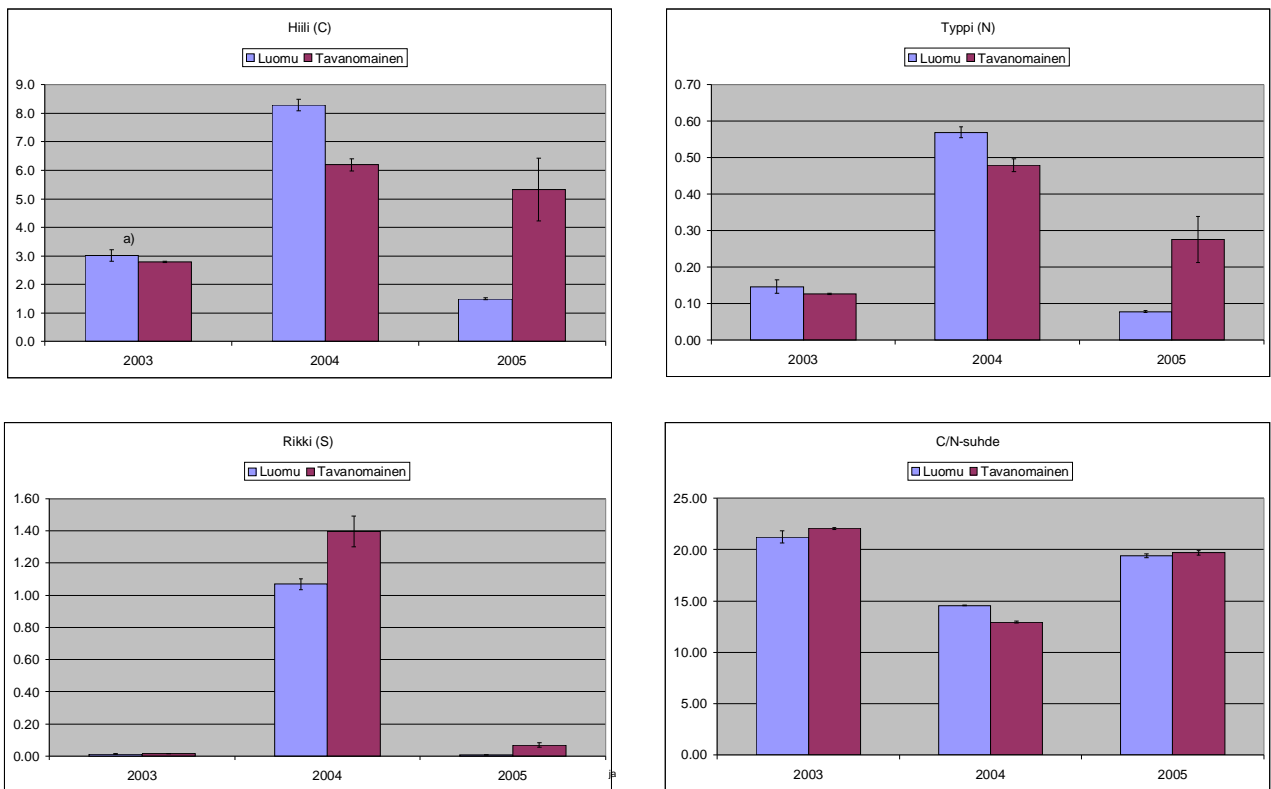
Kuva 4. Siemenen seittirupisuuden ja viljelytaustan vaikutus sadon glykoalkaloidi-pitoisuuteen. Lajike Van Gogh (Jepua, 2004).

Pitkään jatkunut erilainen viljelytapa näkyi selvästi maiden ravinnetilassa (Taulukko 6). Luomupellossa oli korkea pH, matala johtoluku ja hyvä kalsium- ja mangesiumtaso, ilmeisesti säännöllisten kalkitusten seurauksena. Korkeasta pH:sta johtuen (keskimäärin 6.3) luomusato oli tavallisen perunaruvun vaivaamaa, varsinkin vuonna 2005, kun taas monokulttuurisato oli matalan pH:n vuoksi (5.1) täysin ruvetonta. Monokulttuurin lannoittaminen myös hivenravinteita sisältävillä yhdistelmä-lannoitteilla näkyi hyvinä kalium-, kupari-, mangaani- ja sinkkilukemina, mutta toisaalta keinolannoite oli nostanut maan johtoluvun ja rikkipitoisuuden korkeaksi.

Taulukko 6. Tutkimuslohkojen viljavuus (Jepua 2003-2005).

	2003		2004		2005		2003-2005		F-testi	
	Luomu	Tavom	Luomu	Tavom	Luomu	Tavom	Luomu	Tavom	Menet	Vuosi*menet
Maalaji	KHt	KHt	ljHHt	ljHHt	Kht	HkMr				
Multavuus	rm	rm	rm	rm	m	m-rm				
Johtoluku	4.8	6.1	2.3	5.3	1.3	4.0	2.8	5.1	***	ns
Happamuus	6.1	5.0	5.9	5.1	6.9	5.3	6.3	5.1	***	***
Ca	978	569	1793	1330	913	1070	1228	990	***	***
P	22	40	12	12	39	39	24	30	*	*
K	128	139	99	224	92	182	106	181	***	*
Mg	232	84	312	285	152	126	232	165	***	***
S	72	185	51	295	10	129	44	203	***	**
Cu	4.3	6.7	5.6	7.9	4.6	8.6	4.8	7.8	***	*
Mn	7.5	51.5	11.0	26.5	8.4	50.0	8.9	42.7	***	***
Zn	3.3	3.9	3.2	5.3	3.3	16.0	3.3	8.4	***	***
Ca-varasto	2443	1618	3078	2615	-	-	2760	2116	***	*
K-varasto	614	550	972	1823	-	-	793	1186	***	***
Mg-varasto	1685	1015	2725	3608	-	-	2205	2311	ns	***
P-varasto	763	707	756	792	-	-	759	749	ns	ns

Luomu- ja monokulttuurimaan orgaanisen aineksen hiilen ja typen määrä ei poikennut toisistaan yhtenäkkään tutkimusvuonna, huolimatta siitä, että luomun viljelytaustassa oli toistuvaa orgaanisen aineksen lisäämisestä maahan (karjanlanta, viherlannoitus). Rikkiä oli sen sijaan kertynyt monokulttuurimaan orgaaniseen ainekseen enemmän kuin luomussa (Kuva 5). Koevuosien (=koepaikkojen) välinen vaihtelu ylitti selvästi viljelymenetelmien välisen eron kaikkien kolmen alkuaineen suhteen.



Kuva 5. Maan orgaanisen aineksen keskimääräinen hiili-, typpi- ja rikkipitoisuus sekä C/N-suhde luomumaassa (sininen) ja tavanomaisessa viljelyssä olleessa maassa (punainen) (Jepua 2003-2005). Jana pylväiden päässä osoittaa keskivirhettä.

3.2. Siemenperäisen seitin taudinkulku

Helsingin Viikissä vuosina 2003-2005 suoritetussa tutkimuksessa seurattiin siemenperunasta (seittiruvesta) peräisin olevan seittitartunnan etenemistä perunassa ja siemenen idättämisen vaikutusta taudinkulkuun. Viikin koekenttä soveltui tutkimukseen hyvin, sillä seittisientä ei ollut lainkaan maassa, joten ainoana seitin lähteenä toimi siemenperuna.

Koelajike oli vuosina 2003 ja 2004 Van Gogh, vuonna 2005 Saturna. Seittinen siemen valittiin seittirupisesta erästä. Terve verranne oli vuosina 2003 ja 2004 Suomen Siemenperunakeskuksen seittiruvetonta siementä, mutta vuonna 2005 seittirupisesta siemenestä valikoitua seittiruvetonta, joka upotuspeitattiin Moncutilla. Vuonna 2004 mukana oli myös kaksi keinoartukekoejäsentä, terveen siemenen päälle tai siitä kymmenen sentin etäisyydelle istutuksen yhteydessä sijoitettua, hiekan ja seitillä tartutetun guinoan siemenen seosta. Idätykset olivat valoidätetty siemen ja iduton siemen (2003: pimeäidätetty siemen, josta

idut poistettiin juuri ennen istutusta, 2004-2005: kylmässä istutukseen asti pidetty siemen). Vuonna 2003 koejäsenenä oli lisäksi pimeässä idätetty siemen ja vuonna 2005 kosteassa ja pimeässä idätetty siemen.

Vuosina 2003 ja 2005 tutkimuksessa verrattiin myös eri varsistonhävitteiden (Reglone, Spotlight Plus) vaikutusta seittiruven muodostukseen. Varsiston hävitys suoritettiin 90 vrk istutuksesta ja koenostot 10, (15), 20 ja 30 vuorokauden kuluttua varsiston hävityksestä. Eri käsittelyt annettiin kukin omiin kylvöriveihinsä. Koenostot tehtiin rivien päistä alkaen.

Viikin kenttäkokeiden koenostot tehtiin 10, 20, 30, 40, 60, 90, (100), (105), (110), 120 vuorokautta istutuksesta. Suluissa olevat ajat koskevat vain edellä mainittua varsistonhävityskoetta. Yksi nosto käsitti neljä kasvia, ja kerranteita oli kolme. Jokaisella nostokerralla kasveista tutkittiin versolaikun määrä varsissa, varsiluku, varsien pituus, varsien tuorepaino, juurien paino, maavarsien paino, terveiden maavarsien lukumäärä, voittuneiden maavarsien lukumäärä, maavarsien pituus (2005), mukuloiden lukumäärä, mukuloiden paino, mukuloiden ulkoinen laatu (useita tekijöitä) ja mukuloiden seittirupisuus.

Seittirupinen siemen hidasti perunan pintaantuloa 2-3 päivää terveeseen verrattuna. Hidastuminen johtui seitin aiheuttamista ituvaurioista, varsinkin idun kärkien kuolemista, mikä saattoi toistua useaan kertaan jo ennen perunan pintaantuloa (Kuva 6).



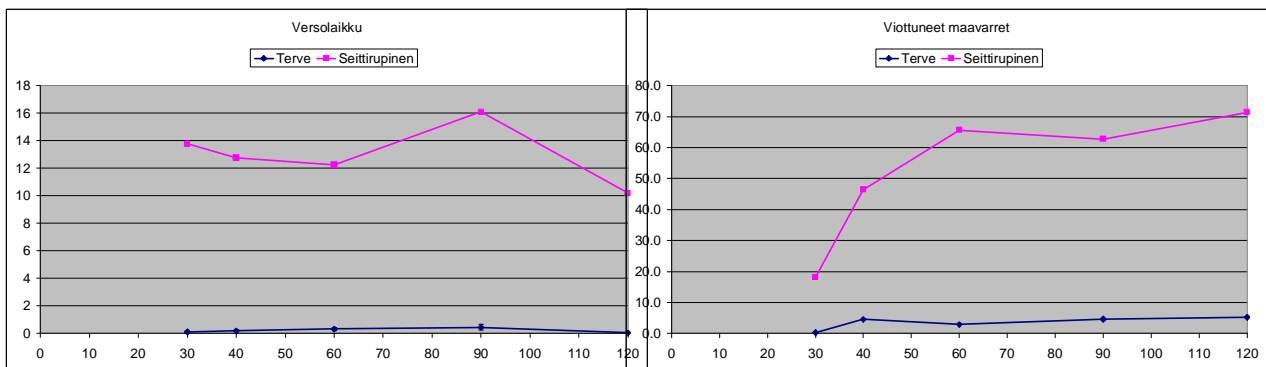
Kuva 6. Perunaseitin vioittamia ituja.

Seittisyyden kasvua hidastava vaikutus näkyi myös varsien kehityksessä: niin varsien paino kuin pituuskin oli perunan pintaantulon aikaan selvästi jäljessä terveestä. Ero kuitenkin hävisi noin kahden kuukauden kuluttua istutuksesta (Taulukko 7). Seittisen kasvin varsiluku sen sijaan jäi pysyvästi tervettä pienemmäksi, vaikka ero pienenikin hieman kasvukauden edetessä. Seittisyys hidasti myös juuriston kehitystä, mutta toisin kuin varsien koon suhteen, seittisen kasvin juuristo jäi pysyvästi tervettä kasvia pienemmäksi. Tosin eron tilastollinen merkitsevyys oli niukka 60 ja 90 vrk istutuksesta. Koska juurissa ei havaittu koko tutkimuksen kolmen vuoden aikana kuin joitakin satunnaisia seitin aiheuttamia juurilaikkuja, seitin vaikutus oli mitä ilmeisimmin välillistä, seittisen kasvin heikosta kehityksestä johtuvaa. Juuristo ei myöskään pystynyt, toisin kuin varret, myöhemmin kasvukauden kuluessa kompensoimaan heikkoa alkukehitystä lisäkasvulla.

Seittisen kasvin kehityksen jälkeenjääneisyys ja ylipäätään heikompi kehitys summautui perunasadon määrään: seittisen kasvin mukulanmuodostus alkoi tervettä myöhemmin ja satoero oli aluksi prosentuaalisesti iso (vielä 60 vrk istutuksesta 28 %), kuitenkin pienentyen kohti kasvukauden loppua (120 vrk istutuksesta ero oli enää 14 %). Loppukesällä, 90-120 vrk istutuksesta, seittisen kasvin sadonmuodostus oli painoyksikköinä laskettuna yhtä nopeaa kuin terveeseen.

Myös mukulaluvun ja tärkkelyspitoisuuden kehitys heijasteli seittisen kasvin kehityksen jälkeenjääneisyyttä. Mukulanmuodostuksen alussa (40 vrk istutuksesta) seittisen kasvin mukulaluku oli vain kolmasosa terveeseen kasvin mukulaluvusta. Ero kuitenkin vakiintui lopulliselle, noin 75 % tasolle jo 60 vrk:n kohdalla. Terveen ja seittisen prosentuaalinen ero mukulaluvussa oli lopulta suunnilleen saman suuruinen kuin ero varsiluvussa. Seittisen kasvin tärkkelyspitoisuus oli kasvukauden lopulla (100-120 vrk) yhden prosenttiyksikön tervettä alempi.

Ituvaurioiden seurauksena seittisten kasvien varsien tyveen jäi versolaikkua (Kuva 6), jonka määrä vakiintui heti perunan pintaantulon jälkeen lopulliselle tasolle (Kuva 7). Se osoittaa, että varret kehittyivät nopeasti kestäviksi siemenperäiselle seitille. Terveestä siemenestä kasvaneisiin kasveihin ei ituvaurioita enempää kuin versolaikkuakaan tullut käytännöllisesti katsoen lainkaan, joten seittiruvettoman siemenen ja maan tartutuspotentiaali oli olematon.



Kuva 7. Terveestä ja seittirupisestä siemenestä kasvaneiden kasvien versolaikun (peittävyys varrentyvessä, %) ja viottuneiden maavarsien määrän (viottuneiden %-osuus) vaihtelu kasvukauden aikana (Viikin koe, 2003-2005).

Seittisen kasvin maavarsien viottuminen (Kuva 8, ylävasen) alkoi heti, kun maavarsia alkoi muodostua, jo 30 vrk istutuksesta (Kuva 7). Seittisen kasvin maavarsien lukumäärä jäi noin 20 % tervettä pienemmäksi. Maavarsien viottuminen jatkui pidempään kuin ituvaurioiden ja versolaikun muodostuminen, mutta vakiintui kasvukauden keskivaiheessa (60 vrk) 60-70 %:n tasolle. Koska seitti vioitti ennen kaikkea maavarsien kärkiä rajoittaen siten niiden pituuskasvua, seittisen kasvin maavarsien paino jäi puoleen terveestä. Terveiden seittisten kasvien ero säilyi koko kesän ajan (Taulukko 7). Terveessä kasvissa laikkuja maavarsissa oli hyvin niukasti. Maavarsien viottumisen seurauksena mukulat muodostuivat normaalia lyhyempiin maavarsiin ja mukulapesästä muodostui sen seurauksena normaalia tiiviimpi (Kuva 8, alarivi). Mukulapesän tiiviistä kasvutavasta johtuen mukulat kasvoivat toisiaan vasten epämuotoisiksi. Ylimmät mukulat paljastuivat valoon ja vihertyvät. Niinpä seittisestä sadosta löytyi kasvukauden lopulla sekä epämuotoisia että vihertyneitä mukuloita selvästi enemmän kuin terveestä (Taulukko 7).



Kuva 8. Vioittuneita maavarsia (vasemmalla ylhäällä) ja vioittuneita pieniä mukuloita (oikealla ylhäällä), sekä seittisen (alhaalla vasemmalla) ja terveen kasvin (alhaalla oikealla) mukulapesä.

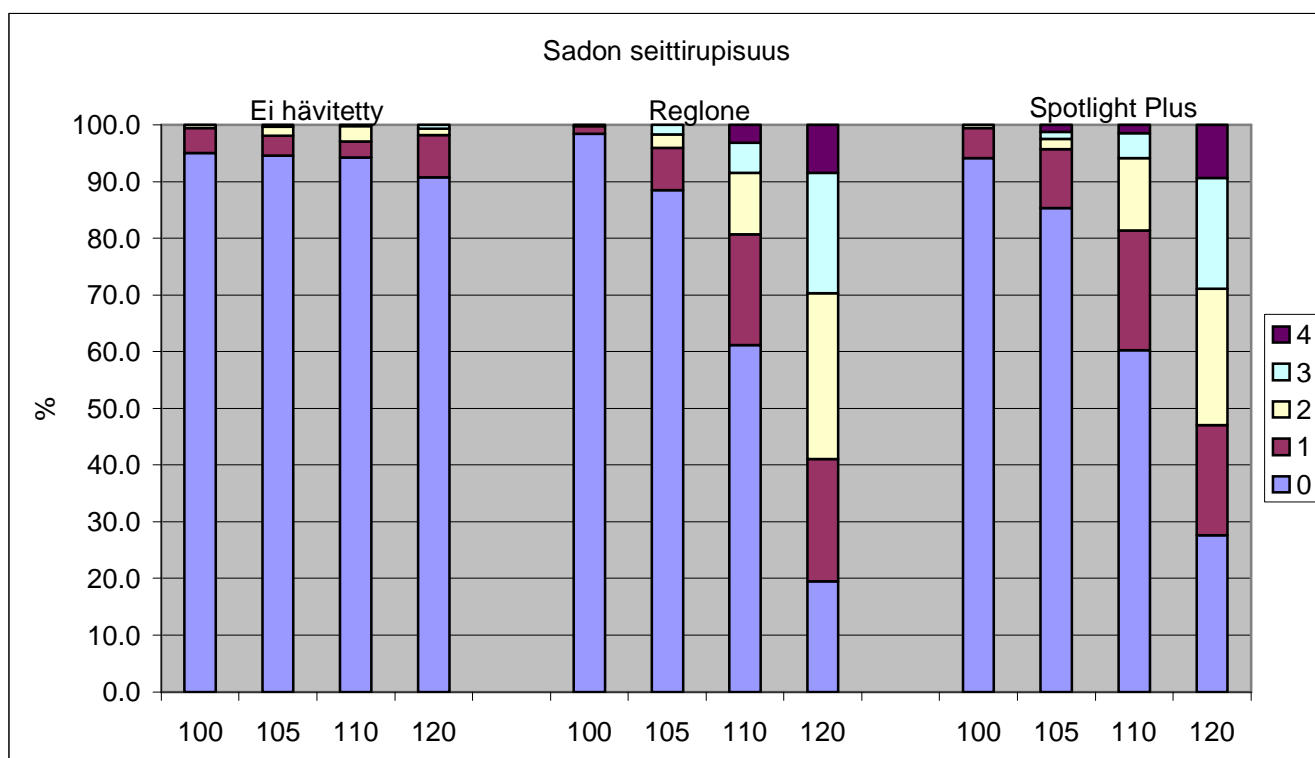
Myös mukulat olivat alkukehitysvaiheessa seitille arkoja (Kuva 8, yläoikea). Vioitus keskittyi selvästikin mukulan itupäähän, jossa sijaitsee mukulan uusin ja siksi seitille arin solukko. Mukulavioituksen määrästä ja sen seurauksista, rupimaisesta kuorirososta ja varsinkin mukulan päähän keskittyvistä kuopista, ei kuitenkaan tehty tämän tutkimuksen yhteydessä laskentaa, ei myöskään tiivistä kasvutavasta seuraavasta pinnan juovaisuudesta (vrt. Kuva 2).

Seittiruven muodostumista satoon seurattiin 90 vrk istutuksesta Reglonella ja Spotlight Plussalla tehtyjen varsistonhävitysten jälkeen (Kuva 9). Varsistonhävityshetkellä seittirupea ei esiintynyt lainkaan, mutta jo 10 vrk varsistonhävityksen jälkeen seittisiin kasveihin alkoi muodostua seittirupea (Taulukko 7). Terveellä siemenellä tuotettuun satoon ei muodostunut seittirupea myöhemminkään, mutta seittisten kasvien mukuloissa määrä lisääntyi 120 vrk:n nostoon asti. Kun varsistonhävitystä ei suoritettu lainkaan, seittirupisellakin siemenellä tuotettu sato välttyi lähes täysin seittiruvelta (Kuva 9). Kemialliset varsistonhävitteaineet vaikuttivat seittirupisuuteen samalla tavalla. Molempien käytön seurauksena seittiruven määrä alkoi kasvaa noin 10-15 vrk varsistonhävityksestä ja lisääntyi tasaisesti viimeiseen nostoon (120 vrk) asti. Siemenen idättäminen lisäsi hieman sadon seittirupisuutta idättämättömään verrattuna (Taulukko 7), luultavasti nopeuttamalla hieman seittiruven muodostuksen laukaisevaa tuleentumista.

Taulukko 7. Käsittelyjen vaikutus perunan kehitykseen, sadon määrään ja laatuun sekä taudin esiintymiseen perunassa kasvukauden eri vaiheissa, ilmaistuna käsittelyjen eron tilastollisena merkitsevyytenä *F*-testissä (Viikin kokeet, 2003-2005).

Käsittely ja mitattu vaikutus	Nosto istutuksesta (vrk)									
	10	20	30	40	60	90	100	110	120	Ka
Siemenen vaikutus:										
Varsipaino	ns	***	***	***	(*)	ns	-	-	ns	**
Varsipituus	ns	*	**	***	ns	ns	-	-	ns	ns
Varsiluku	-	***	***	**	(*)	(*)	-	-	***	***
Juuren paino	**	**	***	***	(*)	ns	-	-	***	***
Sadon määrä	-	-	-	***	***	***	-	-	**	***
Mukulaluku	-	-	-	***	**	***	-	-	***	***
Tärkkelys	-	-	-	-	-	-	*	***	*	***
Vioittuneet maavarret	-	-	***	***	***	***	-	-	***	***
Maavarsien paino	-	*	***	***	***	***	-	-	***	***
Maavarsien lukumäärä	-	***	**	***	**	***	-	-	***	***
Epämuotoiset	-	-	-	-	-	-	**	**	***	***
Vihertyneet	-	-	-	-	-	-	***	*	*	***
Seittirupi	-	-	-	-	-	-	*	***	***	***
Idätyksen vaikutus:										
Varsipaino	***	***	***	***	***	ns	-	-	ns	***
Varsipituus	***	***	***	***	(*)	ns	-	-	ns	***
Varsiluku	-	***	*	ns	(*)	**	-	-	ns	***
Juuren paino	***	***	**	***	(*)	ns	-	-	(*)	***
Sadon määrä	-	-	-	***	***	***	-	-	***	***
Mukulaluku	-	-	-	***	***	(*)	-	-	ns	***
Tärkkelys	-	-	-	-	-	-	**	**	(*)	***
Vioittuneet maavarret	-	-	**	ns	ns	ns	-	-	ns	*
Maavarsien paino	-	***	***	***	(*)	ns	-	-	ns	**
Maavarsien lukumäärä	-	***	***	***	ns	**	-	-	ns	***
Epämuotoiset	-	-	-	-	-	-	ns	ns	ns	ns
Vihertyneet	-	-	-	-	-	-	*	ns	ns	ns
Seittirupi	-	-	-	-	-	-	(*)	*	(*)	ns
Siemen*idätys yhdysvaikutus:										
Varsipaino	ns	***	(*)	*	ns	ns	-	-	ns	ns
Varsipituus	ns	ns	ns	ns	*	ns	-	-	ns	ns
Varsiluku	***	ns	ns	ns	ns	ns	-	-	ns	ns
Juuren paino	**	*	ns	ns	ns	ns	-	-	ns	ns
Sadon määrä	-	-	-	***	ns	ns	-	-	ns	ns
Mukulaluku	-	-	-	**	ns	ns	-	-	(*)	ns
Tärkkelys	-	-	-	-	-	-	ns	ns	ns	(*)
Vioittuneet maavarret	-	-	-	**	ns	ns	-	-	ns	*
Maavarsien paino	-	*	***	*	ns	ns	-	-	ns	ns
Maavarsien lukumäärä	-	***	ns	ns	ns	ns	-	-	*	ns
Epämuotoiset	-	-	-	-	-	-	ns	ns	ns	ns
Vihertyneet	-	-	-	-	-	-	**	ns	ns	ns
Seittirupi	-	-	-	-	-	-	(*)	*	(*)	ns
Varsistonhävityksen vaikutus:										
Seittirupi	-	-	-	-	-	-	ns	**	***	***
Tärkkelys	-	-	-	-	-	-	*	**	ns	**
Siemen*varsiston hävitys – yhdysvaikutus:										
Seittirupi	-	-	-	-	-	-	ns	**	***	***
Idätys*varsiston hävitys – yhdysvaikutus:										
Seittirupi	-	-	-	-	-	-	ns	ns	ns	ns
Tärkkelys	-	-	-	-	-	-	ns	ns	ns	ns

p-arvot: *** <0.001; ** <0.01-0.001; * <0.05-0.01; (*) <0.1-0.05; ns, ei merkitsevä ero -, ei analysoitu



Kuva 9. Seittirupisella siemenellä tuotetun sadon seittirupisuus varsistonhävityksen (90 vrk) jälkeen. Eri värit kuvaavat eri seittirupisuusluokkiin (0-4) kuuluvien mukuloiden osuutta (vrt. Kuva 1). Lukemat ovat vuosien 2003 ja 2005 keskiarvoja (105 vrk:n arvo vain vuodelta 2005) Viikin kokeesta.

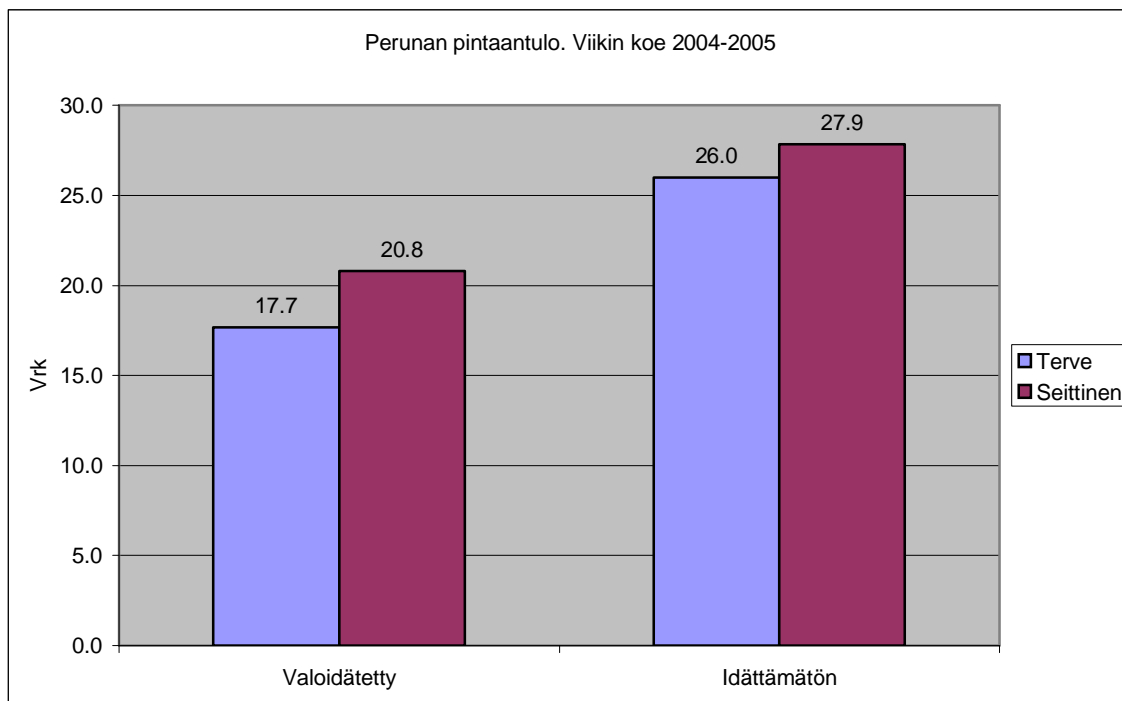
Idättämättömän siemenen käytöllä oli perunan kehitykseen hyvin samantapainen vaikutus kuin seittisyydellä: idättämättömän pintaantulo myöhästyi idätettyyn verrattuna selvästi (7-8 päivää) ja varsien paino ja pituus oli aluksi selvästi pienempi, mutta ero tasoittui kasvukauden lopulla (Taulukko 7). Myös idättämättömän varsiluku ja juurien paino jäivät selvästi idätettyä heikommaksi. Ero idätetyn hyväksi säilyi kasvukauden loppuun asti, vaikka eron tilastollinen merkitsevyys vaihteli hieman eri nostokerroilla. Idättämättömän mukulalukukin jäi aluksi selvästi idätetystä jälkeen, mutta syksyllä ero pieneni lähinnä idätetyn mukulaluvun lievän pienenemisen myötä.

Hitaampi kehitys, pienempi varsiluku ja heikompi juuristo heikensivät idättämättömän sadonmuodostusta idätettyyn verrattuna vielä selvemmin kuin seittisyys terveeseen verrattuna: idättämättömän sato oli 60 vrk istutuksesta vain 51 % idätetyn sadosta, ja kasvukauden lopussakin (120 vrk) 21 % pienempi. Idätys nosti kasvukauden lopun tärkkelyspitoisuutta keskimäärin 0.8 %-yksikköä idättämättömään verrattuna.

Idättäminen vaikutti selvästi maavarsien kehitykseen: idätetyn maavarsien muodostus alkoi aikaisemmin, jo 20 vrk istutuksesta, ja maavarsien lukumäärä ja paino oli aluksi selvästi idättämättömän isompi. Ero maavarsien lukumäärässä vakiintui 60 vrk:n tienoilla noin 10 %:ksi, kun taas idättämättömän kiri idätetyn kokonaan kiinni maavarsien painossa 90 vrk:n kohdalla. Idätys lisäsi jonkin verran voittuneiden maavarsien osuutta. Vaikka selvää eroa ei ollut kuin 30 vrk:n nostossa, idätetyn lukema on jokaisella yksittäisellä nostokerralla idättämättömän suurempi, ja yli kesän laskettujen keskiarvojen ero oli merkitsevä.

Yksi tutkimuksen keskeisistä tavoitteista oli selvittää, voiko siemenen idättämisellä vähentää seitin määrää ja epäedullista vaikutusta perunan kehitykseen. Idätyksen vaikutuksen tulisi silloin näkyä siten, että terveen ja seittisen siemenen välinen ero olisi idätetyllä siemenellä pienempi kuin idättämättömällä.

Pintaantulonopeuteen idätyksellä ei ollut odotettua, seitin vaikutusta vähentävää vaikutusta (Kuva 10). Idättäminen nopeutti terveen siemenen pintaantuloa vuorokaudella (8 vrk) seittiseen siemenen (7 vrk) verrattuna. Muidenkin mitattujen vaikutusten suhteen kävi niin, että idättäminen hyödytti enemmän tervettä kuin seittistä kasvia, mutta vaikutusero hävisi melko nopeasti (Taulukko 7, siemen*idätys –yhdysvaikutukset).



Kuva 10. Perunan pintaantulo (Viikin koe, 2004-2005).

3.3. Antagonistien vaikutus versolaikkuun, perunan kasvuun ja satoon sekä sadon seittirupisuuteen

3.3.1. Vaikutukset kontrolloiduissa koeoloissa

Tutkimuksessa arvioitiin antagonismin perustuvan (esim. kilpailu elintilasta tai parasitismi l. loisinta) biologisen torjunnan kykyä ehkäistä maassa sijaitsevan *R. solanin* tartukkeen aiheuttamaa perunaseittiä. Siemenperunassa oleva seittitartuke voidaan torjua tehokkaasti kemiallisella peittauksella, mutta maassa olevaan tartukkeeseen ei ole olemassa torjuntaa. Tutkimuksessa käytettiin apuna nk. patovyöhykekäsittelyä. Yksinkertaistettuna patovyöhyke on kasvin maanalaisia osia ympäröivä tilavuus, jossa sijaitessaan taudinaiheuttajan on mahdollista tartuttaa isäntäkasvi. Mitä lähempänä isäntäkasvia tartuke sijaitsee patovyöhykkeessä, sitä todennäköisempää on tartunta. Tartunnan todennäköisyys pienenee erittäin jyrkästi, kun tartukkeen etäisyys isäntäkasvista kasvaa. Tämä johtuu siitä, että mitä kauempana tartuke on, sitä enemmän taudinaiheuttaja joutuu uhraamaan energiavarojaan kasvuun kohti isäntäkasvia ja

sitä niukemmin sillä jää voimavaroja tartutukseen. Toinen tartunnan todennäköisyyttä vähentävä tekijä on isäntäkasvin taudinkestävyyden paraneminen sillä välin, kun taudinaiheuttaja on vasta kasvamassa kohti isäntäänsä. Toisaalta ajan kuluessa tartutukseen määrä lisääntyy taudinaiheuttajan biomassan kasvaessa, mikä lisää tartunnan todennäköisyyttä. Patovyöhykkeessä isäntäkasvin tartunnan todennäköisyys vaihtelee siis sekä tartutukseen etäisyyden että ajan suhteen. Patovyöhykkeen koon määrittäminen perustuu kokeellisiin mittauksiin, joissa tartuke asetetaan eri etäisyyksille isäntäkasvista, ja taudin kehittyminen mitataan useana ajankohtana. Patovyöhykettä voidaan kuvata matemaattisella mallilla, jolloin tartunnan todennäköisyys tai oireiden ankaruus ilmaistaan numeerisesti. Torjuntamenetelmät voivat vaikuttaa patovyöhykkeen kokoon. Patovyöhykettä kuvaava matemaattinen malli helpottaa torjuntamenetelmän tehon kvantitatiivista arvioimista.

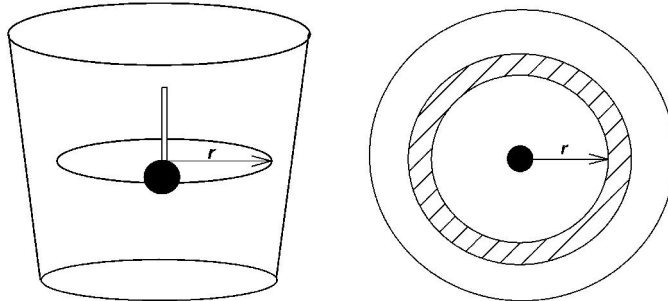
Tartukkeena käytettiin *Rhizoctonia solanin* anastomoosiryhmään 3 kuuluvaa isolaattia (isolaatti 11), joka oli eristetty Posmo-perunalajikkeessa ilmenneestä versolaikusta. Tartukkeena kokeessa oli savikan (*Chenopodium quinoa* L.) siemenien ja hiekan vedellä kostutettu ja autoklavoimalla steriloitu seos, jota *R. solani* oli kolonisoanut kolmen viikon ajan. Koetta perustettaessa *R. solanin* tartuke laimennettiin kostutetulla hiekalla painosuhteessa 1:1. Antagonistina käytettiin *T. harzianumin* kaupallista valmistetta Trianum-G (Koppert, Hollanti), jossa aktiivisena antagonistina on *T. harzianumin* isolaatti T-22. *T. harzianum* on luonnostaan maassa esiintyvä sienilaji. Trianum-G -tuotteessa *T. harzianumia* on 1.15 paino-%. Antagonistitartutuksen valmistuksessa kosteaan hiekkaan lisättiin amarantin (*Amaranthus cruentus* L.) siemeniä ja seos autoklavoitiin. Trianum G –valmistetta lisättiin hiekka-siemen-seokseen. Näin saatua antagonistiseosta inkuboitiin huoneenlämmössä ja pimeässä 2 vrk. Se sisälsi n. 1.4×10^7 itiötä per g seosta.

Koe toteutettiin kasvihuoneessa n. $17^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ lämpötilassa. Isäntäkasvina kokeessa oli Bintje-lajikkeen minimukuloita (5-10 g, Suomen Siemenperunakeskus), joita idätettiin pimeässä huoneenlämmössä n. 2 viikkoa. Idut olivat kokeen perustamisajankohtana n. 3 mm pituisia. Kasvualustana kokeessa oli hiekka, jonka raekoko oli 0,5–1,2 mm (Optiroc Oy, Helsinki). Käyttämällä kokeen kasvualustana hiekkaa pienennettiin kasvualustassa olevien, kokeen ulkopuolisten orgaanisten tekijöiden määrää. Hiekka oli kostutettu oli 2 % Kekkilän vihannes superex-lannoiteliuksella (N-P-K 9-5-31). Lannoiteliuosta lisättiin 1 l / 10 kg hiekkaa.

Versolaikkua tutkivassa koeosassa perunoita kasvatettiin muoviruukuissa, joiden suun halkaisija on 20 cm ja tilavuus 3,5 l. Mukulat istutettiin 4 cm paksuun hiekkakerrokseen ja purkki täytettiin hiekalla n. 15 cm pohjasta. Kokeessa oli antagonistin suhteen kaksi käsittelyä, joista toisessa hiekkaan oli kokeen perustamisvaiheessa sekoitettu *T. harzianum* ja toisessa kasvualustana oli puhdas, lannoiteliuksella kostutettu hiekka. *T. harzianumia* sisältävää antagonistiseosta lisättiin 4 g /1 kg hiekkaa. *R. solanin* tartuke asetettiin horisontaalisesti seitsemälle eri etäisyydelle perunan idusta. Etäisyydet olivat 0, 10, 20, 30, 40, 50 ja 60 mm. Kyseisen etäisyyden päähän perunan idusta tehtiin n. yhden senttimetrin paksuinen ja yhden senttimetrin korkuinen rengas laimennetulla tartukkeella (Kuva 11). Muu purkki täytettiin kostealla hiekalla, johon antagonistikäsitellyssä koeosassa oli lisätty antagonistiseosta.

Koe toteutettiin kahdessa osassa koska tila kasvihuoneessa oli rajallinen. Kokeen toinen osa pystytettiin välittömästi ensimmäisen perään. Kerranteita oli yhdessä osassa viisi ja tarkkailukertoja oli seitsemän (7, 14, 21, 28, 35, 42 ja 49 vrk kokeen perustamisesta). Yhteensä kerranteita oli kokeessa 10 kpl. Jokaisella tarkkailukerralla arvioitiin perunan ituihin tai versoon tulleiden versolaikkuoireiden ankaruutta määrittämällä versolaikun varren tyviosasta (maan pinnan alapuolella oleva lehtivihreätön osa) peittämän alueen prosenttiosuus:

0 %, 1-5 %, 6-25 %, 26-50 %, 51-75 % ja 76-100 %. Jokaiselle kasville laskettiin keskimääräinen ankaruus kertomalla jokaisen prosenttiluokan keskiarvo kyseiseen luokkaan kuuluvien versojen lukumäärällä ja kaikki yhdestä kasvista saadut luokkakohtaiset luvut laskettiin yhteen ja summa jaettiin versojen kokonaislukumäärällä.



Kuva 11. *R. solanin* tartukerengas asetettiin eri horisontaalisille etäisyyksille ($r = 0, 10, 20 \dots 60$ mm) perunan idusta.

Versolaikun ankaruuden muutosta perunan idun ja *R. solanin* tartukkeen välisen etäisyyden suhteen kuvattiin epälinearisilla yhtälöllä. Muutosta kuvaamaan käytettiin nk. kriittistä eksponentiaalista mallia:

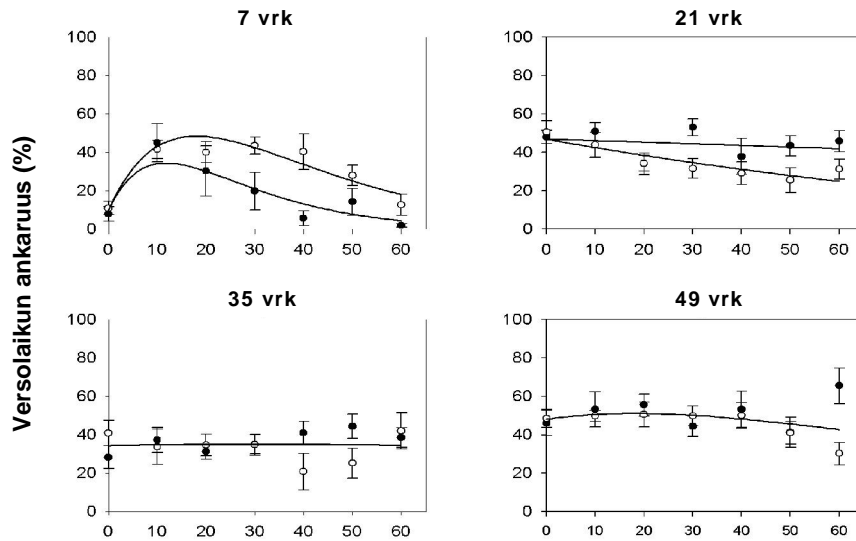
$$S(r) = (A + Br) \exp(-Cr). \quad (1)$$

Malli kuvaa käyrää, jossa versolaikun ankaruus (S) saavuttaa ensin maksimiarvonsa tartukkeen etäisyyden (r) kasvaessa ja laskee sen jälkeen etäisyyden yhä kasvaessa. Parametri A kuvaa versolaikun ankaruutta tartukkeen sijaitessa isäntäkasvin pinnalla, parametri B kuvaa käyrän kasvunopeutta ja parametri C sen hidastumisnopeutta. Malli sovitettiin aineistoon epälinearisella regressiolla nk. pienimmän neliösumman menetelmää käyttäen GENSTAT-tilasto-ohjelmalla (VSN International Ltd, Hemel Hempstead, Englanti).

T. harzianumin vaikutusta versolaikun ankaruuteen testattiin jokaisena tarkkailukertana erikseen nk. rinnakkaisten käyrien analyysillä (*parallel curve analysis*, PCA). Lisäksi muodostettiin kolmiulotteinen malli, jonka avulla kuvattiin versolaikun ankaruuden muutosta etäisyyden ja ajan suhteen. Kolmiulotteista mallia käytettiin apuna, kun määritettiin suurinta etäisyyttä isäntäkasvista, josta *R. solanin* tartuke pystyisi tartuttamaan kasvin ja aiheuttamaan 25 % versolaikun ankaruuden. Tämän suuruisen versolaikkuankaruuden on todettu vähentävän merkittävästi sadon laatua ja määrää. Etäisyys määritettiin erikseen antagonistilla käsitellyille ja käsittelemättäville kasveille ja sitä kuvattiin matemaattisella mallilla. Mahdollisia eroja etäisyydessä näiden kahden käsittelyn kesken testattiin PCA:lla.

T. harzianum vähensi merkittävästi versolaikun ankaruutta kokeen alkuvaiheessa (7 vrk) (Kuva 4). Tätä ilmensi merkittävä ero mallin (1) parametrin C saamista arvoissa käsittelyjen välillä ($C = 0.074 \pm 0.011$ *T. harzianumin* läsnä ollessa ja $C = 0.051 \pm 0.0072$ *T. harzianumin* poissa ollessa, $F_{(1, 136)} = 11,224$, $p < 0,01$). Parametrin C saamat arvot kuvastavat sitä, että versolaikun ankaruus laskee etäisyyden kasvaessa jyrkemmin *T. harzianumin* läsnä ollessa. Ero on selkeästi nähtävissä etäisyyksillä 20-60 mm (Kuva 4). Kun kokeen perustamisesta oli kulunut 21 vrk, *T. harzianum* lisäsi versolaikun ankaruutta (Kuva 4). Tämä kuvastui suurempina parametrin B arvoina, mikä kertoo siitä, että etäisyyden kasvaessa versolaikun ankaruus kasvoi jyrkemmin *T. harzianumilla* käsitellyillä koejäsenillä ($B = 0.15 \pm 1.2$ *T. harzianumin* läsnä ollessa ja $B = -0.23$

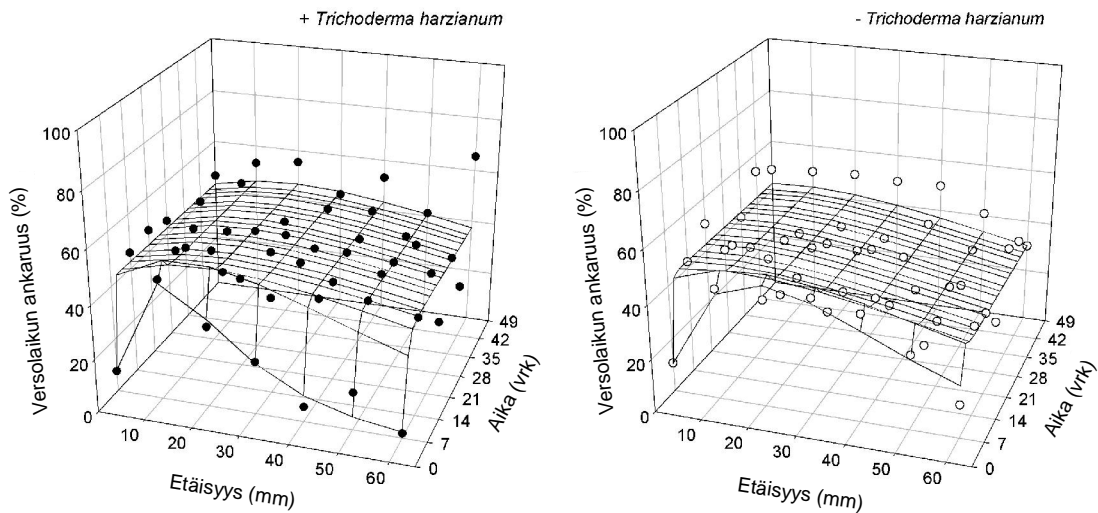
± 0.022 *T. harzianum*in poissa ollessa, $F_{(1, 136)} = 12,677$, $p < 0,01$). Muina tarkkailukertoina (14, 28, 35, 42 ja 49 vrk) käsittelyjen välillä ei ollut eroja.



Tartukkeen etäisyys (mm) perunan idusta

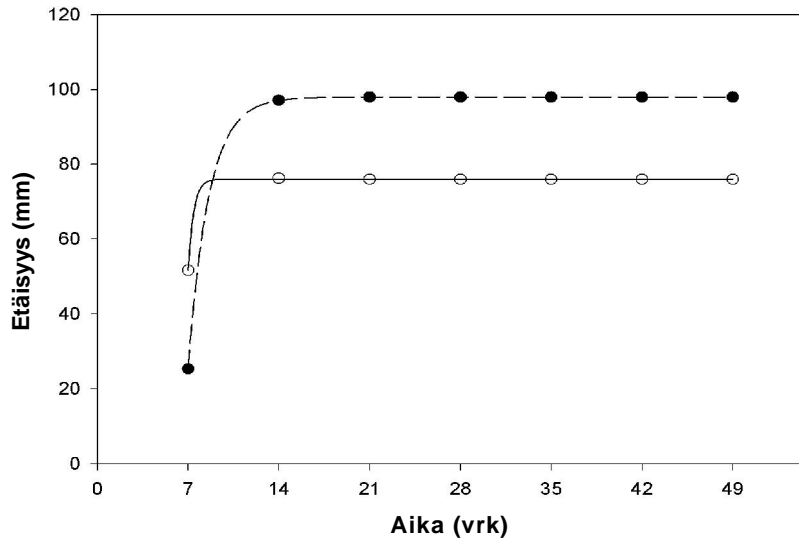
Kuva 12. Versolaikun ankaruuden muutos *R. solanin* tartukkeen etäisyyden kasvaessa perunan idusta. Jokaiselle tarkkailuajankohdalle sovitettiin erikseen malli $S(r) = (A + Br) \exp(-Cr)$. (●) + *T. harzianum*, (○) - *T. harzianum*.

Versolaikun ankaruuden muutosta *R. solanin* tartukkeen etäisyyden ja ajan suhteen kuvaava malli oli pääpiirteissään samanlainen *T. harzianum*in läsnä ollessa ja poissa ollessa (Kuva 12). Ero versolaikun ankaruudessa käsittelyjen välillä kokeen alkuvaiheessa (7 vrk) on selkeästi nähtävissä.



Kuva 13. *R. solanin* aiheuttaman versolaikun ankaruuden muutos ajan ja tartukkeen etäisyyden vaihdellessa *T. harzianum*in läsnä ollessa (+) ja poissa ollessa (-).

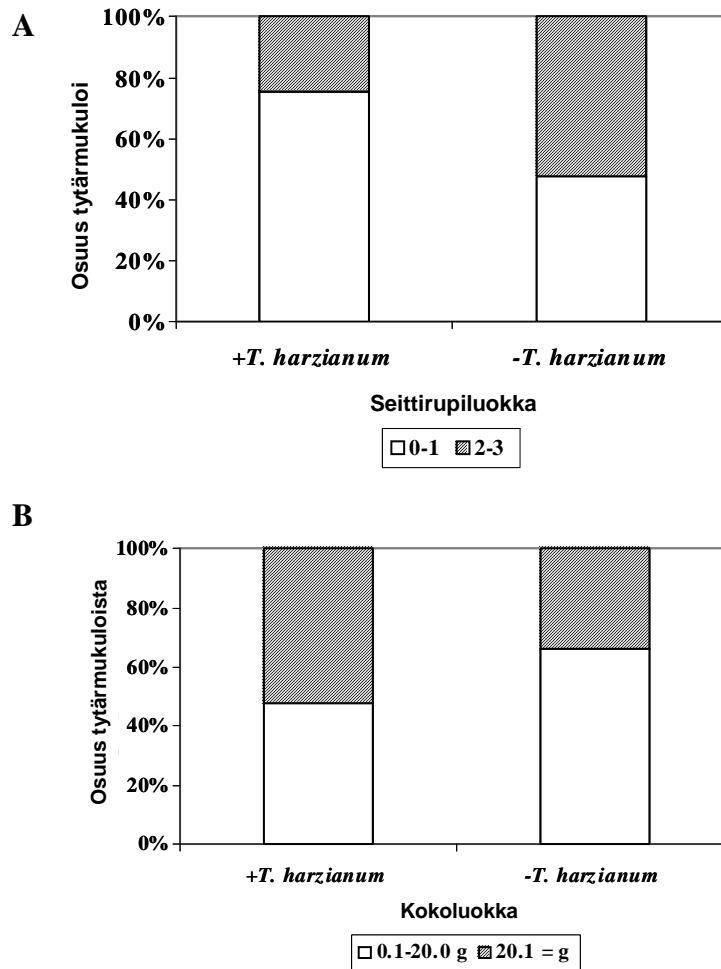
T. harzianum vähensi etäisyyttä, jolta *R. solani* pystyi aiheuttamaan 25 % versolaikkupeittävyden, mutta ainoastaan kokeen alkuvaiheessa (7 vrk: 25 mm *T. harzianumin* läsnä ollessa ja 52 mm *T. harzianumin* poissa ollessa) (Kuva 14). Myöhemminä aikoina (14 vrk ÷) *T. harzianum* sen sijaan lisäsi etäisyyttä, josta *R. solanin* oli mahdollista aiheuttaa kasviin voimakkaat versolaikkuoireet (98 mm *T. harzianumin* läsnä ollessa vs. 76 mm ilman *T. harzianumia*).



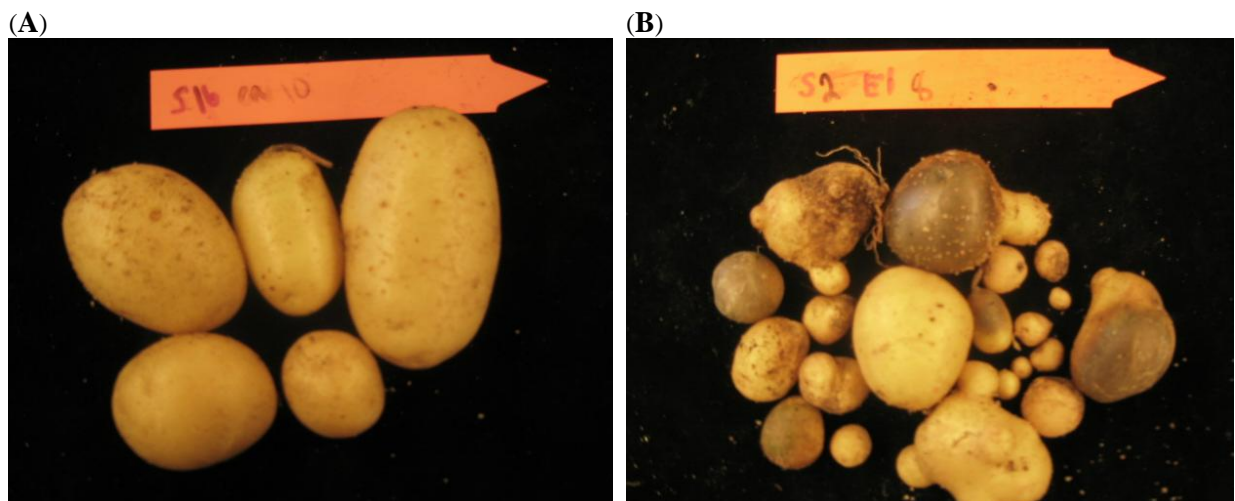
Kuva 14. Patovyöhykkeen muutos ajan suhteen *T. harzianumin* läsnä ollessa (--●--) ja poissa ollessa (-○-). Patovyöhykkeen laskemisessa käytettiin suurinta *R. solanin* tartukkeen etäisyyttä, josta ankaruudeltaan 25 % versolaikkuoireiden syntyminen on mahdollista.

Seittiruven kehitystä mukuloihin tutkivassa kokeessa perunat istutettiin 10 cm syvyyteen muoviruukkuihin, joiden suun halkaisija on 25 cm ja tilavuus 7,5 l. Kokeessa käytettiin samaa kasvualustaa, antagonistivalmistetta, perunaseittitartuketta ja samoja koeolosuhteita kuin versolaikkukokeessa. Tartuke asetettiin 30 mm päähän perunan idusta. Kerranteita oli molemmille käsittelyille 10. Kokeen purku tapahtui mukulanmuodostuksen jälkeen, 16 viikkoa kokeen perustamisesta. Noston yhteydessä mitattiin seittirupioireiden ankaruus. Seittiruven määrää mukulassa arvioitiin käyttämällä Kuvan 1 mukaista asteikkoa. Kunkin perunakasvin tytärmukuloista mitattiin seittirupisuudentautiluokan lisäksi kunkin mukulan paino ja mukuloiden määrä yhdessä kasvissa. *T. harzianumin* vaikutusta satomukuloiden painoon ja seittirupisuuteen testattiin tilastollisesti χ^2 -testillä ja mukuloiden määrään Mann-Whitneyn *U*-testillä. Tilastollista testiä varten seittirupiluokkien 0 ja 1, sekä 2 ja 3 aineisto yhdistettiin. Seittirupiluokkaan 4 kuuluvia mukuloita ei havaittu kokeessa. Tytärmukulat jaettiin kahteen painoluokkaan: 0-20.0 g ja 20.1 ≤ g.

Biorjuntavalmisteen käyttö vähensi tytärmukuloiden seittirupisuutta, sillä rupiluokkiin 2 ja 3 kuuluvia tytärmukuloita oli merkitsevästi vähemmän *T. harzianumilla* käsitellyissä koejäsenissä ($X^2= 12.547$, d.f.=1, $p<0.001$) (Kuva 15A). Tytärmukuloiden lukumäärä kasvia kohden väheni (6.5 ± 1.1 mukulaa per kasvi *T. harzianumin* läsnäollessa, 9.9 ± 2.7 mukulaa per kasvi *T. harzianumin* poissa ollessa, Mann-Whitneyn $U_{(0.05, 18)}=18.5$, $p<0.05$). Pienien mukuloiden (0.1-20.0 g) lukumäärä väheni *T. harzianumilla* käsitellyillä koejäsenillä ($X^2= 5.366$, d.f.=1, $p<0.05$) (Kuva 15B). Myös vihertyneiden ja epämuotoisten mukuloiden määrä väheni (Kuva 16A,B).



Kuva 15. (A) Seittiruven ankaruus tytärmukuloissa ja (B) tytärmukuloiden kokojakauma antagonistisen *T. harzianumin* läsnäollessa (+) ja ilman antagonistia (-).



Kuva 16. Tytärmukuloita *R. solanilla* tartutetuista perunoista (A) *T. harzianumin* läsnä ollessa ja (B) ilman *T. harzianumia*.

Peltokohtaisessa torjunnassa onnistunut torjunta saavutetaan vaikuttamalla tartuntatapahtumaan kasviyksilötasolla, mikä heijastuu edelleen muutoksina taudin etenemisessä kasvijoukossa. Yksilötasolla torjunnan vaikutus ja sen muutos tartukkeen sijainnin ja ajan myötä voitiin kvantifioida patovyöhykekäsitteen avulla. *T. harzianum* vähensi merkittävästi versolaikun ankaruutta kokeen alkuvaiheessa, jolloin patovyöhykkeen koko pieneni n. 50 %. Myöhemmin mittauskertoina antagonistilla ei ollut versolaikun ankaruutta vähentävää vaikutusta, vaan patovyöhyke kasvoi sen läsnä ollessa n. 29 %. Tämä voi olla seurausta *T. harzianumin* siirtymisestä lisääntymisrakenteiden, kuromaitiöiden, tuottoon. Toisaalta kokeessa käytettiin hyvin tartutuskykyistä seittikantaa tartunnan varmistamiseksi ja ylitettiin luonnossa esiintyvät tartukemäärät ja tartuntapaine.

Biotorjuntavalmisteen käyttö vähensi merkittävästi tytärmukuloiden seittirupisuutta. Myös tytärmukuloiden kokojakauma oli tasaisempi, ja mukuloissa esiintyi vähemmän vihertyneisyyttä ja epämuotoisuutta, kun antagonistilla oli läsnä. Nämä tulokset viittaavat siihen, että vaikka *T. harzianumin* vaikutus versolaikkuun heikentyi ajan myötä, maavarsien vahingoittuminen oli vähäisempää antagonistin läsnäollessa. Nykyinen tutkimus onkin ensimmäinen, missä *T. harzianumin* on todettu vaikuttavan positiivisesti mukuloiden kokojakaumaan perunaseittitartunnan saaneissa kasveissa. Biotorjunnan vaikutus muodostuvan mukulasadon määrään ja laatuun voi siis olla merkittävä. Jatkotutkimukset pelto-olosuhteissa ovat tarpeen. Tieto siitä, missä perunan kehitysvaiheessa lisättynä antagonistilla toimii parhaiten ja miten tehokkaasti se parantaa saadun sadon laatua, lisää huomattavasti biologisen torjunnan vaikutusmahdollisuuksia perunaseitin torjunnassa.

3.3.2. Vaikutukset pelto-olosuhteissa

Talvella 2004 suoritetuissa kasvihuonekokeissa (ks. 3.3.1.) *T. harzianumin* perunaseitin oireita vähentävä vaikutus oli jo todettu. Kenttäkokeissa selvitettiin, onko sama vaikutus todennettavissa pelto-oloissa, jotka ovat abioottisilta ja bioottisilta tekijöiltään kasvihuoneolosuhteita monimuotoisempia. Kokeissa keskityttiin erityisesti biologisen torjunnan kehittämiseen maatartuntaa vastaan.

Kenttäkokeet toteutettiin kahtena peräkkäisenä kasvukautena, v. 2004 ja 2005, Helsingin yliopiston Viikin kampuksen aidatulle koekenttäalueelle, jossa ei ole aiemmin viljelty perunaa ja jossa ei esiinny seittisientä. Van Gogh –perunalajikkeen siemenperunoita valoidettiin matalissa idätyslaatikoissa kasvihuoneessa kunnes lämpösumma saavutti n. 220°C. Molempina tutkimusvuosina perunat istutettiin leveydeltään 0.75 m penkkeihin, joissa siemenperunoiden välinen etäisyys oli n. 0.30 m. Yksi koeruutu käsitti 4 perunakasvia, ja koeruutukerranteita kullekin käsittelylle oli kumpanakin koevuonna 3 kpl. Vuonna 2004 istutus tapahtui 25.5. ja vuonna 2005 19.5.

Vuoden 2004 koejärjestelyt ja tulokset: Istutuksen yhteydessä ja ennen perunoiden multausta osaan käsittelyjä lisättiin perunaseittitartuke (n. 50 g) perunan välittömään läheisyyteen tai tietylle etäisyydelle siitä (4 eri etäisyyttä: 0, 30, 60 ja 90 mm perunan idusta). Tartuke valmistettiin kuten edellä. Osaan siemenperunoista oli lisätty myös antagonistinen *T. harzianum* –sieni peittaamalla siemenperuna 1 % Trianium-G –valmisteella (2,5 g Trianium-G / kg perunaa).

Kokeessa tutkittiin myös kahden muun biotorjuntavalmisteen soveltuvuutta perunan peittaukseen seittiä vastaan. Osa perunoista peitattiin 0.01 % Mycostop-valmisteella (*Streptomyces griseoviridis* -sädebakteeri, tuotteessa 10^8 - 10^9 pesäkettä muodostavaa yksikköä

(pmy) / g (Kemira Oy), ja osa peitattiin 1 % Prestop-valmisteella (*Gliocladium catenulatum* – sieni, tuotteessa rihmastoa ja itiöitä 10^7 - 10^9 pmy / g (Verdera Oy). Mycostop- ja Prestop-käsittelyissä *R. solanin* tartuke sijoitettiin 30 mm etäisyydelle perunan idusta. Kontrolleina kokeessa toimivat terve, saastukkeeton siemenperuna, sekä Trianum-G:llä, Mycostopilla tai Prestopilla peitattu terve, saastukkeeton siemenperuna.

Eri käsittelyt sijoitettiin koealueelle siten, että penkkien päissä sekä eri käsittelyjen välissä oli kaksi perunakasvia (Rosamunda-lajike) suojakasveina. Koenostot suoritettiin 7, 14, 21, 28, 35, 42, 60, 90 ja 120 vrk kokeen perustamisesta. Koeruudut sijoitettiin koealueelle siten, että nostokerta muodosti lohkon, jonka sisällä torjuntakäsittely muodosti osaruudun. Osaruuduissa *R. solanin* tartukkeen eri etäisyydet oli satunnaistettu. Jokaisella nostokerralla nostettiin kunkin koeruudun (=kerranne) kaikki neljä perunakasvia mukuloineen. Versot ja mukulat pestiin vesijohtovedellä. Versolaikun määrä arvioitiin jokaisesta varresta erikseen ja jokaiselle perunakasville laskettiin keskimääräinen versolaikkuindeksi. Myös maavarsiin ja mukuloihin ilmestyneet vauriot mitattiin jokaisen nostokerran yhteydessä ko. kasvinosien kehittymisen alettua ja mukuloiden seittirupisuus arvioitiin (Kuva 1). Myös perunakasvin kasvua (varsien lukumäärä ja paino) ja mukulasatoa (mukuloiden lkm ja paino perunakasvia kohden) verrattiin eri käsittelyjen kesken. Kasvukauden aikana perunakasvusto ruiskutettiin perunaruttoa vastaan tarpeen vaatiessa. Kasvustolle tehtiin myös normaalit rikkakasvintorjuntatoimenpiteet. Tulokset testattiin tilastollisesti varianssianalyysillä käyttäen SAS-ohjelmiston GLM-proseduuria (SAS Institute, NC, USA).

Terveissä kontrollikasveissa ei esiintynyt lainkaan versolaikkua. *R. solanilla* saastutetuissa käsittelyissä versolaikkua esiintyi, mutta *T. harzianumilla* ei ollut vaikutusta seittisien aiheuttaman versolaikun ankaruuteen (Taulukko 8a). Myöskään muilla antagonistivalmisteilla (Mycostop, Prestop) ei ollut vaikutusta versolaikkuun (Taulukko 8b). Sen sijaan *R. solanin* tartukkeen etäisyys vaikutti versolaikun ankaruuteen siten, että kokeen alussa (7 ja 28 vrk) versolaikun ankaruus laski tartukkeen etäisyyden kasvaessa perunan idusta (60 ja 90 mm), kun taas kokeen loppupuolella (90 ja 120 vrk) versolaikun ankaruus oli suurempi kauimmaisilla tartukkeen etäisyyksillä (Taulukko 8a).

Terveiden kontrollikasvien ja *R. solanilla* saastutettujen kasvien versojen lukumäärät poikkesivat toisistaan 60 ja 90 vrk istutuksesta, jolloin saastutettujen kasvien versolukumäärä oli huomattavasti korkeampi (9-14 kpl) terveisiin verrattuna (4-5 kpl). Ero versolukumäärässä johtui seittisien aiheuttamasta idunkärkien kuolemista ja sitä seuranneesta kompensoivasta versonkasvusta *R. solanin* tartunnan aikana. Eri torjuntakäsittelyillä tai *R. solanin* saastukkeen etäisyydellä ei ollut vaikutusta versolukumäärään verrattaessa saastutettuja kasveja keskenään.

Kontrollikasveja (ei seittitartutusta) tarkasteltaessa havaittiin, että kokeen lopussa (120 vrk) käsittelemättömät, Mycostopilla ja *T. harzianumilla* käsitellyt versot painoivat n. 230 g/kasvi, kun taas Prestopilla käsiteltyjen kasvien versot painoivat vain n. 150 g/kasvi. Tämä voi olla merkki Prestopin haitallisuudesta perunalle. *R. solanilla* saastutettujen kasvien versot painoivat kokeen lopussa n. 160 g/kasvi, riippumatta torjuntakäsittelystä. *R. solanin* tartukkeen etäisyys ei myöskään vaikuttanut verson painoon.

Taulukko 8. (A) Torjuntakäsittelyn ja tartukkeen etäisyyden vaikutus versolaikun ankaruuteen pellolla, ja (B) torjuntakäsittelyn vaikutus, kun tartukkeen etäisyys on vakio (30 mm) perunan idusta (kasvukausi 2004).

(A)					
Versolaikun ankaruus (% ±keskihajonta)*					
Käsittely	7 vrk	28 vrk	60 vrk	90 vrk	120 vrk
Ei torjuntaa	44.0 (35.5) a	50.1 (7.8) a	33.6 (10.8) a	34.9 (12.1) a	40.4 (6.8) a
Trianium-peittäus	46.9 (33.7) a	53.0 (9.3) a	32.1 (9.2) a	38.7 (14.1) a	44.7 (15.9) a
LSD (d.f.)	15.0 (16)	6.4 (16)	8.2 (16)	10.0 (16)	8.1 (16)
P	0.6833	0.4052	0.7016	0.4277	0.2823
Etäisyys 0 mm	70.3 (14.1) a	54.8 (7.7) ab	27.5 (6.4) a	29.7 (10.7) b	35.3 (9.2) c
Etäisyys 30 mm	74.8 (18.5) a	58.1 (7.0) a	27.3 (9.3) a	29.5 (4.2) b	35.6 (10.6) bc
Etäisyys 60 mm	36.0 (21.1) b	48.7 (6.6) bc	37.7 (5.7) a	39.7 (13.3) a	47.0 (10.1) ab
Etäisyys 90 mm	0.58 (1.4) c	45.4 (7.9) c	38.8 (11.8) a	48.4 (13.1) a	52.3 (11.1) a
Pienin merkitsevä ero	21.3	9.1	11.6	14.1	11.5
P	<0.0001	0.037	0.0833	0.0338	0.0132
Yhdysvaikutus: torjunta x etäisyys	P>0.05	P>0.05	P>0.05	P>0.05	P>0.05
(B)					
Versolaikun ankaruus (% ±keskihajonta)*, etäisyys 30 mm					
Käsittely	7 vrk	28 vrk	60 vrk	90 vrk	120 vrk
Ei torjuntaa	72.5 (24.1) a	53.4 (3.0) a	26.1 (14.1) a	32.0 (3.7) a	37.0 (4.0) a
Trianium-peittäus	77.1 (16.0) a	62.8 (6.7) a	28.5 (4.1) a	27.0 (3.5) a	34.2 (16.0) a
Mycostop-peittäus	69.2 (32.6) a	57.4 (6.1) a	29.2 (5.2) a	29.7 (3.2) a	30.4 (12.2.) a
Prestop-peittäus	65.0 (33.5) a	54.2 (4.9) a	33.3 (7.8) a	26.1 (3.6) a	36.0 (15.7) a
Pienin merkitsevä ero	51.7	10.1	16.3	6.6	8.2
P	0.9546	0.2051	0.7866	0.2377	0.9476

* Samalla kirjaimella merkityt käsittelyt eivät eroa merkittävästi toisistaan ($p < 0.05$).

Terveiden kontrollikasvien välillä ei ollut eroja maavarsien painossa eri käsittelyjen (ei torjuntaa, *T. harzianum*, Prestop, Mycostop) kesken. Näissä käsittelyissä kasvikohtainen maavarsien keskipaino oli n. 5 g 120 vrk istutuksesta. *R. solanilla* saastutettujen kasvien maavarsien keskipaino oli huomattavasti pienempi, n. 1,5 g/kasvi, ja kaikissa maavarsissa esiintyi *R. solanin* aiheuttamaa maavarsilaikkua. Eri torjuntakäsittelyillä tai *R. solanin* tartukkeen etäisyydellä perunan idusta ei ollut vaikutusta maavarsien painoon.

Terveiden kontrollikasvien tytärmukuloissa ei esiintynyt lainkaan seittirupea. Sen sijaan *R. solanilla* saastutetuissa käsittelyissä seittirupea esiintyi, mutta se oli ankaruudeltaan melko vähäistä (Taulukko 9). *T. harzianum*, Mycostop ja Prestop eivät vaikuttaneet tytärmukuloiden seittirupisuuteen (Taulukko 9A,B). Myöskään *R. solanin* tartukkeen etäisyydellä perunan idusta ei ollut vaikutusta seittiruvien ankaruuteen (Taulukko 9A). Terveiden, saastuttamattomien kasvien tytärmukuloissa ei esiintynyt epämuotoisuutta tai vihertyneisyyttä. Sen sijaan *R. solanilla* saastutetuissa kasveissa näitä esiintyi: keskimäärin n. 11 % mukuloista oli epämuotoisia ja n. 5 % vihertyneitä kokeen lopussa (120 vrk). Torjuntakäsittelyillä tai *R.*

solanin tartukkeen etäisyydellä ei ollut vaikutusta vihertyneiden tai epämuotoisten mukuloiden osuuteen sadosta.

Taulukko 9. (A) Torjuntakäsittelyn ja tartukkeen etäisyyden vaikutus seittiruven ankaruuteen, ja B) torjuntakäsittelyn vaikutus seittirupeen tartukkeen vakioetäisyydellä (30 mm perunan idusta) kasvukautena 2004.

(a)	Seittiruven ankaruus (±keskihajonta) ^{‡*}
Käsittely	120 vrk
Ei torjuntaa	0.6 (0.1) a
Trianum-peittaus	0.5 (0.2) a
Pienin merkitsevä ero	0.2
P	0.6927
Etäisyys 0 mm	0.2 (0.2) a
Etäisyys 30 mm	0.3 (0.2) a
Etäisyys 60 mm	0.2 (0.2) a
Etäisyys 90 mm	0.4 (0.2) a
Pienin merkitsevä ero	0.3
P	0.8323
Yhdysvaikutus: torjunta x etäisyys	P>0.05
(b)	Seittiruven ankaruus (±keskihajonta)^{‡*}
Käsittely	120 vrk, etäisyys 30 mm
Ei torjuntaa	0.6 (0.1) a
Trianum-peittaus	0.6 (0.06) a
Mycostop-peittaus	0.4 (0.3) a
Prestop-peittaus	0.4 (0.3) a
Pienin merkitsevä ero	0.3
P	0.7618

[‡]Luokat 0-4 (Kuva 1). * Samalla kirjaimella merkityt käsittelyt eivät eroa merkittävästi toisistaan (p<0.05).

Terveiden, saastuttamattomien kasvien mukulasadon paino oli noin kolminkertainen ja mukuloiden lukumäärä kaksinkertainen verrattuna *R. solanilla* tartutettuihin kasveihin (Taulukko 10). Terveet, Prestopilla peitatut kasvit tuottivat painoltaan ja lukumäärältään pienimmän sadon muihin kontrollikäsittelyihin verrattuna, mikä voi olla merkki ko. peittausaineen haitallisuudesta perunalle (Taulukko 10B). *T. harzianumilla* ja Mycostopilla peitatut kasvit eivät tuottaneet suurempaa satoa kuin kasvit, joita ei käsitelty antagonistilla (Taulukko 10A,B). *R. solanin* tartukkeen etäisyydellä ei ollut vaikutusta mukuloiden painoon tai lukumäärään (Taulukko 10A).

Taulukko 10. (A) Torjuntakäsittelyn ja tartukkeen etäisyyden vaikutus mukuloiden painoon ja lukumäärään, ja (B) torjuntakäsittelyn vaikutus tartukkeen vakioetäisyydellä (30 mm perunan idusta) kasvukautena 2004.

(A)	Mukuloiden paino, g/kasvi (±keskihajonta)* 120 vrk	Mukuloiden lukumäärä, kpl /kasvi (±keskihajonta)* 120 vrk
Käsittely		
Ei torjuntaa	362.3 (216.6) a	7.0 (2.7) a
Trianum-peittaus	442.4 (217.6) a	7.6 (2.9) a
LSD (d.f.)	201.6 (16)	2.3 (16)
P	0.4270	0.6375
Etäisyys 0 mm	336.0 (133.4) a	6.6 (2.2) a
Etäisyys 30 mm	379.3 (156.4) a	7.0 (1.9) a
Etäisyys 60 mm	351.0 (203.3) a	6.2 (2.4) a
Etäisyys 90 mm	538.7 (307.9) a	9.3 (3.6) a
Pienin merkitsevä ero	232.4	3.4
P	0.4079	0.2218
Yhdysvaikutus: torjunta x etäisyys	P>0.05	P>0.05
(B)	Mukuloiden paino, g/kasvi (±keskihajonta)* 120 vrk, etäisyys 30 mm	Mukuloiden lukumäärä, kpl /kasvi (±keskihajonta)* 120 vrk, etäisyys 30 mm
Käsittely		
Ei torjuntaa	349.5 (182.6) cd	7.5 (1.6) c
Trianum-peittaus	409.0 (158.7) c	6.4 (2.2) cd
Mycostop-peittaus	287.2 (56.1) cd	7.3 (0.4) cd
Prestop-peittaus	193.6 (79.8) d	4.8 (1.2) d
Terve (kontrolli)	1378.2 (189.3) a	16.9 (1.7) ab
Terve, Trianum-peitattu (kontrolli)	1328.3 (18.3) a	18.4 (1.9) a
Terve, Mycostop-peitattu (kontrolli)	1253.3 (46.5) ab	16.2 (2.0) ab
Terve, Prestop-peitattu (kontrolli)	1099.9 (61.6) b	14.6 (2.2) b
Pienin merkitsevä ero	216.4	2.7
P	<0.0001	<0.0001

* Samalla kirjaimella merkityt käsittelyt eivät eroa merkittävästi toisistaan (p<0.05)

Vuoden 2005 koejärjestelyt ja tulokset: Tartukkeena käytettiin *R. solanin* isolaatin no. 11 kolonisoimaa savikka-hiekkaseosta. Tartuke lisättiin tasaisesti istutusvakoon (5 g/m) ennen perunoiden multausta. Samassa yhteydessä osaan koeruutuja lisättiin Trianum-G –valmistetta istutusvakoon 20 g/m tai 50 g/m. Osa siemenperunoista peitattiin 1 % Trianum-G –valmisteella kuten v. 2004. Osassa koeruutuja siemenperuna peitattiin 0,15 % Moncut-torjunta-aineella (flutolaniili, 449 g tehoainetta / l) (Berner Oy). Osassa koeruutuja siemenperuna peitattiin Moncutilla ja samalla istutusvakoon lisättiin vielä Trianum-G:tä (50 g/m). Kontrolleina kokeessa toimivat terve, saastukkeeton siemenperuna, sekä Trianum-G:llä käsitelty (peittaus, 20g/m tai 50g/m) terve, saastukkeeton siemenperuna. Koenostot suoritettiin 10, 20, 30, 40, 60, 90 ja 120 vrk kokeen perustamisesta. Kokeessa nostokerta muodosti lohkon, jonka sisällä eri käsittelyt oli satunnaistettu. Muutoin kokeen toteutus oli samanlainen kuin v. 2004, mukaan lukien versolaikku-, seittirupi- ja satomääritykset. Koeruutukerranteita kokeessa oli 3 kpl (kukin sisältäen neljä perunakasvia), kuten vuonna 2004.

Moncut-peittaus sekä käsittely, jossa siemen peitattiin Moncutilla ja istutusvakoon lisättiin Trianium-G –valmistetta 50 g/m (Moncut+Trianum 50 g/m) vähensivät merkittävästi versolaikun ankaruutta kokeen alussa (10 ja 30 vrk, Taulukko 4). Vähäisimmät versolaikkuvioitukset havaittiin Moncut+Trianum-käsittelyllä sekä Trianium 50g/m-käsittelyllä 40-90 vrk kokeen aloituksesta. Viimeisessä koenostossa (120 vrk) käsittelyjen välillä ei ollut merkittäviä eroja, vaikkakin vähäisin versolaikun ankaruus mitattiin Trianium 20g/m ja Trianium 50g/m käsittelyille (Taulukko 11). Koeruuduissa, joihin oli lisätty *R. solanin* tartuke, mutta ei torjuntaa, mitattiin korkeimpia versolaikkuankaruuksia koko kokeen keston ajan. Kokeen loppupuolella (60-120 vrk) myös Moncut-käsittelyissä koeruuduissa mitattiin korkeita versolaikkuankaruuksia.

Taulukko 11. Versolaikun ankaruus (% verson maanalaisesta osasta versolaikun peitossa) per kasvi v. 2005.

Versolaikun ankaruus (% ±keskihajonta)*					
Käsittely	10 vrk	30 vrk	60 vrk	90 vrk	120 vrk
Ei torjuntaa	73.0 (9.0) a	40.6 (12.7) a	38.3 (6.1) a	33.6 (3.5) a	34.0 (7.4) a
Moncut-peittaus	8.3 (13.6) b	21.6 (10.6) b	32.3 (5.0) a	35.0 (4.5) a	38.5 (5.6) a
Moncut+Trianum 50g/m	3.1 (5.3) b	18.8 (2.5) b	21.2 (2.0) bc	26.2 (2.5) bc	27.6 (0.7) a
Trianum-peittaus	-	42.0 (1.8) a	25.2 (2.4) b	31.9 (1.8) ab	41.2 (11.6) a
Trianum 20g/m	54.9 (23.1) a	42.8 (6.1) a	24.2 (2.9) b	28.8 (4.4) ab	24.1 (17.3) a
Trianum 50 g/m	49.0 (34.3) a	41.1 (3.9) a	17.2 (1.4) c	20.8 (3.8) c	24.0 (2.7) a
Pienin merkitsevä ero	27.2	13.3	6.6	6.4	16.7
P	0.0036	0.0034	0.0002	0.0037	0.1719

* Samalla kirjaimella merkityt käsittelyt eivät eroa merkittävästi toisistaan ($p < 0.05$).

Kasvikohtaisissa versojen lukumäärissä oli eroa terveiden kontrollikasvien ja *R. solanilla* saastutettujen kasvien välillä 30-120 vrk kokeen perustamisesta. Tällöin terveiden kasvien versolukumäärä oli n. 2 kpl (30 vrk) tai 3 kpl/kasvi (60 ja 90 vrk), kun taas saastutettujen kasvien versolukumäärä oli n. 8 kpl (3 vrk), 9 kpl (60 vrk) tai 7 kpl/kasvi (90 vrk).

Terveiden kontrollikasvien versojen painossa ei ollut eroa eri käsittelyjen (ei torjuntaa, Trianium-peittaus, Trianium 20g/m, Trianium 50g/m) välillä. Kokeen lopussa (120 vrk) näiden käsittelyjen versojen paino oli n. 300 g/kasvi. *R. solanilla* saastutettujen kasvien varsimassa oli huomattavasti pienempi, n. 100-200g/kasvi (120 vrk). Eri torjuntakäsittelyjen välillä oli eroja versojen painossa kokeen lopussa: pienin versojen paino mitattiin Trianium 20g/m ja Trianium 50g/m –käsittelyille, joiden verson paino oli n. 110 g/kasvi. Tämä voi olla merkki haittallisuudesta perunalle. Suurin verson paino mitattiin Moncut-peitatuille ja Trianium-peitatuille kasveille (molemmissa käsittelyissä verson paino n. 210 g/kasvi). Koeruudut, jotka oli saastutettu *R. solanilla* ilman torjuntatoimenpiteitä sekä Moncut+Trianum 50g/m -käsittelyn saaneet koeruudut eivät poikenneet merkitsevästi muista torjuntakäsittelyistä kokeen lopussa (molempien käsittelyiden versonpaino n. 150 g/kasvi).

R. solanin vaurioittamien maavarsien osuus (n. 50 % kaikista maavarsista) ei eronnut merkitsevästi eri saastutettujen käsittelyjen kesken kokeen aikana (60-120 vrk). Terveissä kontrollikasveissa ei havaittu maavarsivaurioita. Näiden kasvien maavarsien lukumäärä oli kokeen lopussa n. 20 kpl/kasvi, kun taas *R. solanilla* saastutettujen maavarsien lukumäärä oli n. 10 kpl/kasvi. Terveiden kasvien maavarsien paino/kasvi oli myös suurempi (n. 5 g/kasvi, 120 vrk) kuin saastutettujen kasvien (n. 2 g/kasvi, 120 vrk). Eri torjuntakäsittelyt eivät vaikuttaneet maavarsien lukumäärään tai painoon koko kokeen aikana.

Terveiden kontrollikasvien tytärmukuloissa ei esiintynyt seittirupea. *R. solanilla* saastutetuissa käsittelyissä seittirupea esiintyi eniten Moncut- tai Trianum-peittauksella käsitellyissä koeruuduissa, kun taas seittirupea esiintyi vähiten Moncut+Trianum 50 g/m –käsittelyssä (Taulukko 12). Erot eivät kuitenkaan olleet merkittäviä eri käsittelyjen kesken. Seittirupea oli ankaruudeltaan vähäistä (Taulukko 12). Epämuotoisia (n. 18 % mukuloista) ja vihertyneitä (n. 14 % mukuloista) tytärmukuloita esiintyi *R. solanilla* saastutetuissa koeruuduissa. Torjuntakäsittelyillä ei ollut tilastollisesti merkittävää vaikutusta mukuloiden epämuotoisuuteen, vihertyneisyyteen tai seittiruven ankaruuteen. Vähäisin seittiruven ankaruus mitattiin koeruuduissa, joissa oli Moncut+Trianum 50 g/m -käsittely (Taulukko 5).

Taulukko 12. Seittiruven esiintyminen ja ankaruus per kasvi v. 2005.

Aika	Käsittely	Seittiruven esiintyminen	
		(% mukuloista ±keskihajonta)*	Seittiruven ankaruus [‡] (±keskihajonta)*
120 vrk	Ei torjuntaa	32.1 (10.1) a	0.4 (0.2) a
	Moncut-peittaus	53.8 (40.2) a	0.6 (0.4) a
	Moncut+Trianum 50g/m	14.5 (4.4) a	0.2 (0.09) a
	Trianum-peittaus	53.7 (23.0) a	0.6 (0.3) a
	Trianum 20g/m	26.8 (35.2) a	0.3 (0.5) a
	Trianum 50 g/m	20.3 (14.1) a	0.3 (0.2) a
	Pienin merkitsevä ero	40.1	2.2
P	0.3273	0.4020	

* Samalla kirjaimella merkityt käsittelyt eivät eroa merkittävästi toisistaan (p<0.05).

Terveiden kontrollikasvien mukulasadon paino oli noin kolminkertainen ja mukuloiden lukumäärä kaksinkertainen verrattuna *R. solanilla* saastutettuihin kasveihin (Taulukko 13). Terveistä kontrollikasveista suurin mukulasato saatiin Trianum 50g/m peittauskäsittelyllä, kun taas pienin sato saatiin Trianum 20 g/m käsitellyistä kasveista (Taulukko 13). Toisaalta näiden kasvien mukulalukumäärä oli korkein. Pienin lukumäärä saatiin Trianum-peitatuista kasveista. Eri torjuntamenetelmillä ei ollut tilastollisesti merkittävää vaikutusta *R. solanilla* saastuttujen kasvien tytärmukuloiden painoon. Näissä koeruuduissa korkein mukuloiden lukumäärä saatiin kasveille, joihin ei oltu lisätty torjunta-aineita.

Taulukko 13. Mukuloiden lukumäärä ja sato per kasvi v. 2005.

Käsittely	Mukulasato, g (±keskihajonta)*, 120 vrk	Mukuloiden lukumäärä, (±keskihajonta)*, 120 vrk
Ei torjuntaa	280.4 (103.2) d	6.8 (0.5) c
Moncut-peittaus	392.2 (221.6) cd	4.3 (1.9) de
Moncut+Trianum 50g/m	388.1 (159.3) cd	6.1 (1.8) cd
Trianum-peittaus	225.6 (73.6) d	3.4 (0.8) e
Trianum 20g/m	204.7 (112.6) d	4.8 (2.3) cde
Trianum 50 g/m	495.8 (81.2) c	5.6 (1.0) cde
Terve (kontrolli)	990.1 (128.5) ab	12.3 (0.9) ab
Terve, Trianum-peittaus (kontrolli)	1093.6 (90.6) a	10.1 (1.9) b
Terve, Trianum 20g/m (kontrolli)	887.2 (79.9) b	12.6 (0.6) a
Terve, Trianum 50g/m (kontrolli)	1184.3 (40.8) a	11.9 (1.5) ab
Pienin merkitsevä ero	203.4	2.5)
P	<0.0001	<0.0001

Kumpanakin tutkimusvuonna seitin maatartunta vähensi satoa huomattavasti. Myös sadon laatu heikkeni (mukuloiden epämuotoisuus, vihertyneisyys, seittirupisuus lisääntyivät) saastutetuilla kasveilla. Tutkitut biotorjuntavalmisteet (Trianum-G, Mycostop, Prestop) eivät torjuneet perunaseittiä merkittävästi. Vuonna 2004 biologisella torjunnalla ei ollut vaikutusta versolaikun ankaruuteen tai tytärmukuloiden seittirupisuuteen. Toisaalta kyseisenä tutkimusvuonna käytettiin erittäin voimakasta seittitartuketta. Lisäksi kasvukausi oli kylmä ja runsassateinen, millä on voinut olla vaikutusta biotorjuntaeliöiden kasvuun ja lisääntymiseen pelto-olosuhteissa. Vuonna 2005, jolloin käytettiin pienempää *R. solanin* tartukemäärää, todettiin siemenperunan Moncut-peittauksella ja samanaikaisella Trianum-G –valmisteen lisäämisellä istutusvakoon, sekä pelkällä Trianum-G –valmisteen lisäämisellä istutusvakoon, olevan versolaikun ankaruutta vähentävä vaikutus. Kuitenkin kasvukauden lopussa näiden torjuntakäsittelyiden versolaikkua vähentävä teho heikkeni. Näissä koeruuduissa myös tytärmukuloissa esiintyvä seittirupi ja sen ankaruus olivat vähäisimmät, vaikkakin ero muihin käsittelyihin nähden ei ollut tilastollisesti merkittävä.

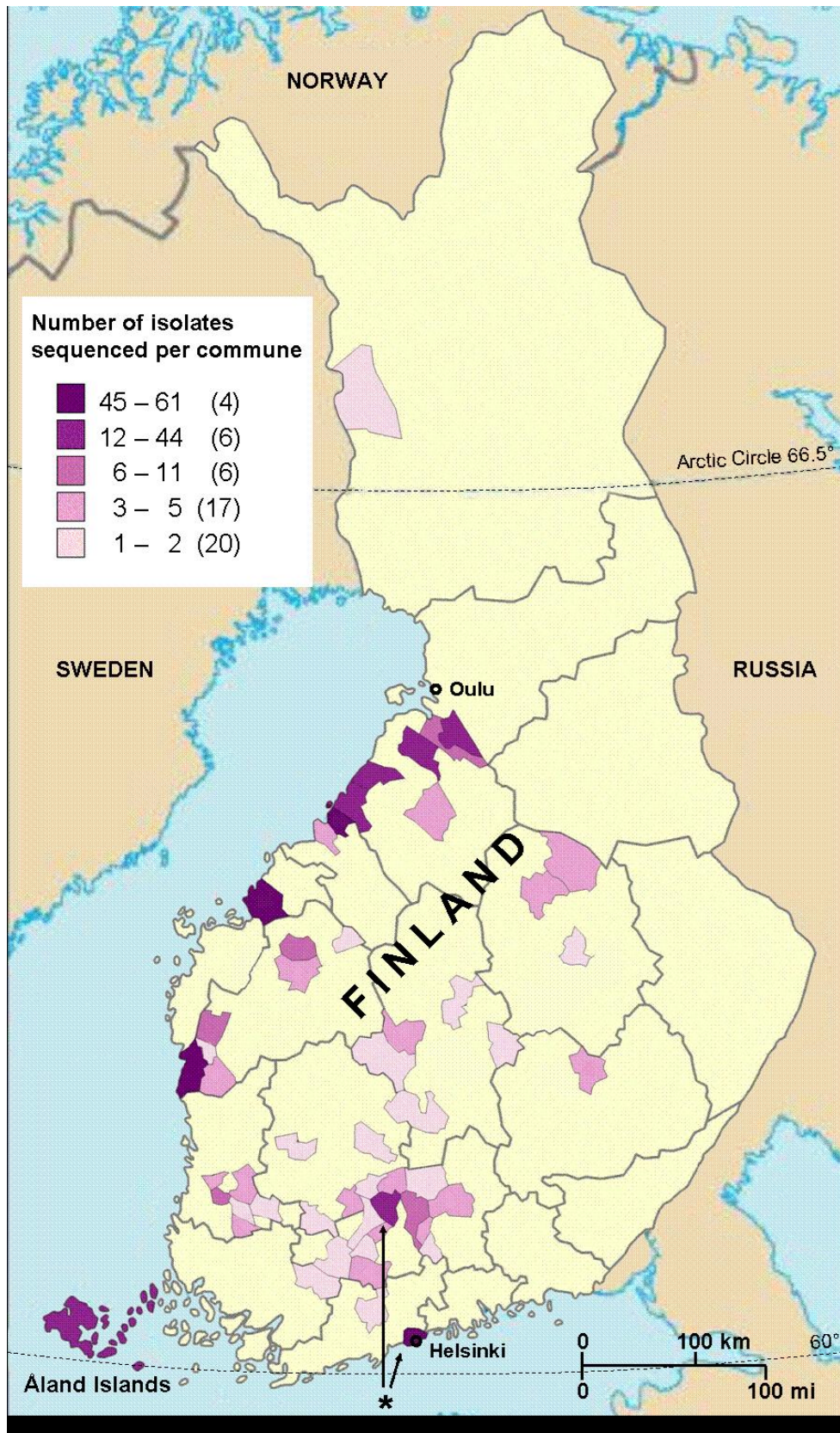
Siemenperunan Moncut-peittaus vähensi versolaikun ankaruutta. Kuitenkin seittirupea esiintyi eniten ja se oli ankaruudeltaan voimakkainta Moncut-peitatuissa koeruuduissa. Tämä tulos osoittaa, että peittaus ei torju tehokkaasti maasta lähtöisin olevaa seittiä.

Kumpanakin tutkimusvuonna biotorjuntavalmisteet aiheuttivat mahdollisesti haittaa perunan kasvulle. Tämä ilmeni alentuneina verso- ja mukulapainoina tai mukulalukumäärinä (v. 2004 Prestop-peittaus ja v. 2005 Trianum 20g/m ja 50/m -käsittelyt). Lisätutkimukset ovat tarpeen biotorjuntavalmisteen määrän optimoimiseksi.

Vuosina 2004 ja 2005 kenttäkokeista saadut tulokset osoittavat, että biologisilla torjuntatoimenpiteillä voi olla perunaseittiä vähentävä vaikutus, erityisesti jos samanaikaisesti käytetään kemiallista torjuntaa täydentämään torjunnan tehoa kasvukauden alkuvaiheessa. Tällöin biologiset torjuntaeliöt eivät aina välttämättä ole aktivoituneet täysin maan lämpötilan ollessa melko matala (alle +10°C) suomalaisissa perunamaissa. Lisätutkimukset biologisen torjunnan mahdollisuuksista ovat tarpeen, erityisesti luonnostaan saastuneissa perunamaissa, joiden tartukepotentiaali on huomattavasti pienempi kuin nykyisessä tutkimuksessa keinotekoisesti tuotetun seittitartukkeen. Tällöin biologisen torjunnan teho voi olla huomattavasti suurempi kuin mitä nykyisessä tutkimuksessa todettiin.

3.4. Perunasta eristettyjen *Rhizoctonia*-isolaattien geneettinen monimuotoisuus

Kaikkiaan 503 *Rhizoctonia*-isolaattia eristettiin eri puolilta Suomea (Kuva 17), yhteensä 281 perunapelloilta. Näytteitä oli 53 manner-Suomen kunnasta sekä Ahvenanmaalta. Isolaateista kolme oli peräisin Hollannista tuodusta siemenperunasta ja yksi Venäjän Karjalasta otetusta versolaikkunäytteestä. Eristyksiä tehtiin tyyppillisistä seitin oireista, kuten versolaikusta (245 isolaattia), maavarsilaikuista (7), juurilaikuista (12), itiöemästä (17), vegetatiivisesta sienirihmasta (6) ja seittiruvesta mukuloissa (215) tai juurissa (1). Näytteitä oli 31 lajikkeesta, joista yleisimmät olivat Van Gogh (36 %), Nicola (9 %), Fambo (8 %), Saturna (6 %) ja Idole (5 %).



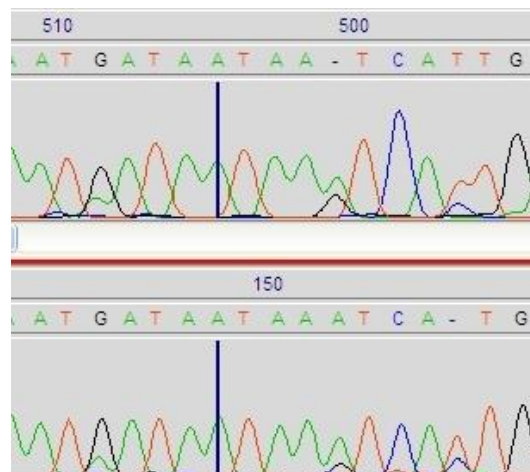
Kuva 17. *Rhizoctonia*-isolaattien keräyspaikat. Värikoodit ilmentävät tutkittujen isolaattien määrää kuntaa kohti. Eniten näytteitä kerättiin kunnista, joissa on runsaasti perunanviljelyä. Tähdellä (*) merkityistä paikoista (Viikki ja Hahkiala) oli runsaasti näytteitä, koska niissä tehtiin kenttäkokeita.

Seitti-isolaattien anastomoosiryhmät sekä sukulaisuus selvitettiin vertaamalla DNA-eristyksen, PCR-monistuksen ja suoran sekvenssoinnin jälkeen ribosomi-RNA:ta tuottavien geenien välisten ns. ITS-alueiden emäsjärjestystä. Sekvenssoitu alue käsitti kokonaisuudessaan ITS1- ja ITS2-alueet ja niiden välissä olevan 5.8S-geenin.

Sekvenssien fylogeneettisessä tarkastelussa ilmeni, että isolaateista peräti 497 oli läheisesti sukua verranteina käytettyjen anastomoosiryhmän 3 (AG-3) sekvenssien kanssa. Anastomoosiryhmät ovat *R. solani*-lajin sisällä geneettisesti erilaistuneita linjoja. Eri ryhmien isolaattien rihmat eivät kohdatessaan sulaudu toisiinsa. Jotkut ryhmät ovat erikoistuneet tiettyihin kasvilajeihin. AG-3 on erikoistunut koisokasvien heimoon, kuten perunaan ja tupakkaan. Tulokset osoittivat, että seitin aiheuttajana Suomessa on selkeämmin kuin useimmissa muissa maissa juuri AG-3. Muita anastomoosiryhmiä löydettiin vain kolme: kolme isolaattia AG-2-1:stä ja yksi isolaatti ryhmistä AG-4 ja AG-5. Lisäksi eristettiin yksi tuntematon kaksitumainen *Rhizoctonia*-laji.

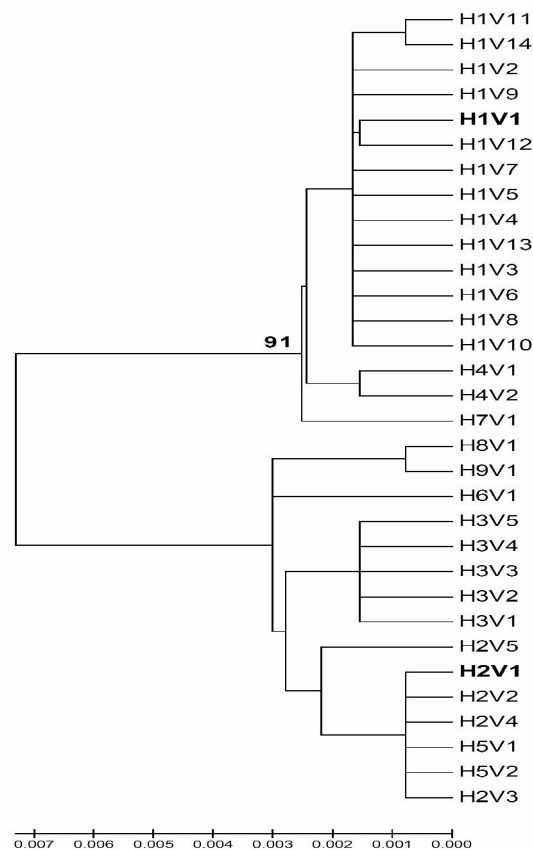
Fylogeneettiseen analyysiin otettiin kaikki geenipankkiin ilmoitetut sekvenssit. Maantieteellistä erilaistuneisuutta ei sekvenssien perusteella havaittu sen enempää suomalaisten isolaattien kesken kuin eri maista peräisin olevia sekvenssejä verrattaessa. Sekvenssoinnin antama tulos vielä varmistettiin tekemällä eri anastomoosiryhmien isolaateilla perinteinen anastomoosimääritys käyttäen verranteina Japanista saatuja AG-2-1:n AG-3:n, AG-4:n ja AG-5:n tyyppi-isolaatteja.

Sekvenssianalyysien yhteydessä havaittiin, että emäsvaihtelu keskittyi pelkästään tiettyihin kohtiin sekvenssiä: ITS1-alueella kymmeneen ja ITS2-alueella neljään nukleotidiin. Heterogeenisuus näissä kohdissa ei ollut pelkästään eri isolaattien välistä, vaan myös isolaatin sisäistä. Tämä ilmeni sekvenssikuviossa kahden eri emäksen aaltohuippuna samassa emäspaikassa, kun PCR-tuote sekvenssointiin suoraan, kloonamatta (Kuva 18). Enimmillään tällaista isolaatin sisäistä heterogeenisuutta oli kahdeksassa kaikista neljästätoista polymorfisesta paikasta. Yhden tällaisen isolaatin (201-3) PCR-tuotteiden kloonaus ja 47 kloonin sekvenssointi paljasti, että isolaatti sisälsi yhdeksän polymorfisissa emäspaikoissa toisistaan poikkeavaa ns. 'haplotyyppiä'. Lisäksi useimmista haplotyypeistä löytyi 1-4 mutatoitunutta emäspaikkaa, joita ei havaittu isolaatin suorasekvenssoinnissa.



Kuva 18. ITS-alueen heterogeenisuutta seitti-isolaatissa suorasekvenssointimenetelmän paljastamana. Kaksoishuippuja on havaittavissa molemmissa juosteissa samojen emästen kohdalla.

Haplotyypin variantit mukaan lukien isolaatissa 201-3 havaittiin 32 toisistaan poikkeavaa ITS-sekvenssiä. Ne asettuivat fylogeneettisessä puussa kahdeksi ryhmäksi, kahden yleisimmän tyyppiin, H1V1:n ja H2V1:n ympärille (Kuva 19). Tulokset paljastivat, että AG-3:n yksittäisen isolaatin ITS-alueet voivat olla aiemmin tiedettyä heterogeenisempiä, koostuen lukuisista toisistaan poikkeavista sekvensseistä, joiden joukossa kuitenkin kaksi päätyyppiä selvästi vallitsee.



Kuva 19. Isolaatin 201-3 ITS1-5.8S-ITS2 –alueen 32 variantin fylogeneettinen analyysi.

Kaikkiaan 497 suomalaisen AG-3 –isolaatin joukossa oli vain 72 isolaattia, joissa ei havaittu ITS-sekvenssin vaihtelua suorasekvenssoinnissa. Muissa 425 isolaatissa heterogeenisuus voitiin useimmiten (88.7 % isolaateista) rekonstruoida yhdistämällä parittain isolaateista löydettyjä yhdeksää pääsekvenssityyppiä. Laaja vaihtelu ITS1-5.8S-ITS2 –sekvenssissä saattaa liittyä AG-3:n monitumaisuuteen (heterokayottisuus). Isolaattien solujen tumamäärä vaihteli kolmesta kahteenkymmeneen yhteen.

Sekvenssejä tutkittiin myös aivan uudella tavalla, vertaamalla eri isolaattien ITS2-alueen sekundäärirakenteita. Lähtökohtana oli ajatus selvittää, onko vain tiettyihin kohtiin sekvenssiä keskittyvällä polymorfialla merkitystä sekundäärirakenteelle. Tohtori Matthias Wolf (Wurzburgin yliopisto, Saksa) tekemästä AG-3:n sekundäärirakennemallista kuitenkin ilmeni, että polymorfisten paikkojen sijainti sekvenssissä ei vaikuta sekundäärirakenteeseen. Sen sijaan ilmeni, että AG-3 omaa peräti kaksi nk. CBC:tä (compensatory base changes). CBC:ksi kutsutaan pariutuvassa osassa sekundäärirakennetta olevia kohtia, joissa kaksi nukleotidia on

mutatoitunut yhden sijaan, niin että juosteen pariutumisen on säilynyt (esim. C-G mutatoitunut A-U:ksi). Se, että AG-3:sta löytyi muista anastomoosiryhmistä poiketen peräti kaksi CBC-tä, viittaa siihen, että AG-3 on eriytynyt geneettisesti muista anastomoosiryhmistä niin paljon, että sitä tulisi pitää omana lajinaan.

ITS2-alueen sekundäärirakenteen tutkimisen yhteydessä myös ilmeni, että geenipankissa olevat AG-3 –sekvenssit oli annotoitu ITS2-alueen osalta väärin ja niihin sisältyi 27 nukleotidin verran ITS-2 –alueen jälkeen tulevan 28S-geenin sekvenssiä.

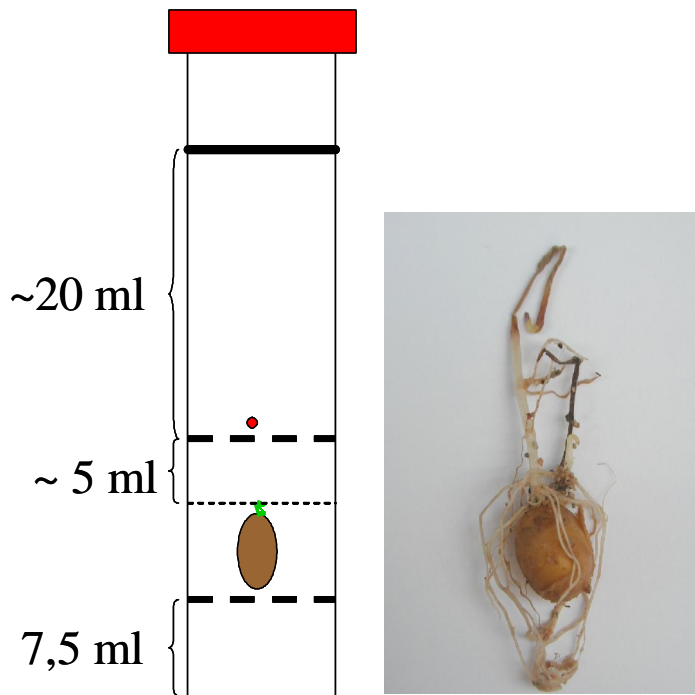
3.5. Seitti-isolaattien taudinaiheuttamiskyvyn voimakkuus

Kansainvälisissä tutkimuksissa on todettu, että seittisienikantojen kasvunopeus ja taudinaiheuttamiskyky voivat vaihdella suuresti. Tämän tutkimuksen tavoitteena oli kartoittaa suomalaisten seittikantojen vaihtelua kyvyssä aiheuttaa versolaikkua sekä oireiden ankaruudessa.

Perunan versolaikuista ja rihmastopahkoista eristettyjen sienikantojen (99 kpl) taudinaiheuttamiskyvyn voimakkuuden eli virulenssin vaihtelua seurattiin kasvihuoneelle perustetussa putkikokeessa talvella 2004-2005. Tutkittavat sienikannat valikoitiin kokeisiin eristysalueensa merkittävyyden ja perunanviljelyalan laajuuden mukaan siten, että tärkeimmiltä perunanviljelyalueilta testattiin eniten seittikantoja. Sienikannan annettiin tartuttaa minimukulasta (lajike Nicola) kehittyvää itua kontrolloiduissa oloissa. Isolaattien taudinaiheuttamiskyvyn voimakkuus arvioitiin matalaksi, keskinkertaiseksi tai korkeaksi riippuen kannan kyvystä tuhota perunan solukkoa ja aiheuttaa versolaikkuoireita. Tulosten perusteella kullekin kannalle laskettiin keskimääräinen virulenssiarvo (virulence value, VV) joka kertoo silmämääräisesti arvioidun keskimääräisen prosentuaalisen pinta-alan versosta jossa sienien aiheuttamat vauriot näkyivät kolmen koeviikon jälkeen.

Koetta varten valikoidut sienikannat kasvatettiin puhtasviljelmiksi keinotekoisella perunauutetta ja dekstroosia sisältävällä kasvatusalustalla. Nopeassa kasvuvaiheessa olevalle sienimaljalle levitettiin tasaiseksi kerrokseksi kahdesti kuumasteriloituja savikan (*Chenopodium quinoa*) siemeniä, joiden päälle sienien annettiin kasvaa kolmen päivän ajan. Sienikasvuston peittämät siemenet toimivat virulenssikokeessa standardoituna tartukkemääränä.

Taudinaiheuttamiskyvyn testaus suoritettiin 50 ml:n muoviputkissa, puhtaassa kosteassa hiekassa. Koejärjestelyssä idätetyt perunan minimukulat istutettiin putkiin tartukkeen kanssa ja perunoiden annettiin kasvaa valolta suojattuna 17°C:een lämpötilassa joka suosii varsolaikkuoireiden kehittymistä. Koe purettiin kolmen viikon kasvatuksen jälkeen, jolloin määritettiin versolaikkuvaurioiden peittämä ala kehittyneestä perunan versosta. Tulosten perusteella laskettiin kullekin sienikannalle keskimääräinen virulenssiarvo kymmenen testatun minimikulan keskiarvona. Kaavakuva kokeen perustuksesta ja havaituista versolaikkuoireista on esitetty kuvassa 20.



Kuva 20. Havainnekuva virulenssikokeen toteutuksesta sekä versolaikkuoireista.

Kokeessa testatuista sienikannoista 98 kuului perunalla versolaikkua aiheuttavaan *Rhizoctonia solani* -lajiin ja yksi oli tuntematon kaksitumainen *Rhizoctonia*-laji (kanta R92). Lähes kaikki (97 %) kokeessa käytetyt kannat kuuluivat *R. solani* -lajin anastomoosiryhmään 3 (AG-3) jonka tiedetään olevan pääasiallinen taudinaiheuttaja perunalla. Tämän lisäksi mukaan otettiin yksi AG-2-1 ja yksi AG-5 isolaatti, joista vain jälkimmäisen todettiin aiheuttavan lieviä tautioireita. Tautioireita aiheuttavien sienikantojen virulenssiarvot vaihtelivat 1.6:sta 59.2:een.

Kaksikymmentäkaksi sienikantaa aiheutti lievää versolaikkua aiheuttaviin (VV 1.6 - 24). Tähän ryhmään kuului myös AG-5:n edustaja. Yhdentoista isolaatin todettiin aiheuttavan vakavia versolaikkuoireita (VV 50 - 59.2). Ne kykenivät tuhoamaan yli puolet idusta. Ryhmän AG-2-1 isolaatti ei aiheuttanut versolaikkua, mutta kaksitumainen isolaatti R92 pystyi aiheuttamaan lievää versolaikkua (VV 1.7) (Taulukko 14).

Taulukko 14. Testatut *Rhizoctonia*-kannat, niiden keskimääräinen virulenssi sekä jako anastomoosiryhmiin.

Kanta	Virulenssi % (VV)	Anastomoosiryhmä	Kanta	Virulenssi % (VV)	Anastomoosiryhmä
25	0,0	AG-2.1	63	34,4	AG-3
15	1,6	AG-3	113	34,4	AG-3
91	1,7	AG-3	117	34,7	AG-3
92*	1,7	BN*	84	34,8	AG-3
30	1,9	AG-3	127	34,9	AG-3
14	4,4	AG-3	118	35,4	AG-3
20	6,9	AG-3	119	35,7	AG-3
40	6,9	AG-3	86	36,2	AG-3
114	8,0	AG-3	106	36,6	AG-3
23	11,9	AG-3	120	37,0	AG-3
96	12,3	AG-5	2	37,0	AG-3
46	14,0	AG-3	43	38,1	AG-3
29	14,3	AG-3	99	38,3	AG-3
112	14,8	AG-3	111	38,9	AG-3
19	15,7	AG-3	66	39,2	AG-3
59	16,2	AG-3	3	39,3	AG-3
4	17,6	AG-3	105	39,6	AG-3
55	19,3	AG-3	28	40,1	AG-3
60	21,9	AG-3	13	40,8	AG-3
72	22,0	AG-3	98	41,2	AG-3
81	22,4	AG-3	104	41,4	AG-3
58	24,3	AG-3	7	41,6	AG-3
65	25,3	AG-3	6	41,7	AG-3
1	26,8	AG-3	54	41,9	AG-3
100	27,5	AG-3	94	42,5	AG-3
49	27,7	AG-3	53	42,5	AG-3
123	27,9	AG-3	67	42,7	AG-3
10	28,3	AG-3	50	42,9	AG-3
71	28,9	AG-3	41	44,4	AG-3
18	29,1	AG-3	82	44,4	AG-3
102	29,5	AG-3	83	44,6	AG-3
17	29,6	AG-3	42	45,0	AG-3
16	30,0	AG-3	78	45,2	AG-3
64	30,3	AG-3	101	45,5	AG-3
126	30,4	AG-3	45	46,4	AG-3
90	30,7	AG-3	31	47,3	AG-3
95	30,7	AG-3	75	48,5	AG-3
24	31,1	AG-3	62	49,1	AG-3
26	31,5	AG-3	22	49,2	AG-3
103	32,8	AG-3	56	51,1	AG-3
93	32,9	AG-3	11	52,2	AG-3
109	33,0	AG-3	27	52,5	AG-3
108	33,3	AG-3	85	52,8	AG-3
70	33,4	AG-3	80	52,9	AG-3
116	33,5	AG-3	12	53,2	AG-3
8	33,5	AG-3	21	55,2	AG-3
121	33,7	AG-3	89	55,2	AG-3
9	33,7	AG-3	87	57,5	AG-3
88	34,1	AG-3	97	57,5	AG-3
			5	59,2	AG-3

* Kaksitumainen *Rhizoctonia* sp.

Tulokset osoittavat suomalaisten seittikantojen laajan taudinaiheuttamiskyvyn vaihtelun. Suomen oloissa versolaikkua aiheuttaa pääasiallisesti *Rhizoctonia solani* -lajin anastomoosiryhmä 3 (AG-3), joskin muutkin, harvinaiset anastomoosiryhmät sekä kaksitumaiset *Rhizoctonia* sp. -lajit voivat aiheuttaa oireita. Toteutetussa kokeessa tutkittiin sienikantojen taudinaiheuttamiskykyä olosuhteissa, joissa muuta, normaaleissa peltokasvatusoloissa tapahtuvaa kilpailua ja fysikaalisten olojen vaihtelua (esim. maan mikrobit, kosteus- ja lämpöolojen vaihtelut) ei tapahdu. Kokeen tulokset antavat siten kuvan kyseisen sieni-isolaatin virulenttisuudesta oloissa, jotka ovat edulliset tartunnalle sekä taudinoinen kehittymiselle. Todellista taudinaiheuttamiskykyä selvitettyä tässä esitettyjä tuloksia on peilattava kantojen kasvunopeuksiin sekä torjunta-aineiden sietokykyyn, joka itsessään on merkki sienin kilpailukykyyn voimakkuudesta pelto-oloissa. Raportissa esitettyjä kokeita varten

eristettiin sieni-isolaatteja perunan versoissa havaituista versolaikkuoireista sekä satomukuloiden pinnoilla olevista rihmastopahkoista, sklerootioista . Virulenssikokeen tulosten perusteella sienikannan eristyspaikka ei vaikuta virulenssin voimakkuuteen vaan kummassakin ryhmässä (versolaikku, rihmastopahka) esiintyy sekä heikosti että voimakkaasti versolaikkua aiheuttavia kantoja.

3.6. Seitti-isolaattien torjunta-ainekestävyys ja kasvunopeus

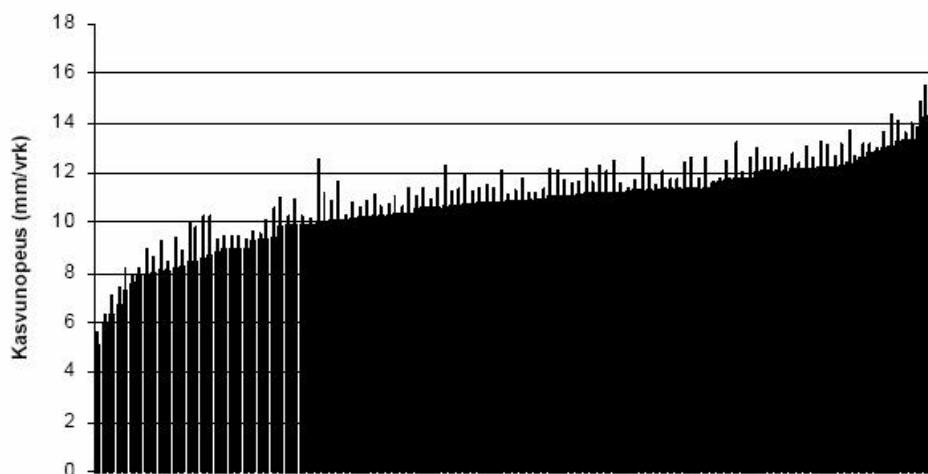
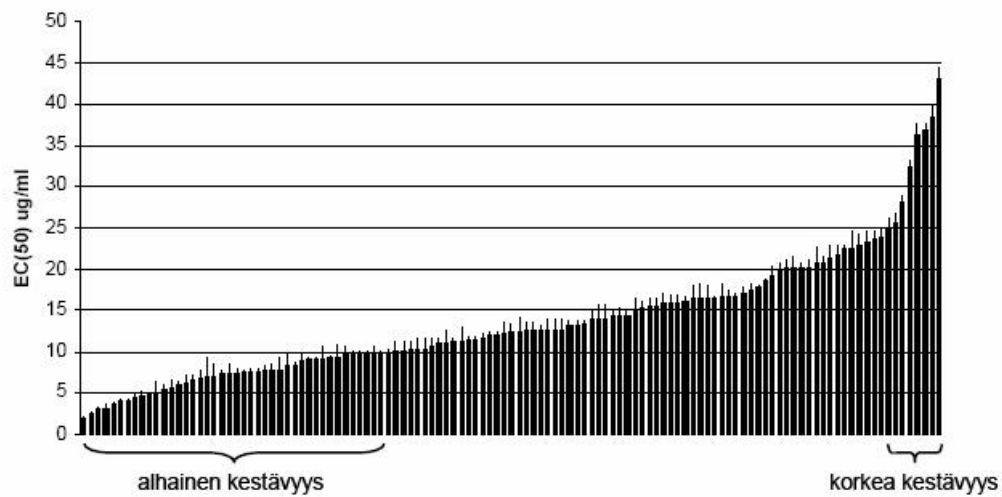
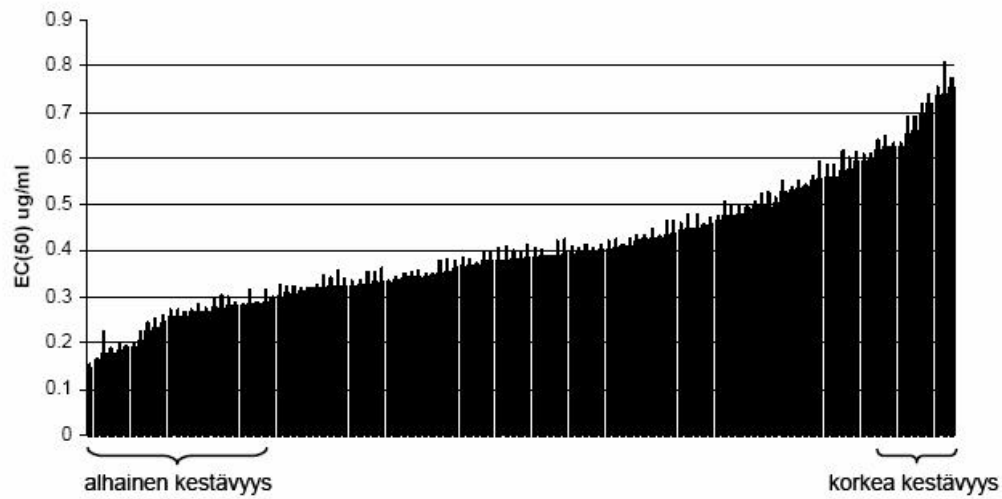
Eri puolilta Suomea kerättyjen seitti-isolaattien (119 kpl) eroja torjunta-ainekestävyydessä sekä kasvunopeudessa keinoalustalla tutkittiin käyttäen kahta eri torjunta-ainetta, flutolaniilia (Moncut 40SC) ja mankotsebia (Dithane NT) (Berner Oy). Kumpikin valmiste on hyväksytty käytettäväksi siemenperunan peittaukseen, mutta mankotsebia käytetään melko harvoin.

Testaus tehtiin maljakokeena keinoalustalla (perunadekstroosiagar, PDA), joka autoklavoitiin, jäädytettiin ja johon lisättiin torjunta-ainetta eri konsentraatioina: 12.5, 25.0, 50.0, 75.0 tai 100.0 µg mankotsebia (active ingredient, a.i.), tai 0.1, 0.5, 1.0, 3.0 tai 5.0 µg a.i. flutolaniilia / ml kasvatusalustaa. PDA, johon torjunta-aine oli lisätty, kaadettiin Petrimaljoille (Ø 90 mm, 20 ml per malja) ja annettiin jähmettyä. Jokaisen Petrimaljan reunaan siirrostettiin 4 vrk ikäinen, Ø 7 mm:n kokoinen pala *R. solani*-isolaatin kolonisoimaa PDA:ta. Maljat suljettiin Parafilmillä ja inkuboitiin pimeässä +20°C:ssa. Kerranteita oli kolme. Sienirihmaston kasvu mitattiin kahta, toisiinsa 50° kulmassa olevaa suoraa linjaa pitkin 3, 4, 5, 6, 7 ja 10 vrk kokeen perustamisen jälkeen. Sienirihmaston kasvua (mm) 7 vrk kokeen perustamisen jälkeen käytettiin laskettaessa jokaiselle seitti-isolaatille EC₅₀-arvo (*effective concentration*), ts. torjunta-ainekonsentraatio, jossa kasvu oli vähentynyt 50 %:iin kontrollimaljan kasvusta. EC₅₀-arvot laskettiin pitoisuusvastekäyrää ja epälineaarista regressiota käyttäen GENSTAT-tilasto-ohjelmalla (VSN International Ltd). Sienirihmaston kasvunopeus (mm per vrk) laskettiin eri mittauspäivien kasvunopeuden keskiarvosta.

R. solanin isolaatit olivat herkempiä flutolaniilille kuin mankotsebile. Flutolaniilin osalta isolaattien EC₅₀-arvo vaihteli 0.14 – 0.75 µg a.i. / ml välillä (Kuva 21). Flutolaniilille herkimpien 25 isolaatin EC₅₀-arvo oli alle 0.30 µg, kun toisaalta flutolaniilille kestävimpien 11 isolaatin EC₅₀-arvo oli 0.61 – 0,75 µg. Loput 83 isolaattia vaihtelivat EC₅₀-arvoiltaan 0.30 ja 0.60 µg välillä. Kaksitumaisen *Rhizoctonian* (isolaatti R92) EC₅₀-arvo oli 0.28 µg, *R. solanin* AG-2-1-isolaatin EC₅₀-arvo oli 0.31 µg ja AG-5-isolaatin EC₅₀-arvo oli 0.24 µg.

Isolaattien välillä oli enemmän vaihtelua mankotsebin kuin flutolaniilin kestävyudessa. Mankotsebin osalta EC₅₀-arvot vaihtelivat välillä 1.8 ja 431 µg a.i. / ml (Kuva 21). Herkimpien 42 isolaatin EC₅₀-arvo oli alle 10 µg. Kestävimpien kahdeksan isolaatin EC₅₀-arvo oli 25.1-43.1 µg. Kaksitumaisen *Rhizoctonian* (isolaatti R92) EC₅₀-arvo oli 16.6 µg, AG-2-1-isolaatin EC₅₀-arvo oli 14.1 µg ja AG-5-isolaatin EC₅₀-arvo oli 7.4 µg.

Vain kahdella AG-3:een kuuluvalla isolaatilla oli korkea sietokyky (korkea EC₅₀-arvo) molemmille testatuille torjunta-aineille. Kymmenen AG-3 isolaattia ja kokeisiin otettu AG-5-isolaatti olivat puolestaan herkkiä molemmille torjunta-aineille. Kestävyys kahdelle testatulle peittausaineelle ei osoittanut korrelaatiota (Spearmanin korrelaatiokerroin $r_s = 0,133$, $p = 0,148$). Lisäksi seittirupipahkoista eristetyt isolaatit olivat herkkiä tai keskinkertaisen kestäviä torjunta-aineille.



Kuva 21. Suomesta eristettyjen seitti-isolaattien kestävyys flutolaniilille (ylin kaavio), mankotsebille (keskimmäinen kaavio) sekä kasvunopeus (alin kaavio). Ohuimmat viivat pylvaiden päissä kuvaavat isolaattikohtaista keskihajontaa.

Isolaattien kasvunopeus vaihteli 5.1 mm:stä 14.8 mm:iin vuorokaudessa. Suurin osa isolaateista kasvoi 10.0-14.8 mm / vrk, mutta 31:n isolaatin kasvunopeus oli alle 10 mm per vrk (Kuva 21). AG-5-isolaatin kasvunopeus oli yksi korkeimmista, 14.3 mm / vrk. Kasvunopeus ei korreloinut kummankaan torjunta-aineen kestävyuden (EC_{50} -arvojen) eikä virulenssin voimakkuuden kanssa. Eri kasvinosista tai seittirupipahkoista eristettyjen isolaattien välillä ei ollut eroa kasvunopeudessa. Kolme AG-3:een kuuluvaa isolaattia kasvoi hitaasti ja osoitti heikkoa virulenssia. Ainoastaan yhdellä isolaatilla oli korkea kasvunopeus ja virulenssi (kasvunopeus 13.3 mm / vrk ja VV = 55.2). Yhdellä korkean kasvunopeuden omaavalla isolaatilla oli korkea toleranssi mankotsebille ja toisella isolaatilla flutolaniilille. Kaksi isolaattia kasvoi nopeasti ja sieti molempia torjunta-aineita. Kuitenkaan millään näistä isolaateista ei ollut korkeaa virulenssia.

Kemiallisten torjunta-aineiden käyttö siemenperunan peittauksessa tai perunaa varastoitaessa voi vaikuttaa siettisien populaatorakenteeseen. Useissa aikaisemmissa tutkimuksissa on todettu eroja torjunta-ainekestävyydessä joko saman anastomoosiryhmän isolaattien välillä tai eri anastomoosiryhmien kesken, mistä voi olla seurauksena torjunta-ainetta kestävien seittikantojen kehittyminen pelto-olosuhteissa. Ennen tätä tutkimusta seittisien torjunta-ainekestävyyttä ei ollut tutkittu Suomessa ja muuallakin vain melko suppealla määrällä AG-3-isolaatteja. Suomessa perunaseitin kemiallinen torjunta on lähinnä rajoittunut siemenperunan peittaukseen flutolaniililla, mutta myös mankotsebin käyttö peittauksessa on sallittua. Suomalaisten seitti-isolaattien EC_{50} -arvo flutolaniilille (0.14 – 0.75 μg a.i. / ml) on samaa luokkaa kuin esim. Ranskassa tutkittujen AG-2-1, AG-3 ja AG-5 isolaattien EC_{50} -arvot: 0.05 – 0.5 μg / ml. Suomalaisten seitti-isolaattien EC_{50} -arvot mankotsebille noudattelevat muissa maissa saatuja lukemia.

Molemmat torjunta-aineet vaikuttivat tehokkaasti suomalaisiin seitti-isolaatteihin. Suomessa torjunta-aineiden valmistajien nykyiset ainemääräsuositukset siemenperunan peittaukseen ovat flutolaniilille 673.5 μg a.i. / ml ja mankotsebille 5000 – 7500 μg a.i. / ml. Havaitut EC_{50} -arvot ovat näitä huomattavasti matalampia. Tulokset osoittavat, että Suomessa ei ole vielä kehittynyt peittausaineita kestäviä seitti-isolaatteja. Flutolaniilin ja mankotsebin EC_{50} -arvojen välillä ei havaittu korrelaatiota, mihin lienee syynä aineiden erilainen vaikutusmekanismi. Flutolaniili estää seittisien rihman kasvua, kun taas mankotsebi estää infektiorakenteiden muodostumista. Tässä tutkimuksessa löytyi vain kaksi seitti-isolaattia, joilla oli korkea kestävyys molemmille torjunta-aineille. Tämä voi osaltaan johtua siitä, että mankotsebiä käytetään suhteellisen vähän peittauksessa perunaseittiä vastaan.

Seitti-isolaattien virulenssin voimakkuuden ja torjunta-aineiden EC_{50} -arvojen välillä ei havaittu korrelaatiota. Tutkimuksessa ei myöskään löydetty seitti-isolaatteja, joilla olisi ollut yhtäaikaisesti korkea virulenssi, korkea torjunta-ainekestävyys ja korkea kasvunopeus. Muissa tutkimuksissa torjunta-ainetta kestäville isolaateille on usein todettu esim. hidaskasvuisuutta ja/tai vähäistä virulenssia sekä rihmastopahkojen puuttumista. Havaitut erot torjunta-ainekestävyydessä eri isolaattien kesken osoittavat kuitenkin, että pelto-olosuhteissa voi kehittyä torjunta-aineita kestäviä isolaatteja, varsinkin jos samaa torjunta-ainetta käytetään jatkuvasti. Usean eri torjunta-aineen vuorotteleva käyttö vähentää tätä uhkaa ja tätä käytäntöä tulisi suosia.

4. TULOSTEN ARVIOINTI

4.1. Tulosten merkitys

Perunaseitin, versolaikun ja seittiruven aiheuttajaa, *Rhizoctonia solani*-sientä, on tutkittu Suomessa aiemmin vain vähäisessä määrin. Seitin taudinkulku kasvukaudella sekä seitin aiheuttamat oireet ovat olleet vain osittain tiedossa. Torjunnan ohjeistus on perustunut ulkomaisiin tutkimuksiin, koska kotimaisia tutkimuksia ei ole ollut käytettävissä. Seittisieni onkin muodostunut ongelmaksi kaikilla perunantuotannon osa-alueilla.

Tämän tutkimuksen tulokset ovat ensimmäistä kertaa luoneet kokonaisvaltaisen kuvan perunaiseitistä ja sen aiheuttajasta Suomen oloissa. Tutkimus tuotti tieteelliseltä ja kansainväliseltäkin kannalta katsoen monia uusia tietoja seittisienestä, sen aiheuttamista oireista sekä torjunnasta. Nämä tulokset julkaistaan tieteellisissä sarjoissa. Lähetetyt ja tekeillä olevat käsikirjoitukset on lueteltu tämän raportin 6. kappaleessa. Niissä keskustellaan tässä raportissa selostetut tulokset aiempiin tieteellisiin tuloksiin peilaten.

Merkittävimmän tuloksen perunantuotannon kannalta muodostavat kuitenkin tarkennetut seintorjuntaohjeet, jotka laadittiin hankkeen tulosten perusteella, suomeksi ja ruotsiksi (Liitteet 1 ja 2). Ruotsinkielisillä ohjeilla lienee laajempaakin käyttöä Pohjoismaissa. Tuloksista on tiedotettu aktiivisesti mm. 12 ammattilehtikirjoituksessa ja 40 neuvonnallisessa, viljelijöille ja muille alan ammattilaisille suunnatussa esitelmässä.

4.2. Keskeisimpien tulosten yhteenveto

Siementartunnalla oli selvästi maatartuntaa suurempi vaikutus seitinoireiden määrään pelto-oloissa, joissa kummatkin tartuntalähteet olivat läsnä. Seittiruvetonta siementä käyttäen vältettiin taudinoireet kasvukaudella sekä seittiruven muodostuminen satoon. Toisaalta, pienikin määrä seittirupea siemenmukuloissa aiheutti versolaikkua sekä seittiruven kehittymisen satoon.

Yksi tutkimuksen keskeisistä tavoitteista oli selvittää, voiko siemenen idättämisellä vähentää seitin määrää ja epäedullista vaikutusta perunan kehitykseen. Pintaantulonopeuteen idätyksellä ei kuitenkaan ollut odotettua, seitin vaikutusta vähentävää vaikutusta.

Seittirupinen siemen hidasti perunan pintaantuloa 2-3 päivää terveeseen verrattuna. Hidastuminen johtui seitin aiheuttamista ituvaurioista, varsinkin idun kärkien kuolemista, mikä saattoi toistua useaan kertaan jo ennen perunan pintaantuloa. Itujen vaurioituminen vähensi varsilukua, mutta saattoi myös lisätä sitä joskus itujen voimakkaan haaroittumisen seurauksena. Sen sijaan varsiston massa oli vähäisin seittisessä kasvustossa, varsinkin kasvukauden alkupuolella. Maavarsien lukumäärä ja paino sekä mukuloiden määrä ja sato vähenivät seitin seurauksena.

Peruna reagoi seittiin voimakkaasti kaikilla ennestään hyvin tunnetuilla tavoilla. Voimakkaasti seittirupista siementä käytettäessä vähenivät varsiluku (22 %), mukuloiden määrä (29 %), sadon määrä (30 %) sekä tärkkelyspitoisuus (0.9 %). Toisaalta kasvoi vihertyneiden (3.4 %) ja epämuotoisten (11.3 %) mukuloiden osuus. Aineiston laajuuden ansiosta nämä lukemat kuvannevat luotettavasti seitin keskimääräistä vaikutusta kasvuoloissamme.

Tutkimuksessa havaittiin myös uusia, aiemmin raportoimattomia seitin haittavaikutuksia. Mukulan itupäähän syntyi kuoppia (lisäys 20.7 %) ja mukuloiden pintaan juovaisuutta (lisäys 10.7 %). Lisäksi Van Goghilla onttojen ja keskeltä ruskeiden mukuloiden määrää kasvoi selvästi (lisäys 10.8 %).

Tutkimuksemme oli tiettävästi ensimmäinen, jossa selvitettiin seittisyyden vaikutuksia sadon keittolaatuun. Siemenen seittirupisuus ja sen aiheuttama seittisyyden kasvu lisäsivät selvästi keitetyn perunan mallon vetisyyttä, mikä selittyy tärkkelyspitoisuuden vähentymisellä. Lisäksi mallon värin epätasaisuus lisääntyi. Seittisyys ei sen sijaan vaikuttanut merkittävästi keittoaikaan, makuun, keittotummumiseen, mallon hajoavuuteen tai pehmeyteen taikka keitetyn perunan värin kypsytyteen ja yleiseen ulkonäköön. Seitti ei myöskään vaikuttanut sadon glykoalkaloidipitoisuuteen.

Varsiston hävityksen vaikutusta seittiruven muodostumiseen tutkittiin Reglon- ja Spotlight Plus-valmisteilla tehtyjen varsistonhävitysten jälkeen. Varsistonhävityshetkellä seittirupea ei esiintynyt, mutta jo 10 vrk varsistonhävityksen jälkeen seittisiin kasveihin alkoi muodostua seittirupea. Terveellä siemenellä tuotettuun satoon ei seittirupea muodostunut. Kun varsistonhävitystä ei tehty, seittirupisellakin siemenellä tuotettu sato välttyi lähes kokonaan seittiruvelta. Siemenen idättäminen lisäsi hieman sadon seittirupisuutta idättämättömään verrattuna, luultavasti nopeuttamalla hieman seittiruven muodostuksen laukaisevaa tuleentumista.

Tutkimuksessa tehtiin havaintoja luonnollisista, seitin vaikutuksia rajoittavista tekijöistä. Vanhaan perunamaahan, jossa oli harjoitettu monokulttuuria, vaikutti muodostuvan jokin seitin kehitystä jarruttava tekijä. Tällaista estovaikutusta ei havaittu maassa, jossa ei ollut aiemmin viljelty perunaa (luomutuotantojärjestelmä). Estovaikutus havaittiin minimukuloista kasvavien itujen versolaikkuisuuden vähentymisenä, seittisien vähäisempänä vaikutuksena itujen pituuskasvuun sekä sadon vähäisempänä seittirupisuutena.

Tutkimuksessa arvioitiin biologisen torjunnan (antagonismin) kykyä ehkäistä seitin maatartuntaa. Siemenperunan pinnassa seittirupena oleva tartuke voidaan torjua tehokkaasti peittauksella, mutta maassa piilevään tartukkeeseen ei ole kemiallista torjuntaa. Antagonistina käytettiin *Trichoderma harzianum* – sientä. Sen vaikutuksesta versolaikku väheni, samoin kuin sadon seittirupisuus ja pienien, vihertyneiden ja epämuotoisten mukuloiden osuus. Nämä antagonistin edulliset vaikutukset havaittiin kasvihuonekokeissa. Tutkimus oli ensimmäinen, jossa *T. harzianumin* on todettu vaikuttavan positiivisesti mukuloiden kokojakaumaan seittitartunnan saaneissa perunoissa. Biotorjunnan vaikutus muodostuvan mukulasadon määrään ja laatuun voi siis olla merkittävä.

Pelto-oloissa biotorjuntavalmisteet Trianum-G, Mycostop ja Prestop eivät pystyneet merkittävästi torjumaan perunaseittiä. Sen sijaan siemenen Moncut-peittauksen ja Trianum-G – valmisteen lisääminen istutusvakoon lievensivät yhdessä käytettyinä versolaikun ankaruutta kasvukauden alussa. Myös sadon seittirupisuus väheni hieman. Kemiallinen peittaus voi olla tarpeen seitintorjunnan tehostamiseksi siemenperunan välittömässä läheisyydessä kasvukauden alussa, jolloin viileä maa saattaa rajoittaa antagonistin kasvua ja tehoa.

Siemenperunan Moncut-peittaus vähensi versolaikun ankaruutta, mutta seittirupea esiintyi eniten ja se oli ankaruudeltaan voimakkainta Moncut-peitatuissa koeruuduissa. Tulos osoittaa, että kemiallinen peittaus ei torju tehokkaasti maasta lähtöisin olevaa seittiä.

Toisaalta on huomattava, että biotorjuntavalmisteet aiheuttivat mahdollisesti haittaa perunan kasvulle. Tämä ilmeni alentuneina verso- ja mukulapainoina tai mukulalukumäärinä. Lisätutkimukset ovat tarpeen biotorjuntavalmisteen määrän optimoimiseksi.

Biotorjuntakokeiden yhteydessä havaittiin, että seitin maatartunta vähensi sekin satoa huomattavasti, vaikka sementartunnan merkitys oli sitä suurempi. Myös sadon laatu heikkeni maatartunnan seurauksena. Mukuloiden epämuotoisuus, vihertyneisyys ja seittirupisuus lisääntyivät. Tosin biotorjuntakokeissa käytetty tartukemäärä oli varsin suuri, joten yhtä mittavat maatartukkeen aiheuttamat vioitukset eivät liene todennäköisiä normaaleissa viljelyoloissa, mihin muiden kenttäkokeidenkin tulokset viittasivat.

Tässä hankkeessa eristettiin ja tutkittiin kaikkiaan 503 *Rhizoctonia*-isolaattia eri puolilta Suomea yhteensä 281 perunapelloilta, 53 manner-Suomen kunnasta sekä Ahvenanmaalta. Eristykset tehtiin tyypillisistä seitin oireista, kuten versolaikusta (245 isolaattia), maavarsilaikuista (7) ja juurilaikuista (12) sekä sienien itiöemistä (17), sienirihmasta (6) ja seittiruvesta mukuloissa (215) tai juurissa (1). Näytteitä oli 31 lajikkeesta, joista yleisimmät olivat Van Gogh (36 %), Nicola (9 %), Fambo (8 %), Saturna (6 %) ja Idole (5 %).

Ribosomaalisten geenien välialueiden sekvenssoinnilla ja sekvenssien fylogeneettisellä tarkastelulla määritettiin eristettyjen isolaattien sukulaisuussuhteet. Lähes kaikki isolaatit voitiin määrittää perunaan erikoistuneeseen ns. anastomoosiryhmään AG-3. Niiden kesken ei havaittu merkittäviä eroja tai geneettisiä rotuja. Tulosten perusteella AG-3 on perunaseitin aiheuttajana Suomessa vieläkin yleisempi kuin useimmissa muissa maissa. Muita anastomoosiryhmiä löydettiin vain kolme: kolme AG-2-1-ryhmän isolaattia sekä yksi isolaatti ryhmistä AG-4 ja AG-5. Lisäksi eristettiin yksi tuntematon kaksitumainen *Rhizoctonia*-laji.

AG-3-isolaatit havaittiin varsin heterogeenisiksi ITS-sekvenssiensä perusteella. Kaikkiaan 497 suomalaisen AG-3 –isolaatin joukossa oli vain 72 isolaattia, joissa ei havaittu isolaatin sisäistä ITS-sekvenssin vaihtelua. Muissa 425 isolaatissa ITS-alueen heterogeenisuus voitiin useimmiten (88.7 % isolaateista) rekonstruoida yhdistämällä parittain eri isolaateista löydettyjä yhdeksää ITS-sekvenssityyppiä. Laaja geneettinen vaihtelu saattaa liittyä AG-3:n monitumaisuuteen (heterokayottisuus). Tumien lukumäärä rihmojen soluissa vaihteli kolmesta kahteenkymmeneen yhteen.

ITS-sekvenssejä tutkittiin myös aivan uudella tavalla, vertaamalla niiden ennustettuja sekundäärirakenteita yhteistyössä Würzburgin yliopiston kanssa. Analyysi paljasti, että AG-3:sta löytyi peräti kaksi harvinaista, sekundäärirakenteen ylläpitoon tarvittavaa nukleotidiero muihin anastomoosiryhmiin verrattuna. Tulos viittaa siihen, että AG-3 on eriytynyt geneettisesti muista anastomoosiryhmistä niin paljon, että sitä tulisi pitää omana lajinaan.

ITS2-alueen sekundäärirakenteen tutkimisen yhteydessä myös ilmeni, että geenipankissa olevat AG-3 –sekvenssit oli annotoitu ITS2-alueen osalta väärin ja niihin sisältyi 27 nukleotidin verran ITS-2 –alueen jälkeen tulevan 28S-geenin sekvenssiä.

Eristetyistä AG-3-kannoista otettiin 99 kpl tutkimuksiin, joissa selvitettiin versolaikun aiheuttamiskyvyn vaihtelua suomalaisten seitti-isolaattien keskuudessa. Tulokset osoittivat taudinaiheuttamiskyvyn laajaa vaihtelua kontrolloiduissa oloissa, jotka ovat edulliset tartunnalle sekä taudinoinereiden kehittymiselle. Tutkitut sieni-isolaatit oli eristetty versolaikkuoireista tai rihmastopahkoista, mutta tällä ei ollut vaikutusta taudinaiheuttamiskyvyn voimakkuuteen (virulenssiin).

Ennen tätä tutkimusta seittisien torjunta-ainekestävyyttä ei ollut tutkittu Suomessa. Muuallakin tutkimuksia on tehty vain melko suppealla määrällä AG-3-isolaatteja. Suomessa perunaseitin kemiallinen torjunta on lähinnä rajoittunut siemenperunan peittaukseen flutolaniililla, mutta myös mankotsebin käyttö peittauksessa on sallittua. Näiden kahden torjunta-aineen vaikutusta suomalaisten seitti-isolaattien kasvuun tutkittiin keinokasvatusalustalla. Valmisteen tehoaineen pitoisuus (EC_{50} -arvo), joka vähensi kasvun puoleen verrattuna ilman torjunta-ainetta kasvatettuun kontrolliin, oli flutolaniilille 0.14 – 0.75 $\mu\text{g} / \text{ml}$ ja mankotsebille 1.8 - 431 $\mu\text{g} / \text{ml}$. Nämä arvot noudattelevat muissa maissa saatuja lukemia. Molemmat torjunta-aineet vaikuttivat siten tehokkaasti suomalaisiin seitti-isolaatteihin. Havaitut EC_{50} -arvot olivat huomattavasti suositeltuja käyttöpitoisuuksia matalampia. Suomessa ei siten näytä vielä olevan peittausaineita kestäviä seitti-isolaatteja.

Tutkimuksessa löytyi vain kaksi seitti-isolaattia, joilla oli korkea kestävyys molemmille torjunta-aineille. Tämä voi osaltaan johtua siitä, että mankotsebiä käytetään suhteellisen vähän peittauksessa perunaseittiä vastaan. Seitti-isolaattien virulenssin voimakkuuden ja torjunta-aineiden EC_{50} -arvojen välillä ei myöskään havaittu korrelaatiota. Kokeissa ei löydetty ainoatakaan seitti-isolaattia, joilla olisi ollut yhtäaikaista korkea virulenssi, korkea torjunta-ainekestävyys ja korkea kasvunopeus. Havaitut erot torjunta-ainekestävyydessä eri isolaattien kesken osoittavat kuitenkin, että pelto-olosuhteissa voi kehittyä torjunta-aineita kestäviä isolaatteja, varsinkin jos samaa torjunta-ainetta käytetään jatkuvasti. Usean eri torjunta-aineen vuorottelevaa käyttöä tulisi siten suosia.

5. TIIVISTELMÄ

Hankkeen nimi:	Perunaseitin etiologia ja tehostettu torjunta <i>Etiology and improved control of potato black scurf</i>		
Hankkeen Dnro	3326/501/2002		
Vastuuorganisaatio	Helsingin yliopisto / Jari Valkonen Soveltavan biologian laitos Kasvopatologian laboratorio, PL 27 00014 Helsingin yliopisto puh. 09-1911 fax. 09-19158727		
Kesto	2003 – 2005 (Loppuraportti 31.10. 2006)		
Rahoitus	Kokonaiskustannukset	541,000 euroa	
	MMM:ltä saatu kokonaisrahoitus	239,000 euroa	
	Tutkimuslaitoksen oma rahoitus		110,000 euroa
	Muista julkisista lähteistä saatu rahoitus	12,000 euroa	
	Muu rahoitus	180,000 euroa	
Avainsanat	Perunaseitti, versolaikku, seittirupi, <i>Rhizoctonia solani</i> , peruna, kasvinsuojelu, torjuntaohjeet, biologinen torjunta, viljelytekniikka		

TAVOITTEET

Perunaseitin aiheuttamat haitat on tunnettu huonosti Suomessa. Seitin aiheuttajaa (*Rhizoctonia solani*-sientä) ja sen rotuja ei ole tarkemmin tutkittu. Seittisieni leviää rihmastopahkoina (seittirupena) siemenperunan pinnalla ja säilyy rihmastopahkoina myös maassa. Se vioittaa perunakasvia ja vähentää satoa. Sen aiheuttamat laatuviat mukuloissa ovat varsin haitallisia. Viileät kasvuolosuhteet suosivat seittiä maassamme. Se on yleistynyt viime vuosina, ja sitä pidetäänkin nyt yhtenä pahimmista tautiongelmista kaikilla perunantuotannon osa-alueilla.

Tämän hankkeen tavoitteena oli luoda vankka asiantuntemusperusta perunaseitin taudinkulusta ja tehostaa sen pohjalta seitintorjuntaa. Tutkimustyössä tavoitteena oli yhdistää tieteellinen asiantuntemus kasvi/mikrobi -vuorovaikutuksista asiantuntemukseen perunan viljelystä ja käytöstä, sekä kytkeä koejärjestelyissä laboratorio- ja kenttätutkimus vuorovaikutteisesti. Lisäksi tutkimuksessa käytettiin useita uusia tutkimusmenetelmiä, tai sovellettiin moderneja menetelmiä uudella tavalla. Tavoitteena oli saattaa uusi tieto viljelijöiden, neuvojien ja hallinnon käyttöön jo tutkimuksen edetessä sekä saada heiltä jatkuvasti palautetta tutkimuksen ohjaamiseksi. Tähän tavoitteeseen pääsemiseksi hankkeen kokouksiin kutsuttiin edustajia laajasti peruna-alan ja neuvonnan sektoreilta sekä osallistuttiin viljelijöiden koulutustilaisuuksiin.

TULOKSET

Siementartunnalla oli selvästi maata suurempi vaikutus seitinoireiden määrään. Seittiruvetonta siementä käyttäen vältettiin taudinoireet kasvukaudella sekä seittiruven muodostuminen satoon. Toisaalta, pienikin määrä seittirupea siemenmukuloissa aiheutti versolaikkua sekä seittiruven kehittymisen satoon. Siemenen idätyksellä ei voitu vähentää seitin haittavaikutusta.

Seittirupinen siemen hidasti perunan pintaantuloa. Se johtui seitin aiheuttamista ituvaurioista, varsinkin idun kärkien kuolemista. Ituvaurioiden seurauksena varsiluku yleensä väheni. Varsiston kokonaismassa jäi varsinkin kasvukauden alkupuolella vähäisemmäksi seittisessä kasvustossa. Sadon väheneminen johtui pääasiassa kasvun heikkenemisestä, kun taas laatuvauriot liittyivät maavarsien ja pienten mukuloiden viottumiseen.

Seitin aiheuttamiin oireisiin lukeutuivat varsiluvun, mukuloiden, sadon sekä tärkkelyspitoisuuden vähentyminen, ja toisaalta vihertyneiden ja epämuotoisten mukuloiden osuuden kasvu sadossa. Uusia, aiemmin raportoimattomia seitin haittavaikutuksia olivat mukulan itupäähän syntyneet kuopat sekä mukuloiden pinnan juovaisuus. Van Gogh-lajikkeella onttojen ja keskeltä ruskeiden mukuloiden määrää kasvoi selvästi.

Tutkimuksemme oli tiettävästi ensimmäinen, jossa selvitettiin seittisyyden vaikutuksia sadon keittolaatuun. Haitallisina vaikutuksina havaittiin keitetyn perunan mallon vetisyyden kasvu sekä mallon värin epätasaisuus.

Seittiruven muodostuminen mukuloihin alkoi 10 vrk varsiston hävityksestä, mikäli kasvusto oli seitin tartuttamaa. Seittiruven määrä lisääntyi nostoon asti. Jos varsistoa ei hävitetty, seittirupea muodostui hyvin vähän. Terveellä siemenellä tuotettuun satoon ei sen sijaan muodostunut lainkaan seittirupea.

Tutkimuksessa tehtiin havaintoja luonnollisista, seitin vaikutuksia rajoittavista tekijöistä. Vanhaan perunamaahan, jossa oli harjoitettu monokulttuuria, muodostui jokin seitin kehitystä jarruttava tekijä. Tällaista estovaikutusta ei havaittu maassa, jossa ei ollut aiemmin viljelty perunaa (luomutuotanto). Estovaikutus havaittiin minimukuloiden kasvavien itujen versolaikkuisuuden vähentymisenä, seittisien vähäisempänä vaikutuksena itujen pituuskasvuun sekä sadon vähäisempänä seittirupisuutena.

Biologisen torjunnan (antagonismin) kykyä ehkäistä seitin maatartuntaa tutkittiin käyttämällä *Trichoderma harzianum* –sientä. Se pystyi ehkäisemään jossain määrin versolaikkua, mutta sadon seittirupisuuden, pienien mukuloiden osuuden sekä vihertyneiden ja epämuotoisten mukuloiden määrän vähentyminen ilmensivät erityisen selvästi torjuntavaikutusta kasvihuoneoloissa.

Pelto-oloissa biotorjuntavalmisteet eivät pystyneet merkittävästi torjumaan perunaseittiä. Sen sijaan siemenen kemiallisen peittauksen ja biologisen torjuntavalmisteen lisääminen istutusvakoon lievensivät yhdessä versolaikun ankaruutta. Sadon seittirupisuus väheni hieman. Kemiallinen peittaus voi olla tarpeen seitintorjunnan tehostamiseksi siemenperunan välittömässä läheisyydessä kasvukauden alussa, jolloin viileä maa saattaa rajoittaa antagonistin kasvua ja tehoa. Biotorjunta-aineiden sopivan käyttömäärän selvittämistä on jatkettava.

Siemenperunan Moncut-peittaus vähensi versolaikun ankaruutta, mutta sadon seittirupisuus oli ankaraa peittauksesta huolimatta. Tulokset osoittivat, että kemiallinen peittaus ei torju tehokkaasti seitin maatartuntaa.

Biotorjuntakokeissa havaittiin, että seitin maatartunta vähensi sekini satoa huomattavasti, vaikka siementartunnan merkitys oli sitä suurempi. Myös sadon laatu heikkeni maatartunnan seurauksena. Mukuloiden epämuotoisuus, vihertyneisyys ja seittirupisuus lisääntyivät. Tosin biotorjuntakokeissa käytetty tartukemäärä oli varsin suuri, joten yhtä mittavat maatartukkeen aiheuttamat voitukset eivät liene todennäköisiä normaaleissa viljelyoloissa, mihin muiden kenttäkokeidenkin tulokset viittasivat.

Hankkeessa eristettiin ja tutkittiin kaikkiaan yli 500 *Rhizoctonia*-isolaattia eri puolilta Suomea, yhteensä 281 perunapellolta. Molekyylogeneettisten tutkimusten perusteella lähes kaikki isolaatit voitiin määrittää perunaan erikoistuneeseen seittisien ryhmään AG-3. Isolaattien havaittiin olevan varsin heterogeenisiä. Laaja geneettinen vaihtelu saattaa liittyä sienien monitumaisuuteen. Tumien lukumäärä rihmojen soluissa vaihteli kolmesta kahteenkymmeneen yhteen. Ribosomaalista RNA:ta koodaavien geenien välialueen (ITS2) rakennetta tutkimalla saatiin vahvoja viitteitä siitä, että perunaa tartuttava seittisieni (AG-3) saattaa olla oma lajinsa *Rhizoctonia*-suvussa.

Seittisien isolaattien versolaikun aiheuttamiskyvyn vaihtelua tutkittiin kontrolloiduissa oloissa, jotka ovat edulliset tartunnalle sekä taudinoinereiden kehittymiselle. Lisäksi selvitettiin isolaattien kykyä sietää peittausaineita, flutolaniilia (Moncut) ja mankotsebia (Dithane), joita lisättiin sienien keinokasvatusalustaan. Sekä taudinaiheuttamiskyvyn voimakkuudessa että peittausaineiden sitokyvyyssä havaittiin laajaa vaihtelua seittisien-isolaattien kesken. Peittausaineiden teho seittisieneen vastasi kuitenkin muissa maissa saatuja tuloksia ja suositellut käyttöpitoisuudet tehosivat hyvin. Tutkimuksessa löytyi vain kaksi seitti-isolaattia, joilla oli korkea sitokyky molemmille torjunta-aineille. Kokeissa ei löydetty ainoatakaan seitti-isolaattia, joka olisi aiheuttanut ankaraa versolaikkuisuutta, sietänyt peittausaineita hyvin sekä kasvanut nopeasti. Havaitut erot torjunta-ainekestävyydessä eri isolaattien kesken osoittavat kuitenkin, että pelto-olosuhteissa voi kehittyä torjunta-aineita kestäviä isolaatteja, varsinkin jos samaa torjunta-ainetta käytetään jatkuvasti. Usean torjunta-aineen vuorottelevaa käyttöä tulisi siten suosia.

TULOSTEN ARVIOINTI

Tämän tutkimuksen tulokset ovat ensimmäistä kertaa luoneet kokonaisvaltaisen kuvan perunaiseitistä ja sen aiheuttajasta Suomen oloissa. Tutkimus tuotti tieteelliseltä ja kansainväliseltäkin kannalta katsoen monia uusia tietoja seittisienestä, sen aiheuttamista oireista sekä torjunnasta.

Merkittäväntä perunantuotannon kannalta on kuitenkin se, että tulosten perusteella voitiin laatia tarkennetut seitintorjuntaohjeet, suomeksi ja ruotsiksi. Ruotsinkielisillä ohjeilla lienee laajempaa käyttöä

Pohjoismaissa. Tarkennetut seitintorjuntaohjeet on toimitettu koko peruna-alan käyttöön. Tuloksista on tiedotettu aktiivisesti jo hankkeen aikana mm. 12 ammattilehtikirjoituksessa ja 40 neuvonnallisessa, viljelijöille ja muille alan ammattilaisille suunnatussa esitelmässä.

6. HANKKEEN JULKAISUT

6.1 Tieteelliset artikkelit

1. Ahvenniemi P, Wolf M, Lehtonen MJ, Wilson P, German-Kinnari M & Valkonen, JPT, 2006. Unique Heterogeneity and ITS2 Structure of AG-3 Isolates of *Rhizoctonia solani*. (Lähetetty julkaistavaksi)
2. Lehtonen MJ, Ahvenniemi P, Wilson P, German-Kinnari M & Valkonen, JPT, 2006. Biological diversity of *Rhizoctonia solani* AG 3 in a northern potato cultivation environment (Fennoscandia). (Lähetetty julkaistavaksi)
3. Wilson PS, Ketola EO, Ahvenniemi PM, Lehtonen MJ & Valkonen, JPT, 2005. Models to analyze the effect of antagonistic *Trichoderma harzianum* on the pathozone and disease severity in infection of potato by *Rhizoctonia solani*. (Lähetetty julkaistavaksi)
4. Ahvenniemi P, Lehtonen MJ, Wilson P, Kari M & Valkonen JPT. Influence of seed infestation level with *Rhizoctonia solani*, farming history and variety on occurrence of stem canker and black scurf in potato. (Käsikirjoitus)
5. Ahvenniemi P, Wilson P, Lehtonen MJ & Valkonen, JPT. Progression of the seedborne stem canker disease (*Rhizoctonia solani*) on potato. (Käsikirjoitus)
6. Wilson PS, Ketola EO, Ahvenniemi PM, Lehtonen MJ & Valkonen JPT. Dynamics of soil-borne *Rhizoctonia solani* in the presence of *Trichoderma harzianum* and the effects on stem canker and black scurf of potato in the field. (Käsikirjoitus)
7. Wilson PS, Rita HJ, Ahvenniemi PM, Lehtonen MJ & Valkonen JPT. Explanatory framework (EF): a tool to explore potential agronomic determinants of yield quality of potato infected by *Rhizoctonia solani*. (Käsikirjoitus)

6.2 Muut tieteelliset julkaisut

1. Ahvenniemi PM, Lehtonen MJ, Wilson PS & Valkonen JPT, 2006. Stem canker and black scurf disease of potato (*Rhizoctonia solani*): the progression of infection. In: Root infection biology: Pathogenic interactions. The second Baltic Sea region symposium and postgraduate course, 25.2.-3.3., Hamburg, Germany. (abstrakti)
2. Wilson PS, Ketola EO, Ahvenniemi PM, Lehtonen MJ & Valkonen JPT, 2005. The effect of antagonistic *Trichoderma harzianum* on the pathozone dynamics of potato stem canker (*Rhizoctonia solani*). Proceedings of the 16th Trienn. Conf. EAPR, 17.-22.7., Bilbao, Espanja, s. 132-135.
3. Ahvenniemi PM, Lehtonen MJ, Wilson PS & Valkonen, JPT, 2005. Influence of farming system, variety and black scurf infestation level of seed tubers on stem canker and black scurf (*Rhizoctonia solani*) of potato. Proceedings of the 16th Trienn. Conf. EAPR, s. 335-338.
4. Wilson PS, Ketola EO, Ahvenniemi PM, Lehtonen MJ & Valkonen JPT, 2005. Pathozone concept and the control of potato stem canker (*Rhizoctonia solani*) by the antagonistic fungus *Trichoderma harzianum*. In: Agro-Biotechnology Focused on Root-Microbe Systems. Proceedings of The first Baltic Sea region symposium and postgraduate course, 20.-27.5., Kaunas, Liettu, s. 97-99.

5. Wilson PS, Ketola EO, Ahvenniemi PM, Lehtonen MJ & Valkonen JPT, 2004. The effect of antagonistic *Trichoderma harzianum* on the pathozone dynamics of potato stem canker (*Rhizoctonia solani*). In: Rhizosphere 2004 – Perspectives and challenges – a tribute to Lorenz Hiltner, 12.-17.9., München, Saksa. s. 117 (abstrakti).
6. Ketola EO, 2004. Antagonistisen *Trichoderma harzianum*-sienen vaikutus perunaseitin (*Rhizoctonia solani*) kehitykseen. Pro gradu-tutkielma, kasvipatologia, Helsingin yliopisto. 84 s.

6.3 Kirjoitukset ammattilehdissä

1. Ahvenniemi P, Wilson P, Lehtonen M & Valkonen J, 2006. Perunaseitin torjuntaohjeet. Tuottava Peruna 4/06. Eripainos. 9 s.
2. Ahvenniemi P, 2006. Perunaseittitutkimuksen satoa. Kuuma Peruna 2/2006:18-19.
3. Ahvenniemi P, 2006. Perunaseitti vaivaa perunan laatua. Puutarha-sanomat 4/2006:22-24.
4. Ahvenniemi P, 2005. Perunaseitti. Ajankohtaisia kasvinsuojeluohjeita 2005:92-94.
5. Ahvenniemi P, 2005. Perunaseitti viihtyy viileässä. Käytännön Maamies 2005(15):34-36.
6. Ahvenniemi P, 2005. Torju Seittiruپی - torjut seitin? Tuottava Peruna 3/05:20-21.
7. Ahvenniemi P, Lehtonen M, Wilson P & Valkonen JPT, 2005. Forskning innen svartskurv i potet i Finland og aktuelle bekjempelsestiltak mot sjukdommen. Esitelmä Plantemötet Östlandet 2005. 9.-10.2.2005. Sarpsborg, Norway. Grønn kunnskap 9(2):415-418.
8. Wilson P, 2005. Patovyöhyke perunaseitin ja muiden maalevintäisten kasvitautien tutkimuksessa. Tuottava Peruna 2/05:22-23.
9. Ketola E, 2005. Patovyöhyke perunaseitin biologisten torjuntamenetelmien tutkimuksessa. Kasvinsuojelulehti 2/2005:57-59.
10. Salonen S, 2003. Perunatutkimus ei polje paikallaan: seuraavaksi käsittelyyn seitti. Maatilan Pellervon Perunaekstra, ss. 12-13.
11. Ahvenniemi P, 2003. Filtsjukan är en nygammal risk för potatisen. Potatis&Grönsaker 3:10-11.
12. Ahvenniemi P, 2003. Seittirupee pystyy torjumaan. Tuottava Peruna 1/03:9-11.

6.4 Esitelmät viljelijätilaisuuksissa yms.

2006

1. Ahvenniemi P, 2006. Presentation av filtsjukans internet-sidorna. Jeppo Potatis odlarträff. 26.10.2006, Nykarleby.
2. Ahvenniemi P, 2006. Bekämpning av filtsjukan. Jeppo Potatis odlarträff. 8.8.2006, Nykarleby.
3. Wilson P, Ketola E, Ahvenniemi P, Lehtonen M & Valkonen J, 2006. Patovyöhyke maalevintäisten kasvitautien torjunnassa. Kasvinsuojelun neuvottelukunnan kokous 12.4.2006. Maa- ja metsätalousministeriö, Helsinki.
4. Ahvenniemi P, 2006. Bekämpning av filtsjukan. Lappfjärds odlarförening. 28.3.2006, Kristinestad.
5. Ahvenniemi P, 2006. Perunaseitti ja sen torjunta. Tutkittua tietoa perunasta –seminaari. 16.2.2006, Oulu.
6. Wilson PS, Ketola EO, Ahvenniemi PM, Lehtonen MJ & Valkonen JPT, 2006. Patovyöhyke perunaseitin (*Rhizoctonia solani*) biologisen torjunnan tutkimuksessa. Esitelmäabstrakti.

Maataloustieteen päivät 11.-12.1.2006, Viikki, Helsinki. Suomen Maataloustieteellisen seuran tiedote no. 22. s. 34.

7. Ahvenniemi PM, Lehtonen MJ, Wilson PS & Valkonen JPT, 2006. Viljelymenetelmän, lajikkeen ja siemenen seittirupisuuden vaikutus perunaseittiin (*Rhizoctonia solani*). Poster. Maataloustieteen päivät 11.-12.1.2006, Viikki, Helsinki.
8. Ahvenniemi P, 2006. Siemenperäisen seittitartunnan mallintaminen. Esitelmä. Maataloustieteen päivät 11.-12.1.2006, Viikki, Helsinki.
9. Ahvenniemi P, 2006. Perunaseitti ja sen torjunta. Keski-Pohjanmaan perunakerho. 20.1.2006, Himanka.

2005

10. Ahvenniemi P, 2005. Perunaseitti ja sen torjunta. Pohjois-Savon perunakerho. 28.11.2005, Kuopio.
11. Ahvenniemi P, 2005. Perunaseitin torjunta. Kasvinsuojeluseuran Syyspuinti. 1.11.2005, Liminka.
12. Ahvenniemi P, 2005. Perunaseitti. Lapuan Perunan koulutuspäivä. 18.4.2005, Joroinen.
13. Ahvenniemi P, 2005. Filtsjukan. Chips Ab:s odlardag. 17.4.2005, Marienhamn, Åland.
14. Ahvenniemi P, 2005. Perunaseitti. Lapuan Perunan koulutuspäivä. 12.4.2005, Kauhajoki.
15. Ahvenniemi P, 2005. Perunaseitti. Lapuan Perunan koulutuspäivä. 11.4.2005, Ylihärmä.
16. Ahvenniemi P, 2005. Perunaseitti siementuotannossa. Tutkittua tietoa perunasta –seminaari. 17.2.2005, Oulu.
17. Ahvenniemi P, 2005. Perunaseitti. Pohjoisen Kantaperunan viljelijäpäivä. 6.2.2005, Raahen.
18. Wilson PS, Ketola EO, Ahvenniemi PM, Lehtonen MJ & Valkonen JPT, 2005. Antagonistisen *Trichoderma harzianum* –sienen vaikutus perunaseitin (*Rhizoctonia solani*) kehitykseen. Perunatutkimuksen talvipäivät 27.1.2005, Rantasipi Eden, Nokia.

2004

19. Ahvenniemi P, 2004. Seitin torjunnan haasteet. Oulun Seudun Ammatillisen koulutuksen kuntayhtymä, viljelijäkoulutus. 17.12. 2004, Oulu.
20. Ahvenniemi P, 2004. Bekämpning av filtsjukan. Lappfjärds Potatis odlare. 24.11.2004, Kristinestad.
21. Ahvenniemi P, 2004. Filtsjuka (*Rhizoctonia solani*). Bayer och svenska potatiskonsulenter. 12.5.2004. Malmö, Sverige.
22. Ahvenniemi P, 2004. Perunaseitti. Saarioisten sopimusviljelijät. 26.3.2004, Pälkäne.
23. Ahvenniemi P, 2004. Perunaseitin ja perunaruven torjunta. Raision Yhtymän Ruokaperunateollisuuden sopimusviljelijät. 12.3.2004, Vihanti.
24. Ahvenniemi P, 2004. Perunaseitin ja perunaruven torjunta. Raision Yhtymän Ruokaperunateollisuuden sopimusviljelijät. 11.3.2004, Lohtaja.
25. Ahvenniemi P, 2004. Perunaseitin torjunta. Pirkanmaan Maaseutukeskuksen viljelijätapaaminen. 5.3.2004, Tampere.
26. Ahvenniemi P, 2004. Perunaseitti ja sen torjunta. Suomen Tärkkelysperunahanke. Siemenviljelijöiden koulutus. 16.2.2004, Ikaalinen.
27. Ahvenniemi P, 2004. Idätyksen vaikutus versolaikun määrään ja varsistonhävityksen vaikutus seittirupisuuteen. Perunantutkimuslaitoksen talvipäivät. 29.1.2004, Ikaalinen.
28. Ahvenniemi P, 2004. Perunaseitti (*Rhizoctonia solani*). Laitilan Vihanneksen sopimusviljelijät. 27.1.2004. Laitila.

2003

29. Ahvenniemi P, 2003. Uutta tietoa perunaseitistä. Kotimaisten Kasvisten talviseminaari. 4.11.2003, Ikaalinen.
30. Ahvenniemi P, 2003. Perunaseitin torjunta. Perunakonsulenttien koulutus. 6.8.2003, Lammi.

31. Ahvenniemi P, 2003. Perunaseitin torjunta. Suomen Siemenperunakeskuksen viljelijät. 8.4.2003, Tyrnävä.
32. Ahvenniemi P, 2003. Filtsjuka (*Rhizoctonia solani*). Skolning av Nord-Svenska potatisodlare. 28.3.2003, Skellefteå.
33. Ahvenniemi P, 2003. Filtsjuka (*Rhizoctonia solani*). Skolning av Nord-Svenska potatisodlare. 27.3.2003, Kramfårs.
34. Ahvenniemi P, 2003. Perunaseitin torjunta. Perunakonsulenttien koulutus. 26.3.2003, Seinäjoki.
35. Ahvenniemi P, 2003. Filtsjuka (*Rhizoctonia solani*). Jeppo Potatis odlarträff. 13.3.2003, Nykarleby.
36. Ahvenniemi P, 2003. Seittiruven muodostuminen ja siemenen peittäus. Estrellan sopimusviljelijät. 13.3.2003, Kristiinankaupunki.
37. Ahvenniemi P, 2003. Lackskorvbildning och betning. Estrellas kontraktsodlare. 13.3.2004, Kristinestad.
38. Ahvenniemi P, 2003. Filtsjuka (*Rhizoctonia solani*). Biologiska odlare i Kristinestad. 3.3.2003. Kristinestad.
39. Ahvenniemi P, 2003. Filtsjuka (*Rhizoctonia solani*). Lappfjärds potatis odlare. 19.2.2003, Kristinestad.
40. Ahvenniemi P, 2003. Varhaisperunan seitintorjunta. Vihannes-Laitilan sopimusviljelijät. 12.2.2003. Laitila.

Hankkeen loppuraportti sekä takennetut seitintorjuntaohjeet ovat saatavissa PDF-muodossa seuraavilta kotisivuilta:

<http://www.mm.helsinki.fi/mmsbl/Kpat/research.htm>

ja

<http://www.saunalahti.fi/ahven/perunaseitti>