

Länsi- ja Etelä-Suomen lääninhallituksen osarahoittamat ESR-projektit:
”Integroitu torjunta koristekasvituotannossa” (84231) ja ”Integroitu torjunta Etelä-Suomen koristekasvituotannossa”
(84354) (INTO)

Organosilikonikiinnitteet torjunta-aineina

Pauliina Laitinen

Agropolis Oy

1.2.2006



AGROPOLIS OY



MTT

Rikalan puutarhasäätiö

Borisoffin Puutarhasäätiö

Sisällysluettelo

1. JOHDANTO	3
2.1. Organosilikonien kemialliset ja fysikaaliset ominaisuudet	4
2.1.1. <i>Kemiallinen rakenne</i>	4
2.1.2. <i>Hydrofiilinen / lipofiilinen tasapaino</i>	4
2.1.3. <i>Pintajännite</i>	4
2.1.4. <i>Pintajännitteeseen vaikuttavat tekijät</i>	7
2.2. Ominaisuuksien vaikutus tehoon.....	7
2.2.1. <i>Pintajännitteen vaikutus tehoon</i>	7
2.2.2. <i>Ilmankosteuden vaikutus tehoon</i>	8
3. ORGANOSILIKONIEN TEHO TORJUNTA-AINEINA.....	9
3.1. Yleisimpien tuhoojien kuolleisuus	9
3.2. Teho vieraampiin tuholaisiin ja hyötyeliöihin	11
4. KIINNITTEIDEN FYTOTOKSISUUS	13
5. TUULAHDUKSET KENTÄLTÄ	14
6. LOPPUSANAT.....	15
7. LÄHTEET.....	16

1. Johdanto

Torjunta-aineruiskutuksissa käytetään kiinnitteitä parantamassa liuoksen fysikaalisia ja kemiallisia ominaisuuksia (Foy 1989). Perinteisiä kiinnitteitä ovat mm. kasvirasvat tai triglyseridit, alkyylifenolit ja alkyyliamiinit (Hazen 2000). Organosilikonikiinnitteiden ominaisuudet poikkeavat perinteisten kiinnitteiden kemiallisista ja fysikaalisista ominaisuuksista. Niiden hydrofobisen pään muodostaa piiyhdiste ja erityisesti pintajännite on alhaisempi kuin perinteisillä kiinnitteillä (Knoche 1994). **Organosilikonien yksi patentoitu käyttökohde on turvepohjaisten kasvualustojen kosteudenpidätyskyvyn parantaminen (U.S. Patent 5595957). Maaperään joutuessaan ne siis tehostavat maan vettymistä. Organosilikonikiinnitteitä säännöllisesti käytettäessä onkin varottava niiden kerääntymistä kasvualustaan pitkäikäisissä kasvustoissa, jossa kasvualusta ei ole rajattu. Käsittelyt on muutoinkin pyrittävä osuttamaan kasvien lehdille. Muutoin seurauksena voi olla kasvualustan liiallinen vettyminen ja siitä seuraavat mahdolliset hapenpuuteongelmat. Maahan joutuessaan organosilikonit voivat myös muuttaa sen mikrobikoostumusta. Organosilikonit hajoavat välituotteikseen 4-6 viikossa (Singh ym. 2007).**

Kasvinviljelyssä käytettyjen kiinnitteiden maailmanmarkkinoiden arvo on noin miljardi USA:n dollaria. Markkinat ovat riippuvaisia torjunta-aineiden markkinoista, joiden arvo on noin 31 miljardia dollaria. Torjunta-ainemarkkinoihin vaikuttaa se, että uusien kiinnitteiden kehittämisessä huomioidaan entistä paremmin torjunta-aineiden ja resurssien käytön tehostaminen (Underwood 2000). Organosilikonikiinnitteen Silwet L-77 käyttö mahdollistaa jopa torjunta-aineiden käyttömäärän puolituksen, mutta perinteisillä kiinnitteillä tulokset eivät olleet yhtä hyviä (Stevens ym. 1994).

Kiinnitteiden tutkimista hankaloittaa se, ettei kaikkien valmistajien kemiallista rakennetta ole julkaistu, ja toisaalta kiinnitteet voivat olla monien aineiden sekoituksia. Tutkimuksissa julkaistaan usein vain kauppanimi, kuten X-77 rikkakasvitutkimuksissa. Sen rakenne ei ole tiedossa, eikä edes tuotteen koostumuksesta ole takeita (Green ja Foy 2000). Viime vuosikymmenen aikana on haluttu selvittää kiinnitteiden koostumusta ja lisätä siten mekanismien ymmärtämistä (Hazen 2000). Tämän työn yhteydessä löysin vain kahden kaupallisen organosilikonikiinnitteen kemiallisen rakenteen (Knoche 1994), joihin ei kuulunut Suomessa myynnissä oleva Silwet Gold (Bernier Oy).

Kiinnitteiden torjuntatehoa on testattu tuloksellisesti useisiin tuhohyönteisiin, kuten vihannespunkkiin (*Tetranychus urticae*) (Dentener ja Peetz (1992), Peetz ja Dentener (1992), Cowles ym. 2000) ja persikkakirvaan (*Myzus persicae*) (Imai ym. (1994), Imai ym. 1995). Käytetyin valmiste on Silwet L-77, jonka lisäksi on tutkittu muutamaa muuta organosilikonikiinnitettä ja perinteisiä kiinnitteitä. Pitoisuudet välillä 0,1 - 1,8 % tehosivat erittäin hyvin eri tuholaisiin ja alhaisemmillaakin pitoisuuksilla saatiin hyviä tuloksia.

Organosilikonikiinnitteiden torjuntatehoa on testattu erilaisiin tuhohyönteisiin. Vaikutustavan ymmärtämiseksi käyn läpi kiinnitteiden fysikaalisia ja kemiallisia ominaisuuksia, joilla arvellaan olevan vaikutusta tehoon. Samoin tarkastelen niitä ympäristöoloja, jotka vaikuttavat kiinnitteiden hajoamisnopeuteen ja siten tehoon. Organosilikonit voivat olla haitallisia myös hyötyeliöille ja kasveille. Lopussa on lyhyesti viljelijöiden havaitsemia kiinnitteiden torjuntavaikutuksia.

2.1. Organosilikonien kemialliset ja fysikaaliset ominaisuudet

2.1.1. Kemiallinen rakenne

Ionittomissa organosilikonikiinnitteissä molekyylin hydrofobisen pään muodostaa piipohjainen osa, kuten monoalkyyylisilaani-, dialkyyylisilaani- tai siloksaanipää (Jansen 1973).

Trisiloksaaniyhdisteissä on kolme piitä happi- ja metyyylisidoksin, sekä pitkä hydrofiilinen hiiliketju kiinnittyneenä johonkin piiatomeista. Eri yhdisteillä vaihtelee sekä piin määrä että hiiliketjun rakenne ja pituus (Knoche 1994). Useimmissa kiinnitteiden torjuntatehoa testaavissa kokeissa on käytetty Silwet L-77 -valmistetta.

2.1.2. Hydrofiilinen / lipofiilinen tasapaino

Ionittoman kiinnitteen hydrofiilinen / lipofiilinen tasapaino (HLB) lasketaan kemiallisen kaavan vettä ja rasvaa hylkivien osien kosuhteina, arvot vaihtelevat 1 ja 20 välillä. Mitä alhaisempi HLB-arvo on, sitä vesiliukoisempi valmiste on kyseessä. Kiinnitteet lisäävät herbisidien kulkeutumista lehden solukoon ilmaraon kautta tai pintasolukon läpi. Rasvaliukoinen valmiste (alhainen HLB) kulkeutuu paremmin vettä hylkivän kutikulan läpi (Hess ja Foy 2000). Alhaisen HLB:n luulisi kertovan myös valmisteen kyvystä kulkeutua hyönteisten vahakerroksen läpi. Kirvalla tehdyssä tutkimuksessa HLB:n avulla ei voitu ennustaa mahdollista torjuntatehoa (Imai ym. 1994, Taulukko 1).

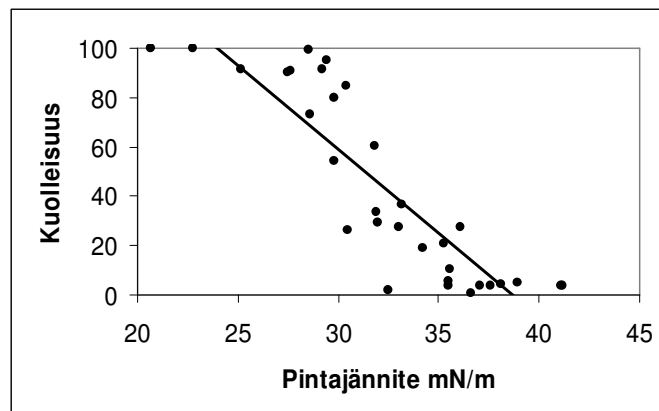
2.1.3. Pintajännite

Kiinnitteiden teho perustuu tutkimustulosten mukaan niiden yhteisiin fysikaalisiin ominaisuuksiin. Kirvoilla havaittiin selkeä yhteys pintajännitteen ja valmisteen tehon välillä.

Teho perustuu oletettavasti valmisteen kykyyn levitä tasaisesti kirvojen vahamaiselle pinnalle, mistä seuraa tukehtuminen (Imai ym. 1994). Liuos läpäisee todennäköisesti myös hyönteisten hengitystiet, mikä edesauttaa tukehtumista (Imai ym. 1995). Kiinnitteet ovat siis kosketusvaikuttajia, eikä niillä havaittu pitkäaikaisia torjuntavaikutuksia kirvoilla (Wood ym. 1997). Puhtaan veden pintajännite on 72,75 mN/m (Atkins ja de Paula 2002), ja yksiprosenttisen Silwet L-77 -liuoksen pintajännite on 20 mN/m (Knoche 1994). Puhtaaseen veteen upotettuina vihanespunkit selvisivät hengissä jopa 7 tunnin ajan (Dentener ja Peetz 1992). Suomessa myytävänä olevan Silwet Gold-valmisteen (tunnetaan myös nimellä Silwet 806) pintajännite pitoisuudella 0,0046 % on 22 mN/m (Cowles ym. 2000).

Päästäkseen läpi mikroskooppisen pienestä ilmaraosta nesteen pintajännitteen pitää olla hyvin pieni. Vaikuttavia tekijöitä ovat pinnan rakenne ja ilmaraon muoto, pinnan ja nesteen välinen todellinen pintajännite ja paine-ero (Schönherr ja Bukovac 1972). Vastaavat tekijät vaikuttavat liuoksen kykyyn läpäistä myös hyönteisten hengitystiet. *Drosophila*-lajilla hengitysteiden kokoluokka on 50-100 µm, mutta aukon reunus on rakenteeltaan hyvin karvainen (Lehmann 2001). *Zebrina purpurii* kasvilla ilmaraon halkaisija on 2-14 µm, ja sen läpäistäkseen liuoksen pintajännitteen pitää olla alle 30 mN/m.

Kuva 1. Pintajännite vs. persikkakirvan kuolleisuus eri valmisteilla (Imai ym. 1994 mukaan).



Taulukko 1. HLB (hydrofiilinen/lipofiilinen tasapaino), pinta-
jännite (PJ) ja kiinnitteiden aiheuttama kuolleisuus (%) per-
sikkakirvoilla (*M. persicae*) (Imai ym. 1994 mukaan).

Valmiste	HLB	PJ mN/m	Kuolleisuus
Silwet L-77	10	20,7	100,00
Silwet L-7607N	17	22,8	100,00
Natriumoleaatti	20	25,2	91,65
Noigen ET-107	10	27,5	90,52
Noigen ET-127	12	27,6	90,92
Triton X-45	10,4	28,5	99,30
Noigen ET-147	14	28,6	73,35
Triton X-114	12,4	29,2	91,38
Span 20	8,6	29,4	94,98
Noigen EA-110	11	29,8	79,82
Noigen ES-99D	9	29,8	54,22
Noigen EA-120	12	30,4	84,97
Span 80	4,3	30,5	26,31
Noigen EA-130T	13	31,8	60,53
Silwet L-7605	11	31,9	33,45
Triton X-100	13,5	32	29,27
Span 40	6,7	32,5	1,77
Triton X-102	14,6	33	27,39
Noigen ES-129D	12	33,2	36,35
Tween 80	15	34,2	18,92
Noigen ES-149D	14	35,3	20,69
DK Ester F-140	14	35,5	5,24
Triton X-165	15,8	35,5	3,42
Span 85	1,8	35,6	10,18
Noigen EA 150	15	36,1	27,17
Span 60	4,7	36,6	0,43
DK Ester F-110	11	37,1	3,82
Tween 20	16,7	37,6	3,87
Triton X-305	17,3	38,1	4,13
Triton X-405	17,9	38,9	4,92
DK Ester F-70	7	41,1	3,49
DK Ester F-90	9,5	41,2	3,86

Nesteen leviämiskykyyn vaikuttaa pintajännitteen lisäksi suhteellinen ilmankosteus (RH, relative humidity) ja pinnan ominaisuudet. Organosilikonikiinnitteet leviävät hyvin sekä kasvien että hyönteisten vettä hylkivällä vahapinnalla (Hill ja Burow 1997). Hydrofobisella parafiinipinnalla Silwet Gold (806) levisi laajemmalle kuin muut Silwet valmisteet, mukaan luettuna L-77 (Cowles ym. 2000). Nesteen haihtuvuus kasvaa suhteessa haihtuvan alueen pinta-alaan. Koska organosilikonikiinnitteet leviävät laajalle alueelle, kuivuvat ne myös nopeasti (Knoche 1994). Kuivumisnopeuteen vaikuttaa ilman suhteellinen kosteus, joka siten vaikuttaa myös kiinnitteiden torjuntatehoon.

2.1.4. Pintajännitteeseen vaikuttavat tekijät

Pintajännitteeseen vaikuttaa kiinnitteen pitoisuus vesiliuoksessa. Konsentraation kasvaessa pintajännite laskee tiettyyn pisteeseen (cmc) saakka, jonka jälkeen se vakioituu (Cowles ym. 2000). Sen jälkeen pitoisuus ei vaikuta pintajännitteeseen, mutta tehokas leviäminen ja liukoisuus saadaan vasta pitoisuuden ylittäessä cmc-arvon (Hazen 2000). Kuvaajista arvioimalla Silwet L-77:n cmc-arvo on noin 0,01 %, ja vasta sitä suuremmilla pitoisuuksilla pintajännitteen pitäisi olla alle 22 mN/m. (Knoche ym. 1991, Cowles ym. 2000).

Knoche ym. 1991 testasivat Silwet L-77:n kestoja erilaisissa oloissa. Kun valmiste lisätään veteen, laskee liuoksen pintajännite tasapainotilaansa. Ajan kuluessa pintajännite nousee taas johtuen kiinnitteen hajoamisesta. Hajoamisnopeus vaihtelee pH:n mukaan, happamassa ja emäksisessä hajoaminen on nopeaa, neutraalissa liuoksessa (pH 6-8) ei hajoamista havaittu ollenkaan 40 päivän tarkastelujakson aikana. Silwet L-77:n puoliintumisaika on vain 43 minuuttia pH:ssa 3. Tulos ei ole yleistettävissä kaikille Silwet-tyyppin valmisteille. Lämpötilan vaikutus hajoamiseen välillä 15-35°C oli vähäinen ja suuremmilla konsentraatioilla hajoaminen on hitaampaa (Knoche ym. 1991). Mitä suurempi lämpötila on, sitä pienempi on pintajännite (Atkins ja de Paula 2002).

2.2. Ominaisuuksien vaikutus tehoon

2.2.1. Pintajännitteen vaikutus tehoon

Pintajännite osoittautui merkittävimmäksi tekijäksi tarkasteltaessa erilaisten kiinnitteiden tehoa persikkakirvalla (*M. persicae*) (Taulukko 1, Kuva 1). Valmisteisiin kuului organosilikonikiinnitteiden lisäksi muitakin kiinniteryhmiä. Pintajännite on laskettu 0,1 % liuoksella kaikista valmisteista. Käsittelyssä lehdellä olevien kirvojen päälle ruiskutettiin valmistetta, jonka jälkeen lehti laitettiin asti-



Rikalan puutarhasäätö

Borisoffin Puutarhasäätö

aan. Kostean paperin ja kannen avulla säilytettiin ilmankosteus. Populaatiosta kuoli yli 90 %, kun pintajännite oli alle 30 mN/m (Imai ym. 1994).

Vihannespunkilla (*T. urticae*) pintajännitteen ja kuolleisuuden välillä ei havaittu yhtä selkeää yhteyttä. Kokeessa testattiin viisi eri Silwet-valmistetta, joista järjestyksessä alhaisin pintajännite oli aineilla L-408, L-77 ja L-806. Näiden valmisteiden LC₅₀- ja LC₉₀ -arvot olivat alhaisimmat. 90 %:n kuolleisuus saavutettiin alle 26 mN/m pintajännitteellä. Tuloksissa ei havaittu pintajännitteen ja torjuntatehon välistä yhteyttä, mitä voi selittää kokeessa käytetty alhainen ilmankosteus 40 - 60 % RH

ja vähäinen valmisteiden määrä (Cowles ym. 2000, Taulukko 2).

Taulukossa 2 on eri Silwet-valmisteiden pintajännitteet, LC-arvot vihannespunkille (Cowles ym. 2000) ja persikkakirvan kuolleisuus (Imai ym. 1994). Mielenkiintoista taulukossa on se, ettei valmiste L-7200 ole lainkaan haitallinen vihannespunkille, vaikka sen pintajännite onkin hyvin alhainen. Samoin L-7607 on persikkakirvalle tuhoisa jo pitoisuudella 0,1 %, mutta vihannespunkille vasta pitoisuudella 6,9 %. Cowles ym. 2000 ilmoittamista todella pienistä pitoisuuksista (punaisella) on arvio myöhemmin.

Taulukko 2. Silwet-valmisteiden pintajännitteet (mN/m), LC-arvot % vihannespunkille ja persikkakirvan kuolleisuus.

Viite	Laji	Valmiste	Pitoisuus	LC50	mN/m	LC90	mN/m
Cowles ym. 2000	<i>T. urticae</i>	Silwet 408		0,00055	45	0,0038	26
"	"	Silwet 806		0,00089	31	0,0046	22
"	"	Silwet L-77		0,00086	37	0,0056	25
"	"	Silwet L-7607		0,484	24	6,9	-
"	"	Silwet L-7200	ei toksinen	-	24	-	-
Imai ym. 1994	<i>M. persicae</i>	Silwet L-7605	0,1	33,45*	31,9		
"	"	Silwet L-7607N	0,1	100*	22,8		
"	"	Silwet L-77	0,1	100*	20,7		

* Kuolleisuus

2.2.2. Ilmankosteuden vaikutus tehoon

Ilmankosteuden vaikutusta Silwet L-77:n tehoon testattiin persikkakirvoilla (*M. persicae*). 90 %:n suhteellisessa ilmankosteudessa kuoli 99 prosenttia kirvoista. Samalla pitoisuudella 30 %:n ilmankosteudessa kuolleisuus

jäi alle 25 %, ja vielä 60 %:n ilmankosteudessa kuolleisuus oli alle 35 % (Taulukko 3, tummennetut arvot). Koska haihtuminen kuivassa ilmassa on suurempaa, voidaan kiinnitteiden tehoa lisätä lisäämällä liuokseen haihtumista estävää valmistetta. Näitä aineita ovat mm. glyseriini, natriumkarboksimeetyylisellu-

loosa ja kalsiumdikloridi. Verrattuna kontrolliin kuolleisuus (60 % RH) voitiin jopa kolminkertaistaa lisäämällä edellä mainittuja aineita. Haihtumista estävien aineiden avulla voidaan lisätä kiinnitteiden tehoa erityisesti kuivissa ilmasto-oloissa (Imai ym. 1995). Taulukossa 3 on eri lähteistä kerättyjen tieto-

jen pohjalta ilmankosteuden vaikutus eri tuhoojien kuolleisuuteen. Pääosassa tutkimuksista on selvitetty vaadittu pitoisuus, jolla saavutetaan tietyn tasoinen kuolleisuus. Siksi kuolleisuus on suurta huolimatta mahdollisesta kuivuudesta, eikä tuloksista siten näe suoraan ilmankosteuden vaikutusta.

Taulukko 3. Suhteellinen ilmankosteus (RH) ja Silwet L-77-valmisteen aiheuttama kuolleisuus (%) eri eliöillä. Dentener ja Peetz (1992) käyttivät vastaavaa Pulse-valmistetta.

Viite	Laji	Pitoisuus	Yksikkö	Kuolleisuus	RH
Imai ym. 1995	Persikkakirva	0,10	%	24	30
Cowles ym. 2000	Vihannespunkki	0,0056	%	90	50
Imai ym. 1995	Persikkakirva	0,10	%	34	60
Liu ja Stansly 2000	Etelänjauhiainen	0,25	g Al/litra	96	60
”	”	1,00	g Al/litra	99	60
”	”	0,50	g Al/litra	99	60
Purcell ja Schroeder 1996	Bactrocera cucurbitae	10,30	% Al	90	65
”	B. dorsalis	0,86	% Al	90	65
”	Ceratitis capitata	0,67	% Al	90	65
Tipping ym. 2003	Kalifornianripsiiäinen	0,1 - 0,5	%	96	90
”	T. pacificus	0,1 - 0,5	%	96	90
”	Kurkkukirva	0,1 - 0,5	%	97	90
Imai ym. 1995	Persikkakirva	0,10	%	99	90
Tipping ym. 2003	Pseudococcus maritimus	0,5 - 1	%	100	90
Dentener ja Peetz 1992	Vihannespunkki	0,48	%	99	92

3. Organosilikonien teho torjunta-aineina

3.1. Yleisimpien tuhoojien kuolleisuus

Taulukossa 4 on organosilikonikiinnitteiden aiheuttama kuolleisuus ja tarvittavat pitoisuudet Suomessa yleisille kasvihuonetuholaisille.

Pulse-valmisteessa on sama vaikuttava aine kuin Silwet L-77:ssa (Dentener ym. 1993). Kiinnitteenä Silwet L-77 käyttösuosituspitoisuus on 0,02 - 0,125 %. Etelänjauhiaisen toukista yli 90 % kuoli 0,25 – 1 % liuoksella (Liu ja Stansly 2000) ja 0,03 % liuoksella kuoli vielä yli 80 % populaatiosta (Liu 1999). Rohitha ym. 1992 testasivat Pulsen tehoa ripsiäi-

siin (laji määrittämätön) tuoreparsalla. Tarkoituksena on saada mahdollisimman puhtaita parsoja myyntiin kastamalla ne ensin torjuntaliuoksessa, ja sitten huuhtelemalla puhtaiksi vedellä. Torjuntateho oli hyvä jo 0,025 prosenttisella liuoksella, mikäli kastamisaika oli enemmän kuin 15 minuuttia. 0,05 % liuos tehoi, kun kastamisaika oli yli 5 minuuttia. Kahden minuutin kastamisaika riitti suurem-

milla kuin 0,05 % pitoisuuksilla tehokkaaseen torjuntaan, mutta sitä lyhyemmät ajat eivät suuresta pitoisuudesta huolimatta tehonneet (Rohitha ym. 1992). Vastaavasti vihannespunkin kuolleisuus kasvoi kun pitoisuus, kastamisaika ja kastamisen jälkeinen odottamisaika ennen vesihuuhtelua kasvoivat (Dentener ym. 1993).

Taulukko 4. Organosilikonikiinnitteiden aiheuttama kuolleisuus yleisillä tuholaisilla. Tulokset aikuisilta, ellei toisin mainittu.

Viite Käyttösuosituspitoisuus	Laji	Valmiste Silwet L-77	Pitoisuus % 0,02 - 0,125	Kuolleisuus
Liu 1999	Etelänjauhiainen	Silwet L-77	0,03	82
Liu ja Stansly 2000	Etelänjauhiainen***	Silwet L-77	1,00	100
"	" ***	"	0,50	99
"	" ***	"	0,25	96
Tipping ym. 2003	Kalifornianripsiäinen**	Silwet L-77	0,1 - 0,5	94 - 100
Bethke 2005	Kalifornianripsiäinen	Silwet L-77	0,05	17 - 29*
Rohitha ym. 1992	Ripsiäinen	Silwet L-77	0,05	>90
Tipping ym. 2003	Kurkkukirva**	Silwet L-77	0,1 - 0,5	94 - 99
Imai ym. 1995	Persikkakirva	Silwet L-77	0,10	99
Imai ym. 1994	Persikkakirva	Silwet L-77	0,10	100
"	"	Silwet L-7605	0,10	33
"	"	Silwet L-7607N	0,10	100
Peetz ja Dentener 1992	Vihannespunkki	Pulse	1,84	99
Dentener ja Peetz 1992	Vihannespunkki	Pulse	0,48	99
Cowles ym. 2000	Vihannespunkki	Silwet L-77	0,0056	90
"	"	Silwet 408	0,0037	90
"	"	Silwet 806	0,0046	90
"	"	Silwet L-7200	Ei toksinen	90
"	"	Silwet L-7607	6,9	90

* tulos ei eroa kontrollista

** nuoruusvaiheet ja aikuiset

*** 2. toukkavaihe

Silwet L-77 (0,1 %) käsitteletyt tehosivat hyvin persikka- ja kurkkukirvoihin, kun ilmankosteus oli riittävän suuri (Imai ym. 1994, Imai ym. 1995, Tipping ym. 2003). Pekaanipähkinävil-

jelmillä tehdyssä kokeessa Silwet L-77 käsitteletyt tehosivat hyvin kirvoihin (*Monellia caryella*, *Monelliopsis pecanis*, *Melanocallis caryaefoliae*), pitoisuudella 0,8 % kuoli jopa

92 % populaatiosta. Tehokkailla pitoisuuksilla oli valitettavasti myös pitkäaikaisia fotosynteesiä alentavia vaikutuksia (Wood ym. 1997).

Organosilikonien tehoa vihannespunkkiin (*T. urticae*) ovat testanneet Dentener ja Peetz (1992), Peetz ja Dentener (1992), Dentener ym. (1993) ja Cowles ym. (2000). Yli 90 % kuolleisuuden aiheuttavat pitoisuudet vaihtelevat 0,0056 - 1,84 % välillä. Cowlesin ja kumppaneiden (2000) pitoisuudet ovat huomattavan pieniä muihin verrattuna, joten herää väistämättä epäilyksi siitä, onko ne ilmoitettu oikein (taulukossa 2, 3 ja 4 arvot punaisella). Tulokset on muunnettu prosenteiksi yksiköstä ppm. Tietenkin tutkimusmenetelmät, -kysymykset ja olosuhteet ovat toisistaan poikkeavia, eikä tuloksia siten pidäkään verrata suoraan toisiinsa.

Vihannespunkkien kutoma seitti suojaa vihollisilta ja ympäristön muutoksilta. Se ei kuitenkaan vähentänyt vihannespunkkien kuolleisuutta kokeessa, jossa omena punkkeineen ja seitteineen kastettiin 1,25 % Pulse-liuoksessa. Kuolleista punkeista jäi kuitenkin suurempi osa omenan pinnalle esteettiseksi haitaksi verrattuna kontrolliin ja seitittömään populaatioon (Peetz ja Dentener 1992).

3.2. Teho vieraampiin tuholaisiin ja hyötyeliöihin

Organosilikonikiinnitteiden teho vieraampiin tuholaisiin ja hyötyeliöihin on taulukossa 5. Hedelmäkärpästen koteloiden (*Bactrocera cucurbitae*, *B. dorsalis*, *Ceratitis capitata*) LC₉₀-arvot vaihtelevat 0,67 – 10,30 % AI välillä. Niiden parasitoidit (*Tetrastichus giffardianus*, *Diachasmimorpha longicaudata*, *Psytalia fletcheri*) olivat huomattavasti herkempiä samalle valmisteelle, 0,5 % AI käsittelyn jälkeen vain vähän yli 6 % kuoriutui aikuisiksi (Purcell ja Schroeder 1996). Silwet L-77 tehosi kohtalaisesti myös *Adelges tsugae* -havukirvoihin (Cowles ja Cheah 2002).

Laboratoriokokeissa Silwet L-77 tehosi hyvin lehden solukossa eläviin sitrusmiinaajan (*Phyllocnistis citrella*) toukkiin. Kokeessa liuos joko injektoidiin miinaajan käytävään tai laitettiin lehden päälle liikkuvan toukan pään kohdalle. Injektoiminen oli 1,5 - 3-kertaa tehokkaampi menetelmä, mutta LC₉₀-pitoisuudet pysyivät silti pieninä (0,03 – 0,09 %). Silwet L-77-käsittelyn aiheuttama miinaajien kuolleisuus ei eronnut kontrollista kenttäkokeissa, mutta yhdessä *Bacillus thuringiensis* -valmisteiden kanssa se paransi huomattavasti *Bt*:n tehoa (Shapiro ym. 1998).

Silwet L-77 käsittelyt tehosivat hyvin *Tetranychus pacificus* -punkin muniin ja aikuisiin. Kilpikirvan (*Pseudococcus maritimus*) ja

kääriäisen (*Platynota stultana*) muniin valmiste ei tehonnut edes 0,5 % liuoksena, mutta kaikki käsitellyistä munista kuoriutuneet kilpikirvan toukat kuolivat vuorokauden sisällä. Lisäksi käsittely oli tuhoisa kilpikirvan liikkuvalle toukkavaiheelle (Tipping ym. 2003). Keräkaalilla tehdyssä kenttäkokeessa Silwet L-77:n (0,06 %) tehoa testattiin perhostoukkia (*Pieris rapae*, *Trichoplusia ni*, *Plutella xylostella*) vastaan. Käsittelyjä tehtiin viikon välein yhteensä viisi kappaletta, ja toukat laskettiin 1., 2. ja 5. käsittelyn jälkeen. Valmiste tehosi *T. ni* -toukkiin, joita esiintyi alueella poikkeuksellisen runsaasti. Kahta muuta lajia ei esiintynyt riittävästi tulosten saamiseksi (Burkness ym. 2002).

Uudessa Seelannissa on tutkittu arvoituksellisesti kuolleita mehiläisiä (*Apis mellifera*), syyksi epäillään joidenkin kiinnitteiden käyttöä alueella. Laboratoriokokeissa muutama kiinnite osoittautuikin todella haitalliseksi mehiläisille, mukaan luettuna organosilikonikiinnite Pulse. Alhaisin haitallinen pitoisuus on 0,02 %, ja LC₁₀₀-arvo on niinkin pieni kuin 0,04 %. Lisäksi kokeissa kuolleiden mehiläisten ulkomuoto muistutti viljelmillä havaittuja kuolleita yksilöitä (Goodwin ja McBrydie 2000). Du-Wett on organosilikonkiinnite, joka ei osoittautunut haitalliseksi mehiläisille (Donovan ja Elliott 2001).

Taulukko 5. Organosilikonikiinnitteiden aiheuttama vieraampien tuhoajien ja hyötyeläiden kuolleisuus. Tulokset aikuisilta, ellei toisin mainittu.

Viite Käyttösuosituspitoisuus	Laji	Valmiste Silwet L-77	Pitoisuus % 0,02 – 0,125	Kuolleisuus
Purcell ja Schroeder 1996	<i>B. cucurbitae</i>	Silwet L-77	10,30	90
"	<i>B. dorsalis</i>		0,86	90
"	<i>C. capitata</i>		0,67	90
Cowles ja Cheah 2002	<i>A. tsugae</i> **	Silwet L-77	0,047	41 - 57
Shapiro ym. 1998	<i>P. citrella</i>	Silwet L-77	0,09	90
Tipping ym. 2003	<i>P. stultana</i> *	Silwet L-77	0,50	5
"	<i>P. maritimus</i> *		0,50	1
"	<i>P. maritimus</i> **		0,5 - 1	100
"	<i>T. pacificus</i> *		0,10	99
"	<i>T. pacificus</i> ***		0,1 - 0,5	96
Purcell ja Schroeder 1996	<i>T. giffardianus</i> (A)	Silwet L-77	0,50	92
"	<i>D. longicaudata</i> (A)		0,50	93
"	<i>P. fletcheri</i> (A)		0,50	94
Goodwin ja McBrydie 2000	<i>A. mellifera</i> (B)	Pulse	0,04	100
Donovan ja Elliott 2001	<i>A. mellifera</i> (B)	Du-Wett	Ei toksinen	-

* munat (A) torjuntaeliö

** toukat (B) pölyttäjä

*** nuoruusvaiheet ja aikuiset

4. Kiinnitteiden fytotoksisuus

Organosilikonien yksi patentoitu käyttökohde on turvepohjaisten kasvualustojen kosteudenpidätyskyvyn parantaminen (U.S. Patent 5595957). Maaperään joutessaan ne siis tehostavat maan vettymistä. Organosilikonikiinnitteitä säännöllisesti käytettäessä onkin varottava niiden kerääntymistä kasvualustaan pitkäikäisissä kasvustoissa, jossa kasvualusta ei ole rajattu. Käsittelyt on muutoinkin pyrittävä osuttamaan kasvien lehdille. Muutoin seurauksena voi olla kasvualustan liiallinen vettyminen ja siitä seuraavat mahdolliset hapenpuuteongelmat. Maahan joutuessaan organosilikonit voivat myös muuttaa sen mikrobikoostumusta. Organosilikonit haajoavat välituotteikseen 4-6 viikossa (Singh ym. 2007).

Organosilikonikiinnitteiden syto- ja fytotoksisuus riippuu tutkitusta kasvilajista. Eri lajeilla tehdyssä kokeessa organosilikonikiinnitteet osoittautuivat haitallisemmiksi solutasolla kuin perinteiset kiinnitteet. Myös ruiskutukset voivat vaurioittaa lehtiä, mutta fytotoksisuus on vähäisempää kuin perinteisillä kiinnitteillä (Coupland ym. 1989). Syyksi arvellaan sitä, että organosilikonikiinnitteiden levittyessä ohuempana kerroksena lehden pinnalle niiden määrä suhteessa pinta-alaan on perinteisiä

kiinnitteitä vähäisempi (Knoche ym. 1992). Silwet L-77 aiheutti 0,5 - 1 % liuoksena nekroottisia laikkuja tomaatin lehdille, mutta tuhosi 95 % etelänjauhiaisen toukista jo pitoisuudella 0,25 % (Liu ja Stansly 2000).

Pekaanipähkinäviljelmillä tehdyssä kokeessa havaittiin Silwet L-77-käsittelyn selkeä negatiivinen vaikutus sekä nettofotosynteesiin että ilmarakojen toimintaan. Vuorokauden sisällä muutos oli huomattava, vähäinen vaikutus pitoisuuksilla 0,1 - 0,8 % kesti jopa 14 päivää. Pitoisuudella 0,3 % saatiin torjuttua tehokkaasti kirvoja. Tämä pitoisuus vaikuttaa jo negatiivisesti kasvin kasvuun (Wood ym. 1997), muttei ole sinänsä poikkeava muiden torjunta-aineiden aiheuttamista negatiivisista vaikutuksista (Godfrey ja Holtzer 1992).

Vihanneksia ja hedelmiä on onnistuneesti puhdistettu tuholaisista organosilikonikiinnitteillä. Silwet L-77:lla onnistuttiin hävittämään ripsiäiset parsalta, eikä tehokkailla pitoisuuksilla ollut mainittavia vaikutuksia niiden laatuun (Rohitha ym. 1992). Omenoiden puhdistaminen punkeista onnistui Pulsevalmisteella, mutta kiinnitejäämät voivat aiheuttaa hajuhaittoja. Siksi tuote kannattaakin huuhdella käsittelyn jälkeen pois (Peetz ja Dentener 1992). Silwet L-77 käsittelyillä ei havaittu vaikutuksia viinirypäleiden sadon laatuun, mutta 0,5 % valmiste aiheutti veden



Rikalan puutarhasäätö

Borisoffin Puutarhasäätö

tiivistymisen rypäleiden pinnalle varastoinnin aikana (Tipping ym. 2003).

Tehokkaan torjunnan saavuttamiseksi organosilikonien käyttöpitoisuudet ovat jonkin verran suurempia kuin suositellut käyttöpitoisuudet kiinnitteenä. Pitoisuuden kasvaessa kasvaa myös fytotoksisuuden todennäköisyys. Organosilikonit ovat pienilläkin pitoisuuksilla haitallisia mehiläisille (Donovan ja McBrydie 2000), sekä ainakin joillekin hyötyeliöille (Purcell ja Schroeder 1996). Ennen kuin organosilikonikiinnitteitä käytetään torjunnassa, pitää tehdä lisää tutkimuksia torjuntavaikutuksista, vaikutuksista hyötyeliöihin ja fytotoksisuudesta.

5. Tuulahdukset kentältä

Eräällä ruusutarhalla on kokeiltu Silwet Goldin tehoa jauhiaisiin parin vuoden ajan. Alusta pitäen se on tehonnut ansarijauhiaisiin mäntysuopaa paremmin, eikä käsittely aiheuta vioitusta edes aurinkoisella säällä. Käsittelyn (0,025 %) jäljiltä aikuiset näyttävät räjähtäneiltä ja liimautuvat todella tiukasti lehtien pintaan. Kun jauhiaisia on runsaasti, käsittelyjä kannattaa tehdä useampi perättäin. Käytännössä he havaitsivat, että käsittely kannattaa uusina noin neljän päivän välein, koska aikuisia alkaa taas esiintyä. Käsittelyjä pitää tehdä ainakin kolme, ja neljäs käsittely voi olla tarpeen viikon kuluttua kolmesta ensimmäisestä käsittelystä. Käyttösuosituspitoisuudella ei

ollut vaikutuksia kirvoihin, punkkeihin, petopunkkeihin eikä ripsiäisiin. Nykyään he käyttävät Silwet Goldia myös yhdessä muiden torjunta-aineiden kanssa, jolloin niiden teho paranee.

Myös toisaalla Silwet Goldia on kokeiltu hyvin tuloksin. Ruusulla valmiste toimi erittäin hyvin, eikä edes kukkaan ruiskutettuna huonontanut laatua. Gerberalla tiivis kasvusto aiheuttaa peittävyysongelmia, eikä torjuntateho siten ollut yhtä hyvä. Eräällä ruusutarhalla jauhiaisia on torjuttu tehokkaasti viikoittaisilla ruiskutuksilla Silwet Goldin (0,02 %) ja Carbon Kick® Boosterin (0,5 %) kanssa.

Carbon Kick® Assimilator on 20 % liuoksena käytettävä lehtilannoite, joka sisältää alkoholin ja urean lisäksi vastaavia orgaanisia piiyhdisteitä kuin Silwet Gold. Valmistajalta saatujen empiiristen tietojen mukaan aineella on myös haittavaikutuksia ansarijauhiaisiin. Valmistajan mukaan ainetta säännöllisesti käytävillä yrityksillä (9 kpl) ei ole ongelmia ansarijauhiaisen kanssa, mutta epäsäännöllisellä käytöllä ongelmia esiintyy edelleen. Eräällä kurkkuviljelmällä Assimilatorin käytön aloittamisen jälkeen saatiin härmä, vihannespunkit ja ansarijauhiaiset hallintaan. Erietyisesti vihannespunkkeja ei ole näkynyt sen jälkeen, eikä kyllä petopunkkejakaan. *Macrolophus caliginosus*-petoluteet ovat menestyneet tarhalla huomattavan hyvin käsittelyjen

aikana. Joulun jälkeen jauhiaisten määrä on lisääntynyt, mikä voi johtua sekä päivän pitenemisestä että joululomien aikaisesta epäsäännöllisestä käytöstä. Eräällä ruusuviljelmällä Assimilatoria ja sitä edeltäviä valmisteita on käytetty usean vuoden ajan viikoittain. Koska valmistetta on ruiskutettu lehtilannoitteena vain lehtien pinnalle, ei torjuntavaikutuksia ole havaittu. Heillä ansarijauhiaisongelma on ratkennut kemiallisten torjunta-aineiden avulla.

6. Loppusanat

Organosilikonikiinnitteiden torjuntateho perustuu tämän hetkisen tiedon mukaan niiden alhaiseen pintajännitteeseen. Lisäämällä kiin-

nitettä saadaan nesteen pintajännite laskettua niin alhaiseksi, että liuos läpäisee hyönteisen hengityspotket ja tukehduttaa sen. Torjuntatehoon vaikuttaa mm. ilmankosteus, lämpötila ja pH. Kiinnitteiden tehoa on testattu useilla yleisimmistä kasvihuonetuhoojista, ja tulokset ovat olleet lupaavia. Tehokkaiksi havaituilla pitoisuuksilla voi olla haittavaikutuksia kasvin kasvuun, biologisiin torjuntaeliöihin ja muihin hyötyeliöihin. Organosilikonikiinnitteiden tulevaisuus torjunta-aineina on siis vielä avoinna, ja lisää tutkimuksia tarvitaan, ennen kuin niitä voidaan luokitella torjunta-aineiksi. Kiinnitteiden fysikaalisen toimintatavan takia resistenssiä ei pitäisi kehittyä, mikä mahdollistaa niiden käytön myös resistenssinhallinnassa.

7. Läheteet

- Atkins P, de Paula J, 2002: The physical liquid surface. – *Physical Chemistry*, 7th ed., Oxford University Press, 150 – 156.
- Bethke JA, 2005: Control of western flower thrips on gardenia, summer 2004. – *Arthropod Management Tests*, 30: G31.
- Burkness EC, Koch RL, Wold SJ, Hutchison WD, 2002: Evaluation of surfactants and insecticides for control of lepidopteran pests on irrigated cabbage, 2001. – *Arthropod Management Tests*, 27: E7.
- Coupland D, Zabkiewicz JA, Ede FJ, 1989: Evaluation of three techniques used to determine surfactant phytotoxicity. – *Ann. Appl. Biol.*, 115: 147 – 156.
- Cowles RS, Cowles EA, McDermott AM, Ramoutar D 2000: "Inert" formulation ingredients with activity: Toxicity of trisiloxane surfactant solutions to twospotted spider mites (Acari: Tetranychidae). – *J. Econ. Entom.*, 93 (2): 180 – 188.
- Cowles RS, Cheah CASJ, 2002: Foliar sprays for control of hemlock woolly adelgid, 2001. – *Arthropod management Tests*, 27: G48.
- Dentener PR, Peetz SM 1992: Postharvest control of diapausing two-spotted spider mite *Tetranychus urticae* Koch on fruit. I Comparison of insecticidal soaps and spray adjuvants. – *Proc. 45th N.Z. Plant Protection Conf. 1992*, s. 116 – 120.
- Dentener PR, Peetz SM, Maindonald JH 1993: Surfactant for postharvest control of diapausing twospotted spider mite *Tetranychus urticae* Koch on apples. – *Proc. 46th N.Z. Plant Protection Conf. 1993*, s. 166 – 170.
- Donovan BJ, Elliott GS, 2001: Honey bee response to high concentrations of some new spray adjuvants. – *New Zealand Plant Protection*, 54: 51 – 55.
- Foy CL 1989: Adjuvants: terminology, classification, and mode of action. – In: Chow PNP, Grant CA, Hinshalwood AM, Simundsson E (eds): *Adjuvants and Agrochemicals*, Vol 1, Mode of Action and Physiological Activity. CRC Press Inc., Boca Fraton, Florida 1 – 15.
- Godfrey LD, Holtzer TO 1992: Effects of soil-incorporated insecticides and foliar-applied chemicals on corn gas-exchange parameters. – *Crop Protection*, 11: 427 – 432.
- Goodwin RM, McBrydie HM, 2000: Effect of surfactants on honey bee survival. – *New Zealand Plant Protection*, 53: 230 – 234.

- Green JM, Foy CL, 2000: Adjuvants: test design, interpretation, and presentation of results. – *Weed Technology*, 14: 819 – 825.
- Hazen JL, 2000: Adjuvants – terminology, classification, and chemistry. – *Weed Technology*, 14: 773 – 784.
- Hess FD, Foy CL, 2000: Interaction of surfactants with plant cuticles. – *Weed Technology*, 14: 807 – 813.
- Hill RM, Burow RF 1997: Why organosilicone adjuvants spread. – Pesticide formulations and application systems: 17th volume, ASTM STP 1328. Toim., G. Robert Goss, Michael J. Hopkinson, Herbert M. Collins, American society for testing and materials.
- Imai T, Tsuchiya S, Fujimori T, 1995: Aphicidal effects of Silwet L-77 organosilicone non-ionic surfactant. – *Appl. Entomol. Zool.*, 30 (2): 380 – 382.
- Imai T, Tsuchiya S, Morita K, Fujimori T, 1994: Surface tension-dependent surfactant toxicity on the green peach aphid, *Myzus persicae* (Sulzer) (Hemiptera: Aphididae). – *Appl. Entomol. Zool.*, 29 (3): 389 – 393.
- Jansen LL, 1973: Enhancement of herbicides by silicone surfactants. – *Weed Science*, 21: 130 – 135.
- Knoche M, Tamura H, Bukovac MJ, 1991: Performance and stability of the organosilicone surfactant L-77: effect of pH, concentration, and temperature. – *J. Agric. Food Chem.*, 39: 202 – 206.
- Knoche M, Noga G, Lenz F 1992: Surfactant-induced phytotoxicity: evidence for interaction with epicuticular wax fine structure. – *Crop Protection*, 11: 51 – 56.
- Knoche M, 1994: Organosilicone surfactant performance in agricultural spray application: a review. – *Weed Research*, 34: 221 – 239.
- Lehmann F-O, 2001: Matching spiracle opening to metabolic need during flight in *Drosophila*. – *Science*, 30: 1926 – 1929.
- Liu T-X 1999: Control of *Bemisia argentifolii* nymphs with the entomopathogen *Beauveria bassiana* under greenhouse and laboratory conditions, 1997-1998. – *Arthropod Management Tests*, 24: L15.
- Liu T-X, Stansly PA, 2000: Insecticidal activity of surfactants and oils against silverleaf whitefly (*Bemisia argentifolii*) nymphs (Homoptera: Aleyrodidae) on collards and tomato. – *Pest Manag. Sci.*, 56: 861 – 866.
- Peetz SM, Dentener PR, 1992: Postharvest control of diapausing two-spotted spider mite *Tetranychus urticae* Koch on fruit. II Efficacy of Pulse on apples. – *Proc. 45th N.Z. Plant Protection Conf. 1992*, s. 121 – 125.

Purcell MF, Schroeder WJ, 1996: Effect of Silwet L-77 and diazinon on three tephritid fruit flies (Diptera: Tephritidae) and associated endoparasitoids. – *J. Econ. Entomol.*, 89 (6): 1566 – 1570.

Rohitha BH, Gaskin RE, Hartley T, Karl AK, 1992: Evaluation of Silwet L-77 for postharvest disinfestations of thrip in asparagus. – *Proc. 45th N.Z. Plant Protection Conf. 1992*, s.17 – 20.

Schönherr J, Bukovac MJ, 1972: Penetration of stomata by liquids. – *Plant Physiol.* 49: 813 – 819.

Shapiro JP, Schroeder WJ, Stansly PA, 1998: Bioassay and efficacy of *Bacillus thuringiensis* and an organosilicone surfactant against the citrus leafminer (Lepidoptera: Phyllocnistidae). – *Fl. Entomol.*, 81 (2): 201 – 210.

Singh A, Van Hamme JD, Ward OP., 2007: Surfactants in microbiology and biotechnology: Part 2. Application aspects. – *Biotechnol. Adv.*, 25 (1): 99 – 121.

Stevens PJG, Walker JTS, Shaw PW, Suckling DM, 1994: Organosilicone surfactants: tools for horticultural crop protection. – *Brighton Crop Protection Conference – Pests and Diseases. 2*: 755 – 760.

Tipping C, Bikopa V, Chander GJ, Mitcham EJ, 2003: Efficacy of Silwet L-77 against several arthropod pests on table grape. – *J. Econ. Entomol.*, 96 (1): 246 – 250.

Underwood, AK, 2000: Adjuvant trends for the new millennium. – *Weed technology*, 14: 765 – 772.

Wood BW, Tedders WL, Taylor J, 1997: Control of pecan aphids with an organosilicone surfactant. – *Hortscience*, 32 (6): 1074 – 1076.

Patentit:

U.S. Patent 5595957: Turf and soil drought stress treatment comprising a siloxane and a polyalkalene oxide surfactant.
<http://www.patentstorm.us/patents/5595957-description.html>