

Etelä- ja Länsi-Suomen lääninhallitusten osarahoittamat projektit “Integroitu torjunta Etelä-Suomen koristekasvituotannossa” ja “Integroitu torjunta koristekasvituotannossa”

Kasvintuhoojien torjunta-aineresistenssin hallinta

Irene Vänninen, MTT Kasvinsuojelu

(Versio 19.7.2006)



Sisällysluettelo:

1. TORJUNTA-AINERESISTENSSI: MITÄ SE TARKOITTA?	3
2. TORJUNTA-AINERESISTENSSIN GENEETTINEN POHJA	3
2.1. <i>Torjunta-aineen sietokyky on sattumaa</i>	3
2.2. <i>Resistenssin kehittymisen ennakko-ehdot</i>	4
3. RESISTENSSIMEKANISMIT JA NIIDEN YHTEYS RESISTENSSIN HALLINTAAN	5
3.1. <i>Neljä resistenssimekanismia</i>	5
3.2. <i>Resistenssin kehittymisen ennustaminen</i>	6
3.3. <i>Kasvintuhoojan ja torjunta-aineen ominaisuudet vaikuttavat resistenssiriskiä</i>	7
3.1. <i>Torjunta-aineiden vaikutustapaluokitus ja vuorottelu resistenssinhallinnan menetelmänä</i>	8
3.2. <i>Resistenssinhallinnan nyrkisäännöt</i>	9
3.3. <i>Pääseekö resistenssistä eroon?</i>	11
4. LÄHTEET	12

1. Torjunta-aineresistenssi: mitä se tarkoittaa?

Torjunta-aineresistenssi on perinnöllinen muutos kasvintuhoojien torjunta-aineherkkyydessä. Resistenssi näkyy toistuvina torjunnan epäonnistumisina huolimatta siitä, että kasvinsuojeluainetta käytetään ohjeiden mukaisesti (Insecticide Resistance Action Committee).

Tämän käytännöllisen resistenssin määrittämisen mukaisesti resistenssistä puhutaan vasta, kun ohjeenmukaisen torjunta-ainekäsittelyn teho pettaa pellolla tai kasvihuoneessa. Laboratoriotesteillä resistenssi havaitaan pienempiäkin ainepitoisuuksia käytettäessä ja siinä vaiheessa, kun torjunta-ainetta sietäviä yksilöitä on tuhoojapopulaatiossa vasta vähän. Alkava resistenssi ei siis vielä tarkoita sitä, että torjunta epäonnistuisi käytettäessä suositeltuja ainepitoisuuksia. Mikäli torjunta-aineen käyttöä ei keskeytetä, resistenttien yksilöiden osuus suurenee kuitenkin edelleen ja saavuttaa viimein sellaisen tason, että haluttua torjuntatehoa ei enää saada ohjepitoisuuksillakaan.

2. Torjunta-aineresistenssin geneettinen pohja

2.1. Torjunta-aineen sietokyky on satunnaista

Kasvintuhoojien perinnöllisten ominaisuuksien kirjossa on aina luontaista vaihtelua. Joillakin harvoilla yksilöillä saattaa olla ominaisuuksia, joiden ansiosta ne kestävät jotain tiettyä torjunta-ainetta. Kun käsittelyt tällä torjunta-aineella aloitetaan, kestäville yksilöillä on erittäin suuri **suhteellinen lisääntymisetaso** verrattuna lajitovereihinsa: torjunta-ainetta kestävämmät yksilöt kuo-

levat pois, ja sukua jäävät jatkamaan vain käsittelystä hengissä säilyneet yksilöt. Torjunta-ainekäsittelyjen jatkuessa kestävien yksilöiden osuus tuholaispopulaatiossa kasvaa jatkuvasti, elleivät populaatiossa pääse vaikuttamaan mitkään resistenssiä lieventävät ilmiöt.

Resistenssi periytyy tuhoojasukupolvelta toiselle resistenssiä koodaavien alleelien eli tietyssä geenilokuksessa (=geenin sijaintipaikka kromosomissa) sijaitsevien eri geenimuotojen avulla. Suvullisesti lisääntyvillä lajeilla geenilokuksen yksi alleeli (merkittävään sitä kirjaimella A) koodaa siis kemikaaliherkkyyttä, toinen (a) taas resistenssiä. Usein - mutta ei aina - resistenssialleeli on resessiivinen eli väistytävä. Tällöin suvullisesti lisääntyvien lajien yksilöt tarvitsevat saman a-alleelin molemmilta vanhemmiltaan, jotta ne olisivat fenotyypiltään (ilmiasultaan) resistenttejä (aa) eli kestäisivät torjunta-ainetta. Katso Kuva 1. sivulla 13.

Torjunta-ainekäsittelyt muodostavat valintapaineen, joka niittää pois kemikaaliherkät AA- ja Aa-yksilöt, mutta jättää eloon kestävätkin aa-yksilöt. Aa-genotyypit ovat resistenssialleelin kantajia, mutta ne eivät välttämättä ole fenotyypiltään resistenttejä, koska herkkyysalleeli A voittaa resistenssialleeli a:n vaikutuksen. Vaihtoehtoisesti Aa voi olla vain osittain resistentti. Se ei kuole torjunta-aineeseen, vaan heikentyy tilapäisesti, tai kuolee vasta, kun torjunta-ainepitoisuus ylittää tietyn rajan.

Torjunta-aineresistenssiä koodaavia alleeleja syntyy kasvintuhoojissa alunperin sattumanvaraisten mutaatioiden kautta. Luonnonvaraisissakin populaatioissa suuresta geneettisestä vaihtelusta on kasvintuhoojille hyötyä, sillä kasvinsyöjinä ne joutuvat käsittelemään elimistössään monenlaisia kasvipärsäisiä aineita, jotka ovat elimistölle haitallisia. Yksilöt, joille on mutaation seurauksena syntynyt kyky muuttaa haitalliset aineet

vaarattomampaan muotoon aineenvaihdunnassaan, ovat silloin evolutiivisesti edullisessa valinta-asemassa: ne säilyvät paremmin hengissä ja tuottavat enemmän jälkeläisiä kuin lajitoverinsa.

Kasvintuhoojien luontaisessa torjunta-ainekestävyydessä on vaihtelua sekä yksilöiden että populaatioiden välillä. Riippuen siitä, millaisia ravintolähteitä tietyllä alueella elävä kasvintuhoojapopulaatio käyttää (sillä myös kasvilajivalikoima ja saman kasvilajin ominaisuudet vaihtelevat mantieteellisesti), joillekin populaatioille on ollut satumatonta syntyneistä resistenssialleleista enemmän hyötyä kuin toisille. Näin resistenssialleelit yleistyvät yhdessä populaatiossa, mutta eivät toisessa, koska siellä niistä ei ole ollut hyötyä.

Perinnöllinen muutos resistenssistä puhuttaessa ei tarkoita, että torjunta-aine muuttaisi yksittäisten kasvintuhoojien perimää. Torjunta-ainealtistus EI siis aiheuta mutaatioita, joihin resistenssi perustuu. Periaatteessa mutaatioiden "alkusynty" torjunta-aineen käytön seurauksena on kyllä mahdollista. Jotkin torjunta-aineet ovat nimittäin mutageenisia, sillä niiden on osoitettu aikaansaavan geneettisiä muutoksia esimerkiksi bakteeri- ja hiivasoluissa. Torjunta-aineiden itsensä aiheuttamien mutaatioiden osuutta resistenssialleelien syntymisessä ei kuitenkaan ole todistettu. Resistenssin ei siis oleteta yleensä perustuvan torjunta-ainealtistuksen aiheuttamiin mutaatioihin, vaan resistenssin perustana oleva perinnöllinen muutos tarkoittaa jo olemassaolevien alleelien osuuden kasvua kasvintuhoojapopulaatiossa.

Mutaatiot ovat siis resistenssimekanismien rakennusainetta. Tieto tietynlaiseen resistenssimekanismiin johtavien mutaatioiden spontaanista syntymistodennäköisyydestä (kaikkien mutaatioiden tapahtumistodennäköisyys eliöiden perimässä ei ole sama,

ks. French-Constant et al. 2004)) auttaa päättämään, miten helposti jollekin aineelle ylipäättään syntyy resistenssi, miten tavallista on, että resistenssimekanismi on kaikissa tuholaisen populaatiossa sama, miten nopeasti resistenssiä kantavat yksilöt yleistyvät populaatiossa, kun aloitetaan torjunta-ainekäsittelyt, ja miten nopeasti ne vastavasti vähenevät, kun käsittelyt lopetetaan. Näitä tietoja on valitettavasti lähes mahdoton saada, ennen kuin resistenssi on jo kehittynyt ja sen yleistymistä pystytään havainnoimaan.

2.2. Resistenssin kehittymisen ennakkoehdot

Resistenssialleelien yleistymisen torjunta-ainekäsittelyistä aiheutuvan valintapaineen seurauksena ei ole käytännössä aivan niin suoraviivaista kuin edellä on kerrottu. Resistenssialleelien yleistymiseen vaikuttaa ennen kaikkea käsittelyjen tiheys, mutta vain jos kaksi tärkeää ennakkoehtoa ovat voimassa.

Ensinnäkin eliöpopulaatiossa on oltava resistenssin lähtömateriaalia, toisin sanoen mutaatioiden seurauksena eliöiden perimässä on oltava geneettistä vaihtelua eli sellaisia alleleja, jotka koodaavat tietylle torjunta-aineelle kestävyttä aiheuttavaa resistenssimekanismia.

Toiseksi resistenssialleelin koodaaman resistenssimekanismiin täytyy sopia osaksi eliön yleistä kehitystä ja rakennetta. Resistenssimekanismi ei siis saa olla eliön muuta kehitystä ja elinkelpoisuutta niin voimakkaasti rajoittava, että sitä kantavat yksilöt eivät selviydy ollenkaan hengissä silloin, kun ne eivät altistu torjunta-aineelle. (Tabashnik et al. 1998, McKenzie & Batterham 1994).

Usein resistentit tuholaiset menestyvät huonosti silloin, kun ne eivät altistu jatkuville

torjunta-ainekäsittelyille. Resistenssimekanismin ylläpitäminen aiheuttaa aineenvaihdunnallisia kustannuksia eliölle: sehän joutuu esimerkiksi tuottamaan suuria määriä entsyymiä, joka hajottaa torjunta-aineen vaarattomaan muotoon. Tällainen mutanttientsyymien tuottaja hyötyy satsauksestaan entsyymituotantoon vain silloin, kun entsyymillä on käyttöä torjunta-aineen hajoittajana. Jos ei ole, entsyymien tuotanto imee ”turhaan” eliön voimavaroja, eikä se pysty panostamaan yhtä paljon lisääntymiseen kuin normaalit lajitoverinsa. Siksi resistenttien yksilöiden osuus populaatiossa alkaa usein nopeasti pienentyä, kun torjunta-ainekäsittelyt tietyllä aineella lopetetaan ja resistentit yksilöt menettävät suhteellisen valintaetunsa.

3. Resistenssimekanismit ja niiden yhteys resistenssin hallintaan

3.1. Neljä resistenssimekanismia

Hyönteisillä ja punkeilla on neljä eri resistenssimekanismityyppiä. Ne voidaan järjestää sen perusteella, missä vaiheessa aineelle altistumista ne vaikuttavat tuholaisen elimistössä:

Ensimmäinen mekanismi perustuu eliön **käyttäytymisen muutokseen**, jonka ansiosta eliö ei altistu aineelle yhtä tehokkaasti kuin normaalit yksilöt.

Toinen mekanismi on **ihon alentunut läpäisevyys** torjunta-aineelle, mikä pienentää kasvintuhoojan elimistöön joutuvan aineen määrää tai ainakin hidastaa aineen joutumista elimistöön, jolloin pitoisuudet eivät nouse tappavan korkeiksi.

Kolmas mekanismi perustuu aineen **entsyymaattiseen hajottamiseen** eliön elimistössä. Aineenvaihduntaprosessit entsyymien katalysoimina muuntavat torjunta-aineen vaarattomampaan muotoon ennen kuin se ehtii varsinaiseen vaikutuskohteeseensa.

Neljäs mekanismi on **laadullisesti muuntu-
nut vaikutuskohde**. Vaikutuskohteita ovat muiden muassa entsyymit, reseptoriproteiinit ja solukalvojen ionikanavat. Kun vaikutuskohde muuntuu, torjunta-ainemolekyyli ei sitoudu vaikutuskohteeseensa yhtä tehokkaasti kuin aineelle herkkien yksilöiden elimistössä. Tappavan vaikutuksen aikaansaamiseksi tarvitaan siis tavallista suurempi ainepitoisuus, ja äärimmillään eliö on aineelle täysin immuuni.

Resistenssihallinnan oleellinen osa on eri tavoin vaikuttavien aineiden vuorottelu. **Vuorottelu hidastaa muuntunutta vaikutuskohdetta kantavien yksilöiden yleistymistä** tuhoajapopulaatiossa. Muuntuneeseen vaikutuskohdetta perustuva resistenssi on hyvin spesifinen: eliö on resistentti vain niille aineille, jotka sitoutuvat tiettyyn vaikutuskohdetta sen elimistössä. Kun samaa ainetta ei käytetä jatkuvasti, resistentit yksilöt eivät ehdi yleistyä kasvihuoneessa, ja kun vaihdetaan sopivin välein toiseen aineeseen, toinen aine tappaa ensimmäiselle aineelle resistentit yksilöt. On nimittäin hyvin epätodennäköistä – joskaan ei mahdotonta! – että kasvintuhoojien joukossa olisi ”superyksilöitä”, joiden elimistö sietää useita eri tavoin vaikuttavia tehoaineita.

Vuorottelulla ei pystytä läheskään yhtä tehokkaasti vaikuttamaan ihon läpäisevyyteen, käyttäytymisen muutokseen eikä etenäkään entsyymipohjaisen resistenssin yleistymiseen. Nämä resistenssimekanismit ovat epäspesifisiä: ne voivat antaa suojan useitakin aineita vastaan riippumatta siitä, mikä on aineiden vaikutustapa eli missä kohdassa elimistöä ne vaikuttavat.

Itse asiassa yleisin niveljalkaisten kemikaali-resistenssi perustuu entsyymeihin, jotka hajottavat torjunta-aineen vaarattomampaan muotoon ennen kuin se ehtii varsinaiseen vaikutuskohteeseensa (Oppenorth 1985; ks. myös Roush & Tabashnik 1991). Torjunta-aineita vaarattomiksi tekeviä entsyymejä ovat P450-mono-oksigenaasit, esteraasit ja glutationi-transferaasit. Näistä mono-oksigenaasit ovat yleisimmin resistenssin aiheuttajia esteraasien ollessa kakkossijalla. Mono-oksigenaaseja on paljon erilaisia (Nelson 2005), ja niillä on monia eri rooleja hyönteisten ja punkkien biologiassa (Scott 1996).

Entsyaattinen resistenssi ei siis välttämättä ole teho-ainekohtaista, vaan sama entsyymi voi hajottaa useitakin eri tavalla vaikuttavia aineita - siihenhän riittää, että aineen biokemiallisessa rakenteessa on osia, joihin entsyymi voi sitoutua. Esimerkiksi monet torjunta-aineet ovat kemialliselta rakenteeltaan estereitä, joten esteraasi-entsyymit pystyvät käyttämään niitä substraatteinaan eli katalysoimaan niiden hydrolyyttistä hajoamista riippumatta siitä, mihin vaikutustaparyhmään torjunta-aine kuuluu. (Devonshire 1991).

Onko aineiden vuorottelussa sitten mieltä, kun hyönteisten ja punkkien yleisin resistenssimekanismi kuitenkin pohjautuu "yleismies Jantusen" periaatteella toimiviin entsyymeihin eikä muuntuneisiin vaikutuskohteisiin, joihin perustuvaa resistenssiä vuorottelulla koetetaan estää? Totta kai on: vuorottelulla saadaan joka tapauksessa hidastettua yhtä tärkeää resistenssimekanismien yleistymistä torjuttavan tuholaisen populaatiossa, vaikka vuorottelu ei estäkään yhtä tehokkaasti a muiden resistenssimekanismien yleistymistä. Siksi **aineiden vuorottelun lisäksi on vähennettävä kaikin mahdollisin keinoin torjunta-ainekäsittelyjen määrää, jotta saadaan hi-**

dastettua muihinkin mekanismeihin kuin muuntuneeseen vaikutuskohtaan pohjautuvan resistenssin kehittymistä.

3.2. Resistenssin kehittymisen ennustaminen

Torjunta-ainevalmistajien on nykyään uusia torjunta-aineita rekisteröidessään tehtävä tehoaineille analyysi resistenssiriskistä ja annettava sen mukaiset ohjeet resistenssin hallinnasta. Resistenssin kehittymitodennäköisyyteen vaikuttavat kasvintuhoojan omat biologiset ominaisuudet, torjunta-aineen ominaisuudet sekä operatiiviset tekijät, jotka liittyvät aineiden käyttötapaan.

Se kuinka nopeasti resistentit yksilöt saavat ylivallan tuhoojapopulaatiossa ja miten voimakasta resistenssi on, riippuu monesta seikasta eikä yhtä ja kaikille aine- ja tuhojayhdistelmille yleispätevää arviota voida antaa. Kasvintuhoojan resistenssimekanismi pystytään toteamaan vasta resistenssin kehityttyä - sen ennustaminen yksittäistapauksissa on vaikeaa. Joitain yleislinjoja voidaan vetää lähtökohtana joko eliön elintavat tai aineen ominaisuudet. Perhosilla ja kova-kuoriaisilla, joiden toukat syövät lehtiä puuremalla, aineenvaihdunnallinen resistenssi perustuu useammin oksidaasi-entsyymeihin, kun taas punkeilla, jauhiaisilla ja kirvoilla, jotka syövät lähinnä tai vain pelkästään kasvinesteitä, esteraaseihin perustuva resistenssi on yleisempää (Ronis & Hodgson 1989).

Pitkään käytössä olleiden aineiden osalta tiedetään jo, millaisiin resistenssimekanismiin hyönteisten ja punkkien kestävyys niitä vastaan yleensä perustuu, mutta mekanismit eivät välttämättä ole samoja kaikissa populaatioissa tai kaikilla lajeilla. Ongelmallisimpia ovat uudet aineet, jotta eivät ole vielä laajamittaisessa käytössä.

Resistenssin kehittymistä ja mekanismeja voidaan jäljitellä laboratoriossa altistamalla kasvintuhoojan kasvatukset säännöllisesti torjunta-ainekäsittelyille. Mutta laboratoriossa osa hyönteisistä ja punkeista joudutaan jättämään eloon, jotta kanta saadaan pysymään hengissä, joten käsittelypitoisuuksien on oltava pienempiä kuin normaalissa torjuntatilanteessa, jossa tavoitellaan 100 %:n kuolleisuutta. Eloon jäävien yksilöiden resistenssimekanismi voi silloin olla erilainen kuin käytännön viljelytilanteessa. Ainepitoisuudesta – eli sen aikaansaamasta kuolleisuustasosta – nimittäin osittain riippuu, millainen on populaatiossa kehittyvän resistenssin geneettinen pohja. Käytännön viljelyssä syntyvä resistenssi on yleensä monogeenistä eli torjunta-ainepommituksesta jäävät henkiin yksilöt, joilla on yhdessä geenissä tapahtuneeseen mutaatioon perustuva resistenssimekanismi. Pienemmät pitoisuudet taas usein valikoivat polygeenistä resistenssiä, joka perustuu useiden geenien vaikutukseen ja on epäspesifimpää.

Torjunta-aineen markkinoille tuomisen jälkeen on huolehdittava siitä, että aineen käyttäjät noudattavat resistenssinhallinnan keinoja aineen tehon säilyttämiseksi mahdollisimman pitkään. Resistenssinhallinta onnistuu vain yhteistyössä torjunta-aineen valmistajan, rekisteröintiviranomaisten, viljelyneuvojien ja viljelijöiden itsensä yhteistyönä. Jos tämän ketjun loppupää pettää, koko resistenssinhallintastrategian kehittäminen on ollut turhaa.

3.3. Kasvintuhoojan ja torjunta-aineen ominaisuudet vaikuttavat resistenssiriskiä

Seuraavat kasvintuhoojan ominaisuudet lisäävät resistenssiriskiä (Anon. 2002):

- nopea elämänkierto, useita sukupolvia per vuosi
- suuri jälkeläistuotto ja tehokas leviäminen kasvusta ja paikasta toiseen
- lisääntyminen suvutonta (kirvat) tai haplo-diploidista (Carrière 2003) (etelänjauhiainen, jonka koiraat syntyvät hedelmöitymättömistä munista) (Anthony ym. 1998, Riley ja Tan 2001).
- laaja isäntäkasvivalikoima → biologisten ominaisuuksien luontainen geneettinen vaihtelu suurta
- populaatiot ovat eristyneitä, joten resistenssiä laimentavia kemikaaliherkkiä yksilöitä ei pääse sekoittumaan siihen
- lajilla esiintyy ristikkäis- tai moniresistenssiä (ks. s. 8)
- lajin resistenteilla populaatioilla on korkea elinkelpoisuus (resistenssimekanismi ei rajoita niiden muita elintoimintoja tai yleistä kehitystä)

Seuraavat torjunta-aineen ominaisuudet lisäävät resistenssiriskiä (Anon. 2002):

- pitkä jäämävaikutus (tuholaiset altistuvat aineelle pitkään)
- aine vaikuttaa vain yhteen kohtaan tuholaisen elimistössä
- resistenssiä koodaa vain yksi geeni
- kohdetuhoojan aineenvaihdunta pystyy käsittelemään torjunta-ainemolekyylin helposti vaarattomaan muotoon (esim. torjunta-aineen biokemiallisessa rakenteessa on paikkoja, johon entsyymit kiinnittyvät helposti)

Eräät agronomiset tekijät, jotka liittyvät kasvuston luonteeseen ja sen maantieteelliseen levinneisyyteen sekä torjunta-aineiden käyttöihyteen ja käytön ajoitukseen, nostavat resistenssiriskiä (Anon. 2002):

- viljelykasvia viljellään laajasti ja sillä on lyhyt viljelykierto
- kasvia viljellään monokulttuurina ja viljely on jatkuvaa
- torjunta-aineen antotapa: kasteluna annettavien systeemisten aineiden resistenssiriski on suurempi kuin ruiskutettavien aineiden. Systeemiset aineet päätyvät kaikkiin kasvei-

hin tasaisesti, jolloin kaikki tuholaiset altistuvat aineelle → käsittelystä selviävät vain resistentit yksilöt, ja resistenssiä laimentavia kemikaaliherkkyyseenejä kantavat yksilöt kuolevat pois.

- lannoitus ja muut viljelytekniikat, jotka vaikuttavat kasvintuhoojien lisääntymistä kiihdyttävästi
- kasvusto niin tiheä tai muuten siten rakentunut, että kemikaalikäsittelyjä joudutaan tekemään usein tai pitkä jäämävaikutus on välttämätöntä riittävän tehon takaamiseksi
- tuhoojaherkkien lajikkeiden käyttö (nopeuttaa kasvintuhoojien lisääntymistä ja lisää torjuntatarvetta)
- viljelyolosuhteet suosivat nopeaa lisääntymistä (=useampia sukupolvia per kasvukausi kuin keskimäärin) ja suuria populaatiotiheyksiä
- torjunta-ainetta ei vuorotella muuntyyppisten aineiden kanssa.
- kemikaaleille vaihtoehtoisia torjuntakeinoja ei ole tai niitä on liian vähän

Resistenssin kehittymisen todennäköisyys jollekin torjunta-aineelle voidaan arvioida karkeasti vastaamalla Taulukon 1 (s. 14) kysymyksiin, joiden avulla tarkastellaan yhdistelmää tuholaislaji, torjunta-aine ja torjuntaolosuhteet.

Vain agronomisiin ja operatiivisiin tekijöihin voidaan jossain määrin vaikuttaa resistenssin kehittymisen hidastamiseksi – muut edellä mainitut tekijät joudutaan yleensä ottamaan annettuina. **Torjunta-aineiden vuorottelu on tehokkain tapa hidastaa resistenssin kehittymistä.**

3.1. Torjunta-aineiden vaikutustapaluokitus ja vuorottelu resistenssinhallinnan menetelmänä

Insecticide Resistance Action Committee (<http://www.irac-online.org>) ja Fungicide Resistance Action Committee (<http://www.frac.info>) ovat luokitelleet torjunta-aineet niiden vaikutustavan mukaan

ja päivittävät luokituksia jatkuvasti (Taulukko 2 ja 3 s. 15-16). Vaikutustapaluokitusta hyödynnetään resistenssinhallinnassa, kun eri tavoin vaikuttavia aineita vuorotellaan keskenään resistenssin kehittymisen hidastamiseksi.

Tuhoeläinaineiden pääryhmiä on viimeisimmässä luokitteluversiona jo 28. Samaan pääryhmään saattaa kuulua useita erinimisiä tehoaineita, mutta niiden vaikutustapa on silti sama. Esimerkiksi kaikki pyretroidit (Suomessa alfa-sypermetriini, deltametriini, lambda-syhalotriini, sypermetriini, pyretriini) kuuluvat pääryhmään 3. Eri tehoainemistä huolimatta kaikki pyretroidit vaikuttavat samalla tavalla: ne ovat hermosolujen natirumkanavien modulaattoreita ja vaikuttavat proteiineihin, joista muodostuvat hermosolun sisä- ja ulkopuolen välistä ionivirtausta säätelevät natriumkanavat. Jos kasvintuhoojassa siis kehittyi resistenssi yhdelle pyretroidille, muutkaan pyretroidit eivät enää siihen yleensä tehoa. Puhutaan ristikkäisresistensistä: eliö sietää kaikkia samalla tavalla vaikuttavia aineita.

Moniresistenssillä taas tarkoitetaan sitä, että kasvintuhoojalla on useampia kuin yksi resistenssimekanismi, jotka voivat antaa suojan myös eri tavoin vaikuttavia torjunta-aineita vastaan. ”Superyksilöiden” olemassaolo ei siis ole täysin mahdotonta ja torjunta-aineiden vääränlaiset käyttötavat edistävät tällaisten yksilöiden henkiinjäämistä ja yleistymistä.

Jotkin pääryhmistä on jaettu alaryhmiin, joka hieman lisää mahdollisuuksia resistenssinhallintaan, sillä eri alaryhmiin kuuluvia aineita voidaan joissain tapauksissa vuorotella keskenään

3.2. Resistenssinhallinnan nyrkkisäännöt

1. Aloita ajoissa!

Jotta resistenssinhallinta onnistuisi toivotulla tavalla, resistenssinhallintaan tähtäävät toimenpiteet on aloitettava jo, kun tuholaispopulaatiossa on vasta < 1 % yksilöitä, jotka kantavat resistenssialleleeja.

Aina kun uusi aine otetaan käyttöön tuholaisen torjunnassa, resistenssinhallinta suunnitellaan ja pannaan toimeen HETI.

2. Minimoi torjunta-aineiden käyttö!

Vähennä valintapainetta, joka aiheutuu torjunta-aineiden tiheästä käytöstä ja johtaa ainetta kestävien yksilöiden yleistymiseen niiden valikoituessa sukua jatkamaan. Torjunta-aineita kestävät tuholaiset menestyvät yleensä hyvin vain silloin, kun torjunta-ainealtistus on jatkuvaa. Ilman torjunta-aineita ne ovat vähemmän elinkelpoisia kuin aineelle herkät yksilöt. Resistenssimekanismin ylläpidosta aiheutuu nimittäin yleensä aineenvaihdunnallisia kustannuksia, jotka maksavat itsensä takaisin vain silloin, kun mekanismia tarvitaan hengissäpysymiseen. Kun torjunta-ainealtistus vähenee, ainetta kestävät yksilöt eivät enää pärjää suhteessa ei-resistentteihin yksilöihin ja kuolevat vähitellen sukupuuttoon.

Yhdistä kemialliseen torjuntaan ennaltaehkäisevä viljelyksellinen ja biologinen torjunta sekä muut ei-kemialliset torjuntakeinot sekä kasvintuhoojien tarkkailu, jotta osaat perustaa torjuntatarpeen tietoon eikä luuloon ja vältät turhia käsittelyjä. Tee käsittelyjä vain tarvittaessa ja silloin, kun niillä saavutetaan tuhoajan käsittelylle herkimät vaiheet. Varmistu siis kasvintuhoojien tarkkailun avulla, että kasvustossa on aineelle herkkiä kehitysasteita mahdollisimman paljon.

3. Vuorottele vaikutustavaltaan erilaisia torjunta-aineita!

Torjunta-aineiden vuorottelun idea perustuu siihen oletukseen, että tuhoojien joukossa ei ole sellaisia yksilöitä, joilla olisi valmiina resistenssimekanismi usealle eri tavoin vaikuttavalle aineelle. Jos yhtä ainetta kestävät yksilöt alkavat yleistyä kasvihuoneessa, toisella tavalla vaikuttavalla aineella ne saadaan tapettua. Aineiden vuorottelulla pyritään siis estämään muuntuneeseen vaikutuskohtaan perustuvaa resistenssiä.

IRAC (Insecticide Resistance Action Committee) on luokitellut torjunta-aineet ryhmiin niiden vaikutustavan mukaan (ks. liite lopussa). Jokaisella aineella on ryhmäkoodi, jota käyttämällä on helppo suunnitella aineiden vuorottelujärjestys. Yhdellä aineella torjutaan tuholaisen yhtä sukupolvea. Sen jälkeen käytetään toisella tavalla vaikuttavaa ainetta. Yleensä tietyn aineen seuraavaa käyttöjaksoa suositellaan vasta sen jälkeen, kun välissä on käytetty vähintään kahta muuta ainetta tuholaisen kahden sukupolven aikana. Monilla aineilla on kuitenkin tätä sääntöä tiukempia käyttökertojen rajoituksia, jotka on tunnettava. Tällaisilla aineilla käyttökertojen määrä on rajoitettu aineesta riippuen tavallisimmin 1-3 käyttökertaan kasvukaudessa (kasvihuoneessa viljelyjakso tai vuosi riippuen kasvin viljelykierron koko kestosta).

4. Tee käsittelyt torjuntablokkeina!

Torjuntablokki on tuholaisen sukupolven mittainen. Sukupolven pituus saadaan laskemalla yhteen eliön kehitysaika munasta aikuiseksi ja puolet aikuisen eliniästä. Tavallisissa kasvihuonelämpötiloissa (20-25°C) tärkeimpien kasvintuhoojien sukupolven pituus on seuraava: vihannespunkki 22-28 vrk, ansarijauhiainen 25-42 vrk, (etelänjauhiainen 38-60 vrk), kalifornianripsiaäinen 31-36 vrk, kirvat 14-20 vrk. Sukupolven pi-

tuus riippuu siis voimakkaasti lämpötilasta, mutta ravintokasvikin vaikuttaa siihen.

5. Ei liian tiheitä käsittelyvälejä torjuntablokin sisällä!

Torjuntablokin sisällä tehtävien uusintakäsittelyjen väli on määritelty aineen jäämävaikutuksen pituuden mukaisesti. Useimilla aineilla torjuntablokin aikana tehdään 2-3 käsittelyä, mikäli aineen käyttörajoitukset tai jäämävaikutus ei rajaa käsittelyjen määrää tai niiden välejä.

Jatkuvat liian tiheet käsittelyvälit johtavat tilanteeseen, jossa kasveilla on isompia torjunta-ainepitoisuuksia kuin aineen käyttöohjeissa on tarkoitettu. Kun uusintakäsittelyjen väli on lyhempi kuin mitä kuluu aineen hajoamiseen kasvustossa, päädytään yliannostukseen, jolla on resistenssin kehittymistä nopeuttava vaikutus (ks. kohta 6).

6. Jätä torjuntablokkien väliin torjunta-aineeton 2-3 viikon pituinen jakso!

Torjunta-ainekäsittelyjen lukumäärää täytyy pyrkiä pienentämään pitämällä torjuntablokkien välissä jakso, jolloin ei käytetä synteettisiä kemiallisia torjunta-aineita. Biorationaalisia aineita - mm. saippuat ja öljyt - saa toki silloin tarvittaessa käyttää, sillä niille ei kehity resistenssiä. Jakson pituus riippuu lämpötilasta ja on lyhin kesällä.

Jos torjunta-aineetonta jaksoa ei voi jättää blokkien väliin, torjunnassa on jotain pielesä (käsittelyolosuhteet, uusintakäsittelyjen huolimattomat välit, alkava tai pitkälle edennyt resistenssi), koska aineiden tehot eivät riitä alentamaan tuhoojapopulaatiota riittävästi niin että käsittelyissä voisi pitää taukoa.

7. Älä sorru aineiden yliannostukseen!

Torjunta-aineen yliannostus voi tuntua houkuttelevalta keinolta tilanteessa, jossa suositeltu annostus ei enää tehoa. Yliannostus saattaa hetkellisesti tehota kestäviksi tullessiin tuholaisiin, jos niiden resistenssimekanismi perustuu entsyymaattiseen detoksifikaatioon. Yliannostusta käytettäessä torjunta-ainetta joutuu tuhoojan elimistöön niin paljon, että sitä vaarattomaksi tekevää entsyymiä ei riitä tarpeeksi hajottamaan koko ainemäärä vaarattomampaan muotoon. Mutta vaarana on, että silloin jäävät henkiin ne yksilöt, joilla on vaikutuskohteen muuntumiseen perustuva resistenssimekanismi. Sellaisiin ei yliannostus tehoa. Nimittäin jos torjunta-ainemolekyylillä ei ole paikkaa, mihin kiinnittyä tuholaisen elimistössä, aine ei tietenkään voi tappaakaan niitä.

Ohjeenmukaisen annoksen pienentäminen ei ole resistenssinhallinnan kannalta hyväksi. Annoksen pienentäminen alle ohjeenmukaisen suosituksen voi kyllä hidastaa muuntuneeseen vaikutuskohtaan perustuva resistenssimekanismia kantavien yksilöiden valikoitumista populaatiosta. Näin siksi, että pienennetty annostus jättää henkiin osan Aa-yksilöistä, jotka siirtävät torjunta-aineherkkyyttä jälkeäisilleen, niin että umpiresistentit aa-yksilöt eivät pääse vallitseviksi populaatiossa. Annoksen pienentämisen seuraus voi kuitenkin olla, että selviäjissä on sellaisia yksilöitä, jotka kantavat elimistönsään polygeenistä resistenssimekanismia. (McKenzie 2000).

8. Älä käytä eri tavoin vaikuttavien aineiden tankkisekoituksia!

Tankkisekoitukset edistävät moniresistenssin syntyä. Tankkiseokset ovat kuitenkin sallittuja aineille, jotka vaikuttavat tuholaisen eri kehitystasteisiin, esimerkiksi aine A muniin ja aine B liikkuviin asteisiin. Tällöin

resistenssin kehittymisvaara katsotaan pieneksi.

Saman sukupolven aikana eli torjuntablokin sisällä tehdyt käsittelyt eri tavoin vaikuttavilla aineilla ovat sama asia kuin tankkiseos. Jos kasveilla on yhtä aikaa eri tavoin vaikuttavia aineita, tuholaiset altistuvat niille yhtä aikaa. Tämä tilanne on sama kuin jos käsittelyt olisi tehty aineiden tankkiseoksella.

9. Keskitä heikommin vaikuttavat aineet syksyyn ja talveen!

eli siis aikaan, jolloin tuholaiset eivät lisäänty yhtä nopeasti kuin kesällä. Näin et "tuhlaa" parhaiten tehoavien aineiden käyttö-kertoja ennen pahinta tuholaiden lisääntymisvaihetta.

Ajoita aineiden käyttöä myös sen mukaan, miten valo ja lämpö vaikuttavat niiden hajoamisnopeuteen kasveilla ja kasvustossa. Esimerkiksi abamektiini (Vertimec) ja luonnon pyretriini (Bioruiskute ja Bioruiskute S) hajoavat nopeasti valon ja lämmön vaikutuksesta. Niiden jäämävaikutus on pisin ja teho sen takia paras syys- ja talviaikaan. Joskus aineen käyttö kielletään kokonaan tiettyinä jaksona vuodesta, jotta sen käyttö voidaan säästää ajankohtaan, jolloin kasvin-tuhoojien vioitusvaara kasville on suurin ja torjunta on oleellista saada onnistumaan hyvin.

10. Seuraa torjunnan tehoa!

Tarkista luupin tai mikroskoopin avulla lehtinäytteistä, miten hyvin torjunta-aine on tehonnut. Ota selvää huonon tehon syistä: onko kyseessä alkava tai pitkälle kehittynyt resistenssi vaiko olosuhteista johtuva tehotomuus kuten huono ruiskutuspeittävyys, tehoton ruiskutusväline, aineen liian nopea hajoaminen kasvustossa valon vaikutuksesta, veden väärä pH joka nopeuttaa aineen

hajoamista, alhainen ilmankosteus joka tai kuumuus, joiden takia aine haihtuu kasveilta liian nopeasti, väärä lämpötila aineen hajoamisnopeuden ja tehon kannalta jne.

Resistenssistä saa varman tiedon vain testaamalla tuholaiden resistenssitason. Menetelmä vihannespunkkien resistenssitason testaamiseksi otetaan käyttöön vuoden 2007 MTT:ssa. Muille tuhoajille ei testauspalveluita ole toistaiseksi kehitteillä.

3.3. Pääseekö resistenssistä eroon?

Jos kasvihuoneen tuhoajapopulaatiossa on kehittynyt resistenssi, siitä on erittäin vaikea päästä kokonaan eroon, ellei mikään muu aine tehoa resistentteiksi tullessiin yksilöihin sataprosenttisesti.

Tiettyä ainetta kestävien resistenttien yksilöiden osuus alkaa pienentyä, kun aine pannaan lepäämään eli tauolle. Näin käy kuitenkin vain siinä tapauksessa, että resistentteillä yksilöillä on suhteellinen valintaetu puolellaan ainoastaan torjunta-aineilla käsitellyssä ympäristössä. Jos ne menestyvät ja lisääntyvät hyvin, vaikka torjunta-ainetta ei käytettäisikään, niiden osuu populaatiosta vähenee vain hyvin hitaasti tai ei ollenkaan (edellyttäen tietenkin, ettei mikään muukaan aine enää tehoa niihin täysin).

Vihannespunkin torjunta-aineista muun muassa Nissorun on aine, jota vastaan kehittynyt resistenssi häviää punkeista vain hitaasti. Kalifornianripsisiäisten Mesurol-resistenssi alenee alhaiselle tasolle vasta noin 50 sukupolven jälkeen, ja mikäli mikään muukaan aine ei ripsisiäisiin enää tehoa kunnolla, Mesurolia kestävien ripsisiäisten määrä jää tietylle alhaiselle tasolle ripsiäispopulaatioon ja alkaa nousta korkeammaksi heti, jos aine otetaan uudelleen toistuvaan käyttöön.

Resistenssi laimenee tuhojapopulaatiossa myös sitä kautta, **että populaatioon tulee sen ulkopuolelta torjunta-aineherkkiä yksilöitä, jotka parittelevat resistenttien yksilöiden kanssa.** Resistenssin laimeneminen tällä tavalla onnistuu kuitenkin vain silloin, kun kemikaaliherkät yksilöt säilyvät populaatioon levittyään hengissä tarpeeksi kauan, jotta ne ehtivät paritella resistenttien lajitovereidensa kanssa. Jatkuvat torjunta-ainekäsittelyt estävät tietysti tällaisen laimenemisen. Torjunta-aineettomat jaksot torjuntablokkien välissä ja torjunta-aineiden käytön minimointi ylipäättään luo tilaisuuksia tälle resistenssin laimenemistavalle.

Hyvin harvoissa tapauksissa tuholaispopulaation yksilöissä itsessään tapahtuu **takaisinmutaatio** eli jotkut resistentit yksilöt saavat mutaation seurauksena torjunta-aineherkkyyden takaisin ja siirtävät sen jälkeläisilleen. Tähänkin pätee sama kuin edellä, eli herkkien yksilöiden on selvittävä hengissä, jotta ne ehtivät lisääntyä ja siirtää herkkyyttä jälkeläisilleen.

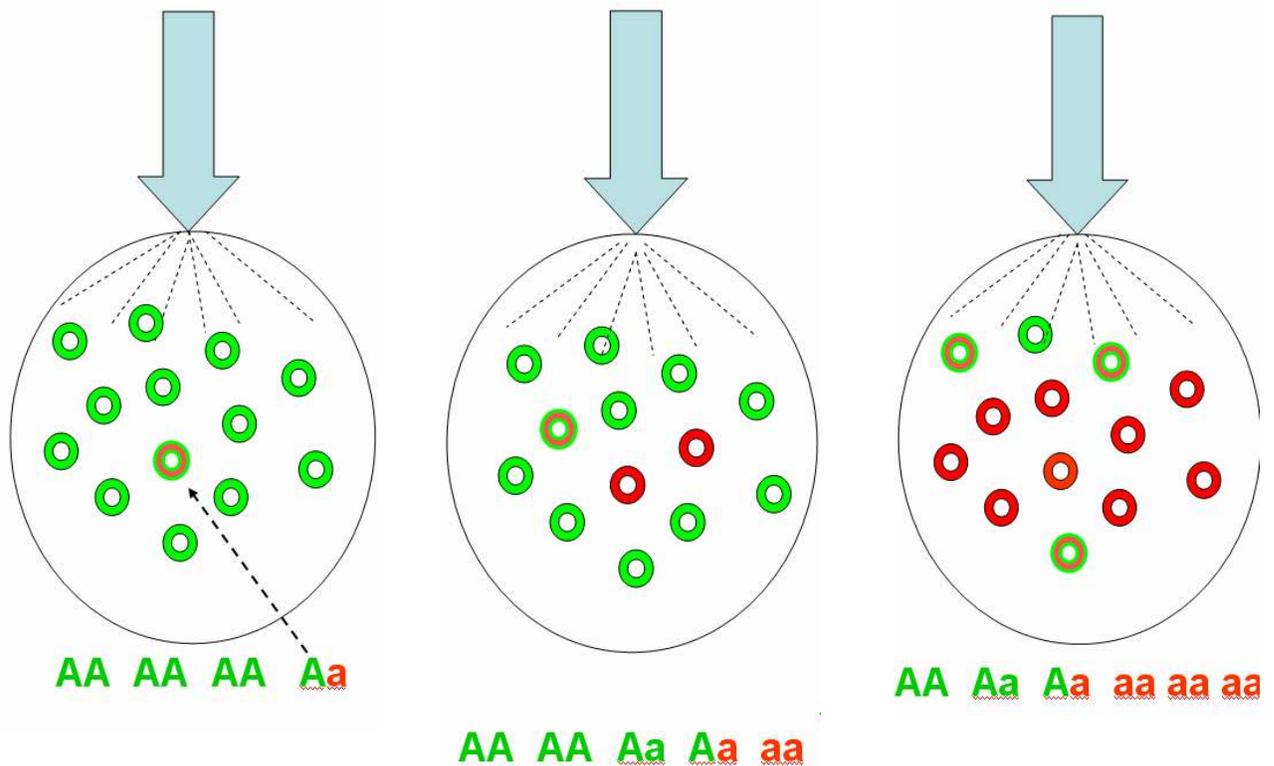
Aina kun uusi aine otetaan käyttöön tuholaisen torjunnassa, on noudatettava alusta alkaen resistenssinhallinnan nyrkkisääntöjä.

Kasvihuoneviljelyssä tehokaskin resistenssinhallinta voi kaatua siihen, että viljelmälle tulee kasvimateriaalin mukana jo **valmiiksi resistentti** tuholaiskanta. Resistenssi-ongelmiin voidaan siis törmätä aivan uusienkin aineiden kanssa, jos etukäteen resistenttejä kantoja pääsee viljelmälle. Kasvimateriaalin pito karanteenissa ennen kasvien viemistä kasvihuoneisiin ja havaittujen tuholaisien käsittely biologisin menetelmin esim. sienivalmisteilla jo taimivaiheessa on perusteltua, jotta etukätes resistenssin aiheuttamilta torjuntaongelmilta vältyttäisiin. Ylipäättään biologinen torjunta auttaa vähentämään tor-

junta-ainekäsittelyjen määrää ja hidastamaan resistenssin kehittymistä.

4. Lähteet

- Anon. 2002. Resistance risk analysis. Efficacy evaluation of plant protection products. EPPO PP 1/213(2). 18 pp.
http://www.eppo.org/PPPRODUCTS/pp1_files/pp1_213-2-e.pdf
- Carrière, Y. 2003. Haplodiploidy, sex, and the evolution of pesticide resistance. *Journal of Economic Entomology* 96: 1626-1640.
- Devonshire, A. 1991. Role of esterases in resistance of insects to insecticides. In, *Role of enzymes in xenobiotic toxicity*.
- French-Constant, R. H., Daborn, P. J., Le Goff, G. 2004. The genetics and genomics of insecticide resistance. *TRENDS in Genetics* 20: 163-170.
- Fungicide Resistance Action Committee.
www.frac.info
- Insecticide Resistance Action Committee.
<http://www.irac-online.org>
- McKenzie, J. A. 2000. The character or the variation: the genetic analysis of the insecticide-resistance phenotype. *Bulletin of Entomological Research* 90: 3-7.
- McKenzie, J. A., Batterham, P. 1994. The genetic, molecular and phenotypic consequences of selection for insecticide resistance. *Trends in Ecology and Evolution* 9, 166-169.
- Nelson, D. 2005. Cytochrome P450 homepage.
<http://drnelson.utmem.edu/CytochromeP450.html>
- Oppenoorth, F. J. 1985. Biochemistry and genetics of insecticide resistance. In, Kerkut, G. A., Gilbert, L. I. (eds.), *Comprehensive insect physiology, biochemistry and pharmacology*. Pergamon Press, Oxford, pp. 731-773.
- Ronis, M. J., Hodgson, E. 1989. Cytochrome P-450 monooxygenases in insects. *Xenobiotica* 19: 1077-1092.
- Roush, R. T., Tabashnik, B. E. (eds.) 1991. *Pesticide Resistance in Arthropods*. Chapman and Hall: New York and London. 303 pp.
- Scott, J. G. 1996. Cytochrome P450 monooxygenase mediated resistance to insecticides: *Journal of Pesticide Science* 21: 241-245.
- Tabashnik, B. E., Liu, Y-B., Malvar, T., Heckel, D. G., Masson, L. & Ferré, J. 1998. Insect resistance to *Bacillus thuringiensis*: uniform or diverse. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B* 353, 1751-1756.
- Thompson, 2003. The issues facing industry in the management of resistance in Europe. *The BCPC International Congress. Crop Science and Technology*, vol. 2, p. 697.



Kuva 1. Resistenssialleelin a yleistyminen tuholaispopulaatiossa. **Vas.:** vihreät pallot (**AA**) ovat normaaleja, kemikaaleille herkkiä genotyyppijä. Kun tuholaisen toinen alleeli on resistenssiä koodaava **a**, heterotsygotinen **Aa**-yksilö (nuoli) on ilmiasultaan joko kemikaaliherkkä, lievästi resistentti tai kokonaan resistentti riippuen siitä, onko **a**:n vaikutus väistävää, osittain dominoiva vaiko dominoiva suhteessa **A**-alleeliin. Usein resistenssialleeli on väistävää: yksilö tarvitsee **a**-alleelin molemmilta vanhemmiltaan ollakseen resistentti. Kun **Aa**-yksilöt parittelevat **AA**-genotyyppien kanssa ja keskenään, syntyy myös genotyyppijä **aa**, jotka ovat resistenttejä (**kesk.**). Niillä on suhteellinen valintaetu silloin, kun kasvustoa ruiskutetaan toistuvasti torjunta-aineella. **Oik.** **aa**-genotyyppi on yleistynyt vallitsevaksi, sillä kemikaaliherkät **AA**:t ovat lähes kuolleet sukupuuttoon. Resistenssiä laimentavaa **A**-alleelia on populaatiossa enää hyvin vähän. Ohjeenmukaisella annostuksella käsittely ei tuota enää haluttua torjuntatulosta.

Taulukko 1. Resistenssin kehittymisriskin arvioinnissa sovellettava taulukko. Resistenssivaaraa arvioidaan suhteessa kasvintuhoojaa ja torjunta-ainekäsittelyjä luonnehtiviin tekijöihin (Thompson 2003). Taulukkoa on sovellettu Floramite-valmisteelle (väritetyt solut taulukossa), jota voidaan 2006 käyttää koeluvalla vihannespunkin torjuntaan leikkoruusulla.

Resistenssin kehittymisen todennäköisyys			
Biologiset tekijät:	Matala (1 piste)	Keskisuuri (3 pist.)	Korkea (5 pist.)
Kasvintuhoojalla sukupolvia /vuosi	<2	2-5	>5
Sekoittuuko populaatioon yksilöitä kasvihuoneen ulkopuolisista populaatioista?	Kyllä, usein	Jonkin verran	Ei ollenkaan
Kasvintuhoojan isäntäkasvivalikoima	Kapea	Kohtalaisen laaja	Laaja
Lisääntymiskapasiteetti	Pieni (10 jälkeläistä/naaras)	Kohtalainen (50 /naaras)	Suuri (50 /naaras)
Lisääntymistapa		Suvullinen	Suvuton

Aineen ominaisuuksiin liittyvät ja operatiiviset tekijät:

Kehitysasteita, joihin aine tehoaa	Yksi		Useita (munat+aik.)
Aineen hajoamisnopeus kasvustossa	Nopeasti hajoava	Kohtalainen (Floramiten jäämävaikutus 3-4 viikkoa)	Hidas
Onko kasvintuhoojassa ollut resistenssiä aikaisemmin jollekin aineelle?	Ei	Kyllä, <2:lle eri tavalla vaikuttavalla aineelle (Torque, Nissorun)	Kyllä, > 2 eri tavalla vaikuttavalle aineelle
Systeemisyyys (kulkeutuuko kasvissa)	Ei	Jonkin verran	Systeeminen aine
Onko kasvintuhoojalla mahdollisuus välttää aineelle altistumista?	On, piilopaikkoja kasvustossa paljon	Piilopaikkoja jonkin verran (lehtien alapinnat taivuttamalla viljellyllä leikkoruusulla)	Ei
Käsittelyjä vuodessa	1	2-5 käsittelyä (Floramite-käsittelyjä saa olla vuodessa korkeintaan 4 jaettuna kahteen torjuntablokkiin.	>3
Torjuntateho, %	<30	30-90 tai >99	90-99
Aineen käytön laajuus % vihannespunkkiaineiden markkinaosuudesta	<25	25-50	>50
Käyttäjät myönteisiä resistenssinhallinnalle?	Kyllä		Ei
Vaihtoehtoisia torjuntamenetelmiä?	Ei	Jonkin verran (yht. 3 eri tavalla vaikuttavaa ainetta)	Useita
Onko vaaraa ristikkäis-resistenssistä muille aineille?	Ei, aineen vaikutustapa täysin uusi		Kyllä, aineella sama vaikutustapa kuin jollain toisella samaan tarkoitukseen yleisesti käytetyllä aineella

Floramite: yhteispisteitä 52=kohtalaisen suuri resistenssiriski

Yhteispisteitä < 40 Alhainen resistenssiriski
 40-60 Kohtalaisen suuri resistenssiriski
 > 60 Suuri resistenssiriski

Taulukko 2. Insektisidien ja akarisidien vaikutustapaluokitus Suomessa rekisteröityjen aineiden osalta. Lähde: <http://www.irac-online.org>. Tuhoeläinaineiden käyttöpitoisuudet ym. ks. <http://www.agropolis.fi/into/materiaalit/KoristekasvienTuhoelainaineet2006.pdf>

Ryhmä	Vaikutustapa	Valmisteet (tehoaine)
1	Asetyylikoliiniesteraasin estäjät	MesuroI (metiokarbi) Pirimor (pirimikarbi) Malan, Malasiini (malationi) Metasystox (oksidemetonimetyyli)
2	GABA-portein varustettujen kloridikanavien vastavaikuttajat	Regent (fiproniili)
3	Hermosolujen natriumkanavien modulaattorit	Karate (lambda-syhalotriini) Fastac, Kestac (alpha-sypermetriini) Decis (deltametriini) Bioruiskute (pyretriini)
4	Nikotiini-asetyylikoliini –reseptorien vastavaikuttajat	Confidor (imidaklopridi) Nikotiini-käryte (nikotiini)
5	Nikotiini-asetyylikoliini-reseptorien vastavaikuttajat (allosteerinen) (spinosynit)	Conserve (spinosadi) (koetoimintalupa)
6	Hermosolujen kloridikanavien aktivaattorit	Vertimec (abamektiini) (koetoimintalupa)
7	Nuoruushormonien matkijat	Admiral (pyriproksifeni) (koetoimintalupa)
9	Valikoivat syönnestäjät (vaikutustapa tuntematon tai epäspesifinen)	Plenum (pymetrotsiini)
10	Vaikutustapa tuntematon tai epäspesifinen (punkkien kasvun säätö)	Nissorun (heksytiatsoksi)
11	Hyönteisten ruuansulatuskanavan mikrobipohjaiset häiritsijät	Turex (Bacillus thuringiensis)
12	ATP:n muodostumisen häiritsijät	Torque (fenbutatinaoksidi)
15	Kitiinibiosynteesin estäjät, tyyppi 0	Dimilin (diflubentsuroni)
16	Kitiinibiosynteesin estäjät, tyyppi 1	Applaud (buprofetsiini)
25	Hermostolliset estäjät (vaikutustapa tuntematon)	Floramite (bifenatsaatti) (koetoimintalupa)
27	Synergistit (tehosteaineet)	Piperonylibutoksidi, jota on pyretriinin tehosteena seuraavissa: Johnson Kukka-Raid, Johnson-Raid House & Garden Insect Killer, Puutarha-aero-soli, Substral-Spray, Ötökkä-torjunta-aine

Esimerkki jauhiaisten torjunnasta: Tämänhetkiselällä (2006) ainevalikoimalla, kun mukaan otetaan myös koeluvan turvin käytössä olevat valmisteet, jauhiaisten resistenssinhallintaan on hyvät mahdollisuudet. Jauhiaisiin tehoavia aineita on 6 eri vaikutustaparyhmästä, ja niiden joukossa on myös eri kehitysasteisiin tehoavia valmisteita. Käyttörajoituksia on kuitenkin useimmilla (Confidor, Plenum, Applaud, Conserve), ja muitakin on käytettävä torjuntablokkeina (ei samaa ainetta perättäisissä blokeissa) resistenssikehityksen hidastamiseksi.

Valmiste	Pääryhmä	Vaikutuskohde jauhiaisilla
Confidor	4	pienet toukat, aikuiset
Applaud	16	pienet toukat
Plenum	9	aikuiset
Admiral	7	munat, toukat jotka kuolevat aikuistuessaan (koeluvalla)
Vertimec	6	munat, pienet toukat (aikuiset) (koeluvalla)
(Conserve)	5	nuoruusasteet (koeluvalla, vain systeemisesti annettuna tehokasta)

Taulukko 3. Fungisidien vaikutustapaluokitus Suomessa rekisteröityjen aineiden osalta. Lähde: <http://www.frac.info>. Fungisidien käyttöpitoisuudet ym. ks. http://www.agropolis.fi/into/materiaalit/KoristekasvienTautiaineet_2006.pdf

Ryhmä	Vaikutuskohde	Valmisteet (tehoaine) ja sen resistenssiriski
A2 (fenyylimidi)	RNA-polymeraasi I	Nimrod (koetoimintaluvalla) (bupirimaatti). Korkea resistenssiriski . Resistenssi ja ristikkäisresistenssi tämän ryhmän aineille yleistä Oomycetes-sienillä.
B1 (metyylibentsimidatsolikarbamaatti)	Solun mikrotubulusten rakennusainevalkuainen β -tubuliini mitoosissa (kromosomit eivät järjesty normaalisti pareiksi solunjakautumisessa)	Topsin M (tiofanaattimetyyli). Korkea resistenssiriski . Resistenssi yleistä monilla sienilajeilla. Useita resistenssin aiheuttavia mutaatioita tunnetaan. Rajoitus: vain 2 käsittelyä kasvukaudessa.
C3 (Qool-fungisidit)	Mitokondrioissa kompleksi III:n Qo-kohdan sytokromi-bc1 (ubikinoni-oksidaasi)	Amistar (atsokistrobiini) (off-label rekisteröinti). Korkea resistenssiriski . Resistenssi tunnetaan useista eri sienistä. Candit (kresoksiimimetyyli) (koelupa). Korkea resistenssiriski . Huom. Ristikkäisresistenssi yleistä C3-ryhmään kuuluvien aineiden välillä.
F1 (dikarboksimidi)	NADH-sytokromi C-reduktaasi lipidien peroksidation aikana	Rovral-neste, Rovral 75 WG (iprodoni). Resistenssiriski kohtalainen/ korkea . Resistenssi yleistä harmaahomeella ja todettu erällä muillakin sienillä.
F4 (karbamaatti)	Solukalvon läpäisevyystekijät ja rasvahapot	Previcur N (propamokarbohydrokloridi). Resistenssiriski alhainen/kohtalainen . Resistenssihallinta silti välttämätön.
G1 (triatsoli)	C14-metylaasi sterolien biosynteesissä.	Topas 100 EC, Tilt 250 EC (Tilt off label) (penkonatsoli). Kohtalainen resistenssiriski . Resistenssitapauksia tunnetaan useista sienilajeista, joilta löydetty useita eri resistenssimekanismeja. Oletusarvo on, että tämän ryhmän samaan sienilajiin vaikuttavilla fungisideilla on ristikkäisresistenssiä.
G3 (hydroksianilidi)	3-ketoreduktaasi, C4-metylaatio	Teldor WG 50 (fenheksamidi). Alhainen/kohtalainen resistenssiriski . Resistenssihallinta tarpeen.
M6 (sulfamidi)	Useita vaikutustapoja eri kohdissa sienien aineenvaihduntaa	Euparen M (tolyylifluaniidi). Alhainen resistenssiriski .
U	tuntematon vaikutustapa	Aliette 80 WG (fosetyyli-Al). Alhainen resistenssiriski . Vain harvoja resistenssitapauksia tunnetaan.