
RIKKAKASVIEN RESISTENSSIRISKIT SUOMESSA



Ammattikorkeakoulun opinnäytetyö

Maaseutuelinkeinojen ko.

Mustiala, 27.04.2012

Jarkko Anttonen



MUSTIALA

Maaseutuelinkeinojen koulutusohjelma
Maatilatalouden suuntautumisvaihtoehto

Tekijä	Jarkko Anttonen	Vuosi 2012
Työn nimi	Rikkakasvien resistenssiriskit Suomessa	

TIIVISTELMÄ

Opinnäytetyössä selvitettiin herbisidiresistenssin syntyyn, esiintymiseen ja ennaltaehkäisemiseen sekä jo todetun resistenssin torjuntaan liittyviä tekijöitä ja toimenpiteitä mahdollisimman kansantajuisesti. Ensisijaisesti keskityttiin tilanteeseen Suomessa ja EU:n pohjoisella vyöhykkeellä. Etelä- ja Keski-Euroopassa herbisidiresistenssi on keskeinen viljelyyn liittyvä ja sitä rajoittava tekijä, ja sen merkitys pohjoisella vyöhykkeellä tulee kasvaamaan. Työhön liittyi NORBARAG:n järjestämä rikkapuntarpään (*Alopecurus myosuroides*) resistenssitesti, joka toteutettiin Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskuksessa Jokioisilla, ja jonka tekemiseen itsekin osallistuin. MTT oli työni toimeksiantaja.

Resistenssitesti tehtiin käyttäen Rothamsted Rapid Resistance Test –menetelmää. Testissä tutkittiin neljän eri valmisteiden tehokkuutta rikkapuntarpää-populaatioihin. Työssä kuvataan myös hukkakauran siementen resistenssitestiä, jonka NORBARAG oli toteuttanut vuonna 2009. Testissä tutkittiin Pohjoismaista kerättyjä hukkakauran siemeniä. Testin aineisto ja tulokset olivat valmiiksi olemassa.

Suuri osa opinnäytetyöni teoriaosuudesta käsitteli resistenssiin liittyviä seikkoja ja menetelmiä, joilla resistenssin leviäminen Pohjoismaissa ennaltaehkäistään. Teoriasuutta varten tutustuttiin useisiin alan lähteisiin ja kirjallisuuteen.

Resistenssitestin tulosten mukaan testissä olleet rikkapuntarpää-populaatiot olivat yhtä lukuun ottamatta kestäviä tutkituille valmisteille. Hukkakauran siementen resistenssitestin tulosten perusteella ei voi varmasti sanoa, että tutkitut siemenet olisivat kestäviä. Suomen kohdalla opinnäytetyöni todensi rikkakasvien resistenssiriskin olemassaolon, sillä saman vaikutustavan omaavien herbisidien toistuvan käytön seurauksena Suomessakin on havaittu resistentti pihatahtimö-populaatio.

Avainsanat Herbisidi, resistenssi, kasvinsuojelu, rikkakasvi.

Sivut 30 s. + liitteet 1 s.

Mustiala
Degree Program in Agriculture and Rural Industries
Agriculture Option

Author	Jarkko Anttonen	Year 2012
Subject of Bachelor's thesis	Herbicide resistance risks in Finland	

ABSTRACT

The aim of this thesis was to find out factors being related to the development of herbicide resistance and its occurrence especially in the Northern zone of EU. Also the prevention and management of herbicide resistance were noted. The Commissioner of thesis was MTT (Agrifood Research Finland).

Herbicide resistance is a central factor that harms cropping in South and Central Europe and the significance of herbicide resistance will increase also in Northern zone of Europe.

One case study for the thesis was a resistance test of black grass (*Alopecurus myosuroides*) organized by NORBARAG. The test was carried out in four countries using Rothamsted Rapid Resistance Test –method. In Finland the test was executed by MTT. The test found out the effects of four herbicides to seven black grass populations. Another case was herbicide susceptibility of wild oat seeds from Nordic and Baltic countries. This test was carried out in 2009 and all the material and results already existed.

A large part of the theory dealt with the methods for limiting the spreading of herbicide resistance in Nordic countries. Also some key information of herbicides and their modes of actions were given.

The results of the black grass tests of all four countries were mainly consistent. All black grass populations except one were resistant to most of the tested herbicides. Wild oat populations in the Northern zone of EU were mainly susceptible based on the test. This thesis authenticated that the herbicide resistance risks of weeds really exist due to repeating use of herbicides owning the same mode of action.

Keywords Herbicide, resistance, weed, pesticide.

Pages 30 p. + appendices 1 p.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	1
2	TEHOAINEEN VAIKUTUS KASVISSA.....	2
2.1	Imeytyminen kasviin.....	2
2.2	Kulkeutuminen vaikutuskohteeseen.....	2
2.3	Hajoaminen kasvissa.....	3
2.4	Vaikutus kasviin.....	3
3	HERBISIDIEN VAIKUTUSTAPARYHMÄT.....	4
3.1	Rasvahapposynteesin estäjät.....	4
3.2	Aminohapposynteesin estäjät.....	5
3.3	Muut vaikutustavat.....	6
4	RESISTENSSIN SYNTYMINEN.....	7
4.1	Resistenssin syntyyn vaikuttavat tekijät.....	7
4.2	Miksi resistenssi on ongelma?.....	7
4.3	Resistenssimuodot.....	8
4.3.1	Metaboliininen resistenssi.....	8
4.3.2	Target-site resistenssi.....	9
4.3.3	Moniresistenssi.....	10
5	POHJOISMAIDEN TILANNE.....	10
5.1	Resistentit rikkakasvit Suomessa.....	10
5.2	Muiden Pohjoismaiden tilanne.....	11
6	RESISTENSSIN TUTKIMINEN.....	12
6.1	NORBARAG.....	12
6.2	Rikkapuntarpään resistenssitesti.....	12
6.2.1	Resistenssitestin toteutus.....	13
6.2.2	Havaintojen tekeminen.....	14
6.2.3	Tulokset.....	14
6.3	Hukkakauran siementen resistenssitesti 2009.....	19
6.3.1	Tulokset.....	19
7	RESISTENSSIRISKIT TULEVAISUUDESSA.....	21
7.1	Resistenssin leviäminen.....	21
7.2	Voiko resistenssiä tulla ongelma myös Suomessa?.....	23
7.3	Resistenttien rikkakasvikantojen kehittymisen estäminen.....	23
7.4	Integroidun kasvinsuojelun periaatteet.....	24
7.4.1	Viljelytekniset torjuntamenetelmät.....	25
8	JOHTOPÄÄTÖKSET.....	26
	LÄHTEET.....	28

Liite 1 Herbisiditaulukko

1 JOHDANTO

Käsittelen opinnäytetyössäni rikkakasvien kasvinsuojeluainekestävyyteen vaikuttavia tekijöitä ja resistenssin esiintymisen mahdollisuuksia Suomessa. Aihe on ajankohtainen, koska kasvinsuojeluineresistenssi on meitä eteläisemmissä maissa yleinen ja muodostunut paikoin jopa ongelmaksi. Pohjoismaissakin on tavattu jo useita kasvinsuojeluainekestävyyden omaavia rikkakasvipopulaatioita, niistä suurin osa Tanskassa. Suomessa on virallisesti todennettu vain yksi kestävyden omaava pihatählimökanta Somerolla. Tämän lisäksi on epäilyjä useista muista kestävästä rikkakasviotyypeistä.

Yksi osa opinnäytetyötäni on rikkapuntarpään resistenssitesti, jossa pääsin olemaan itsekin mukana suorittaessani erikoistumisharjoitteluni Jokioisilla Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskuksen Kasvintuotannon tutkimusyksikössä Torjunta-ainetarkastus ja -testaustimissä kesällä 2011. Tutkimus toistettiin Euroopan Unionin pohjoisella vyöhykkeellä neljässä eri tutkimuslaitoksessa ja tulokset olivat vertailukelpoisia.

Opinnäytetyössäni selvitän rikkakasvien torjunta-aineiden eli herbisidien vaikutustapoja, resistenssin syntyyn vaikuttavia tekijöitä, tämän hetkistä resistenssitilannetta Pohjoismaissa ja Suomessa, resistenssin tutkimuksia Pohjoismaissa sekä resistenssin leviämistä ja riskejä Suomessa. Käsittelen myös viljelytekniisten menetelmien merkitystä kasvinsuojelussa ja resistenssin hallinnassa.

2 TEHOAINEEN VAIKUTUS KASVISSA

Kasvin kannalta tärkeitä toimintoja ovat fotosynteesi eli yhteyttäminen, hengitys, aminohapposynteesi, rasvahapposynteesi, pigmentit ja mitoosi eli solun jakautuminen. Herbisidien fytotoksisuus perustuu siihen, että ne häiritsevät jotakin tai joitakin näistä kasvin elintoiminnoista. Fytotoksisuus tarkoittaa herbisidin myrkyllisyyttä kasville. (Jalli 2012b; Mukula 1980, 17.)

2.1 Imeytyminen kasviin

Herbisidit imeytyvät kasviin joko maasta juurien kautta, lehdistä tai joissain tapauksissa myös varresta. Jos herbisidi imeytyy kasviin varresta, on yleensä kyseessä ruohovartinen kasvi. Tällöin imeytyminen tapahtuu samalla tavalla kuin lehtiin. (Mukula 1980, 19-20.)

Lehtiin herbisidit imeytyvät yleensä päällysketon lävitse, mutta harvoissa tapauksissa myös ilmarakojen kautta. Päällysketon ulkopinta, kutikula, koostuu vahakerroksesta ja kutiinista, jotka ovat sekoittuneet keskenään muodostaen vyöhykkeitä ja säikeitä. Päälimmäisenä päällysketossa on pääasiallisesti vahaa. Hydrofiiliset eli vesihakuiset herbisidit imeytyvät kasviin kutiinivyöhykkeen ja hydrofobiset eli rasvahakuiset herbisidit vahavyöhykkeen läpi. Kutikulan jälkeen herbisidi imeytyy joko symplastiin eli nilaosan siiviläputkiin tai apoplastiin eli kuolleen johtosolukon vesiputkiloihin. (Mukula 1980, 19-21.)

Herbisidit, jotka imeytyvät juuriin, ovat pääsääntöisesti hydrofiilisiä herbisidejä, koska juurissa ei ole kutikulaa ja vahakerrosta kuten lehdistä. Imeytyminen tapahtuu joko symplastista tai apoplastista reittiä, tai molempia. (Mukula 1980, 20.)

2.2 Kulkeutuminen vaikutuskohteeseen

Lehtien kautta kasviin imeytyviä herbisidejä kutsutaan symplastisiksi herbisideiksi, koska ne kulkeutuvat kasvin eri osiin symplastissa nilaosan siiviläputkissa yhteyttämistuotteiden eli sokereiden mukana. Näiden herbisidien akuutti myrkyllisyys ei ole kovin suuri, koska muutoin nilan siiviläputket vioittuvat ja herbisidien kulkeutuminen vaikutuskohteeseen estyisi. Herbisidejä kuljettavaan nilavirtaukseen kun tarvitaan elävien solujen hengitysentergiaa. Tällaisia kasvin sisäisten nestevirtauksen mukana kulkeutuvia herbisidejä kutsutaan sisävaikutteisiksi herbisideiksi. (Mukula 1980, 17-20.)

Toinen sisävaikutteisten herbisidien kulkeutumisreitti kasvilla on apoplastisten eli maavaikutteisten herbisidien käyttämä kulkeutuminen johtojänteiden vesiputkiloissa. Tällöin herbisidi kulkeutuu haihtumisvirtauksen eli veden mukana juurista kasvin muihin osiin ja vaikutuskohteeseensa. Näiden akuutti myrkyllisyys voi olla suurempi kuin symplastisten herbisidien, koska johtojänteiden vesiputkilot ovat kuollutta ainesta. (Mukula 1980, 21.)

Yleensä herbisidit imeytyvät ja kulkeutuvat käyttäen joko symplastista tai apoplastista reittiä, mutta herbisidien kulkeutuminen ei välttämättä rajoitu vain toiseen näistä. Herbisidi voi kulkeutua käyttäen molempia reittejä. (Mukula 1980, 22.)

Kosketusvaikutteiset herbisidit eivät kulkeudu kasvissa sen osasta toiseen, koska niiden akuutti myrkyllisyys on suuri. Sen vuoksi niiden aiheuttamat vioitukset näkyvät lehdissä ja aiheuttavat lehtisolukon kuoleamisen niissä kohdissa, mihin herbisidiä on levitetty. (Mukula 1980, 26.)

2.3 Hajoaminen kasvissa

Kasvin elintoiminnot ja aineenvaihdunta saavat aikaan herbisidin hajoamisen kasvissa. Kuolleissa kasvin solukoissa ja lepotilassa olevissa kasvin osissa herbisidi voi säilyä hajoamatta pitkänkin ajan. (Mukula 1980, 22.)

Herbisidin selektiivisyys eli valikoivuus perustuu eri kasvien vaihtelevaan kykyyn hajottaa herbisidejä myrkyttömään muotoon. Tavallisesti herbisidi on fytotoksinen, ja jos kasvi ei pysty hajottamaan sitä, kasvi kuolee. On tosin olemassa päinvastainenkin ilmiö, jossa herbisidi muuttuu fytotoksi- seksi vasta ensimmäisessä hajoamistuotteessaan. Tämä on seurausta hapet- tumisesta, jonka aiheuttaa eräs kasvien soluissa esiintyvä entsyymi. Kai- killa kasveilla ei tätä entsyymiä ole, joten kyseinen herbisidi ei niihin te- hoja, toisin sanoen herbisidi on valikoiva. (Mukula 1980, 22-23.)

2.4 Vaikutus kasviin

Kosketusvaikutteisten herbisidien aiheuttamat oireet kasvissa ovat lehtien nestejännityksen häviäminen, värimuutokset ja kasvin kuollessa joko ve- tistyminen tai kuivuminen. Vaikutusnopeus vaihtelee välittömästä muuta- maan vuorokauteen. (Mukula 1980, 26-27.)

Fotosynteesin estävät herbisidit aiheuttavat lehtivihreän tuhoutumista, jonka vuoksi lehdet kalpenevat ja kloroosia esiintyy terveen ja sairastu- neen alueen rajoilla. Sisävaikutteisten, fotosynteesiä estävien symplastis- ten herbisidien vioitukset ilmenevät kloroosina siellä, mihin kyseiset her- bisidit kulkeutuvat, eli versojen kasvupisteissä ja lehtien kärjissä. Apoplas- tiset fotosynteesin estäjät puolestaan aiheuttavat kloroosia siellä, mihin ne haihtumisvirtauksen mukana kulkeutuvat, eli lehtien reunoilla ja lehtisuo- nien kohdalla. Heinäkasvien vioitukset kuitenkin poikkeavat tästä. Heinil- lä kloroosia ei esiinny, vaan kasvi ruskettuu ja lysähtää kasaan. (Mukula 1980, 26-27.)

Sisävaikutteiset herbisidit aiheuttavat kasveissa erilaisia kasvuhäiriöitä, kuten itämisen estyminen, varren pituuskasvun hidastuminen, pysähtymi- nen tai kiihtyminen, joista aiheutuu mm. ylimääräistä haaroittumista ja eri- laisia pahkuroita sekä varren taipumista ja kiertymistä. Lehtiin aiheutuu lusikkamaisuutta ja juuriin herbisidit aiheuttavat pituuskasvun kiihtymistä tai hidastumista sekä erilaisia kyhmyjä. Tällaiset kasvuun liittyvät epä-

muodostumat ovat tyypillisiä fenoksiherbisidien vaikutuksia. (Mukula 1980, 27.)

3 HERBISIDIEN VAIKUTUSTAPARYHMÄT

Rikkakasvien resistenssin eli torjunta-ainekestävyyden kannalta huomion-arvoisimmat vaikutustaparyhmät ovat rasvahapposynteesin estäjät ja aminohapposynteesin estäjät, koska suurin riski kestävyuden syntymiselle on näitä herbisidejä toistuvasti ruiskutettaessa (Ylhäinen 2012a, 14).

3.1 Rasvahapposynteesin estäjät

Rasvahapposynteesin estäjiä eli ACCase-inhibiittoreita käytetään heinämaisten rikkakasvien torjuntaan viljoista ja kaksisirkkaisista eli leveälehtisistä viljelykasveista. ACCase-inhibiittoreita kestävät heinämaiset rikkakasvit aiheuttavat maailmanlaajuisesti suuren ongelman, koska niitä on laajalla alueella ja niiden torjuntaan on rajallinen määrä vaihtoehdoisen vaikutustavan omaavia valmisteita. (Heap 1997, 241.)

ACCase-inhibiittoreita ovat -dim-, -fop ja -den -loppuiset tehoaineet. Esimerkiksi suurin osa valikoivista juolavehnän torjunta-aineista kuuluu tähän ryhmään. Tällaisia valmisteita ovat esimerkiksi Aramo, Focus Ultra ja Targa Super. Lisäksi meillä markkinoilla olevat hukkakauran torjuntaan viljakasvustosta tarkoitettut valmisteet Axial, Grasp ja Puma Extra kuuluvat tähän samaan kemialliseen ryhmään (taulukko 1). (Junnila 2009, esitelmä 18.11.2011.)

Taulukko 1. Esimerkkejä ACCase-herbisideistä (Junnila, esitelmä 18.11.2011). Kaikki valmisteet tehoavat heinämaisiin rikkakasveihin ja hukkakauraan (Honkala, Ripatti & Suhonen 2010). Axial, Grasp ja Puma Extra valmisteilla torjutaan hukkakauraa viljoista. (Kasvinsuojeluinerekisteri n.d.)

Valmiste	Tehoaine	Viljelykasvi
Agil 100 EC	propakvitsafoppi	leveälehtiset
Aramo	tepraloksidiimi	leveälehtiset
Axial	pinoksadeeni	viljat, ei kaura
Focus Ultra	sykloksidiimi	leveälehtiset
Fusilade Max	fluatsifoppi-P-butyyl	leveälehtiset
Grasp	tralkoksidiimi	viljat, ei kaura
Puma Extra	fenoksapropi-P-etyyli	viljat, ei kaura
Targa Super	kvitsalofoppi-P-etyyli	leveälehtiset

ACCase-inhibiittorit estävät suurimmalla osalla yksisirkkaisista kasveista eli viljoista ja heinistä rasvahappojen muodostusta ohjaavan ACC-entsyymin toiminnan, jonka seurauksena rasvojen ja rasvahappojen valmistus estyy, eikä kasvi voi muodostaa uusia soluja. ACCase-inhibiittoreiden selektiivisyys eli valikoivuus perustuu siihen, että kaksisirkkaisten kasvien ACC-entsyymi on erilainen, eikä ACCase-herbisidien vuoksi estä sen toimintaa. (Ylhäinen 2012b, 23-24; Devine 1997, 259.)

Vaikka viljat ovat yksisirkkaisia, kestävät ne kauraa lukuunottamatta Puma Extraa, Axialia ja Graspia. Puma Extra ja Axial sisältävät suoja-ainetta, jonka vuoksi viljat kestävät niitä. Graspin tehoainetta tralkoksidiimia viljat kestävät ilman suoja-ainettakin, koska ne pystyvät hajottamaan tehoaineen ennen kuin se ehtii vahingoittamaan niitä. Suurinta osaa yksisirkkaisista kasveista tralkoksidiimi kuitenkin torjuu. (Ylhäinen 2012b, 24.)

3.2 Aminohapposynteesin estäjät

Aminohapposynteesin estäjät ovat yleisesti käytettyjä herbisidejä. Niiden vaikutus perustuu suurimmassa osassa valmisteita joko asetolaktaasi-syntaasi-entsyymien (ALS) toiminnan tai EPSPS-entsyymien toiminnan estämiseen. Suurin osa ALS-inhibiittoreista on sulfonyyliureoita (taulukko 2). EPSPS-entsyymien toiminnan estäminen on ominaista glyfosaatille (ks. liite 1). Kolmas harvinaisempi vaihtoehto on glufosinaatille tyypillinen glutamiinisynteesin estäminen. (Ylhäinen 2012b, 24-25; Jalli 2012a, 27.)

Taulukko 2. Esimerkkejä sulfonyyliureavalmisteista. Valmisteet pääsääntöisesti tehoavat leveälehtisiin rikkakasveihin. (Junnila, esitelmä 18.11.2011.)

Valmiste	Tehoaineet	Viljelykasvi	Teho heinä
Ally, Isomexx	metsulfuroni-metyyli	viljat, pellava	ei
Ally Class 50 WG	metsulfuroni-metyyli karfentratsoni-etyyli	viljat	ei
Attribut 70 SG	propoksikarbatsoni-natrium	vehnä	kyllä
Broadway	pyroksulaami florasulaami	ruis, vehnä	kyllä
Cantor	2,4-D florasulaami	viljat, heinät	ei
Express 50 SX	tribenuroni-metyyli	viljat, heinä suojaviljassa	ei
Gratil, Eagle WG	amidofuroni	viljat, heinät, pellava	ei
Harmony 50 SX	tifensulfuroni-metyyli	heinät, rehmaissi	ei
Logran 20 WG	triasulfuroni	viljat	ei
Monitor	sulfosulfuroni	vehnä, peruna	kyllä
Primus	florasulaami	viljat, heinä	ei
Ratio 50 SX	tifensulfuroni-metyyli tribenuroni-metyyli	viljat, heinä suojaviljassa	ei
Safari	triflurosulfuroni-metyyli	juurikas	ei
Sekator OD	amidofuroni jodosulfuroni-metyyli-natrium	viljat, EI KAURA	ei
Starane XL	fluroksipyyri florasulaami	viljat, heinä	ei
Titus WSB	rimsulfuroni	peruna, rehmaissi	kyllä

ALS-inhibiittoreiden (ryhmä B, ks. liite 1) suosio perustuu alhaiseen käytösmäärään, korkeaan tehokkuuteen, matalaan myrkyllisyyteen nisäkkäillä ja hyvään valikoivuuteen. Valikoivuutensa ansiosta niitä voidaan käyttää rikkakasvien torjuntaan useilta eri viljelykasveilta. (Heap 1997, 239.)

ALS-inhibiittoreiden vaikutuksesta estyy kolmen kasveille elintärkeän aminohapon, leusiinin, isoleusiinin ja valiinin, syntyminen ja sen seurauksena uusien solujen muodostuminen lakkaa. Vaikutus on yleisempää kaksisirkkaisissa, mutta tietyt tehoaineet torjuvat myös yksisirkkaisia kasveja. (Jalli 2012b; Ylhäinen 2012b, 24.)

Glyfosaatti kuuluu aminohapposynteesin estäjiin, mutta se estää EPSPS-entsyymin toiminnan ja HRAC (Herbicide Resistance Action Committee) on luokitellut sen omaksi ryhmäkseen (Ylhäinen 2012b, 25). Glyfosaatille on olemassa kolme erilaista resistenssimekanismia: ”target-site” – resistenssi, tietyn geenin kopiomäärän kasvu organismissa ja muutos kromosomissa (Lindenmeyer, Ostlie & Shaner 2011, 3). Glyfosaatit ovat lähes valikoimattomia.

Ainoa glufosinaatti-ammonium –tehoainetta sisältävä rikkakasvihävitte Suomen markkinoilla on Basta. Valmiste on tarkoitettu ”rikkakasvien torjuntaan peruna-, porkkana-, pinaatti-, avomaankurkku-, kesäkurpitsa-, siemensipuli-, mansikka-, hedelmäpuu-, herukka- ja vadelmaviljelyksiltä ja puuvartisten koristekasvien taimistoista sekä rypsin ja siemenapilan variston hävittämiseen” (Kasvinsuojeluinrekisteri n.d.).

3.3 Muut vaikutustavat

Muita vaikutustapoja ovat mm. taimettumisen estäminen, solukalvojen kehittymisen estäminen ja fotosynteesin estäminen (Jalli 2012b). Herbisidit eivät välttämättä omaa vain yhtä tiettyä vaikutustapaa, vaan ne voivat vaikuttaa kasvissa moneen eri toimintoon. Tällaisia ovat esimerkiksi ryhmään O kuuluvat ns. hormonivalmisteet (ks. liite 1). (Ylhäinen 2012b, 25-26.)

Hormonivalmisteet ovat synteettisiä auksiineja. Auksiinit ovat kasvin kasvuhormoneja, jotka saavat aikaan solujen jakautumisen ja kasvin kasvun (Farmit.net n.d.). Synteettiset auksiinit sotkevat kasvin hormonitasapainon. Niillä ei siis ole tiettyä yksittäistä vaikutuskohdetta, kuten esimerkiksi ryhmillä A ja B, vaan ne häiritsevät useita kasvin kasvuun liittyviä prosesseja. Hormonivalmisteet tehoavat pääasiassa leveälehtisiin kasveihin. (Ylhäinen 2012b, 25-26.)

C-ryhmän aineet estävät yhteyttämisen ja ryhmään kuuluu sekä leveälehtisiä että heinämäisiä torjuvia tehoaineita. Valmisteiden valikoivuus perustuu kestävien kasvien kykyyn muuttaa tehoaine vaarattomaan muotoon. E-ryhmän aineet puolestaan estävät protoporfyrinogeeni-oksidaasi-entsyymin (PPO) toiminnan, jolloin mm. viherhiukkasten muodostuminen estyy. (Ylhäinen 2012b, 26-27.)

4 RESISTENSSIN SYNTYMINEN

4.1 Resistenssin syntyyn vaikuttavat tekijät

Valikoivien herbisidien tultua markkinoille herbisidit ovat mullistaneeet rikkakasvien torjunnan. Herbisidit tarjoavat mahdollisuuden yksinkertaisempien viljelyjärjestelmien käyttämiseen sen sijaan, että rikkakasvien torjunta perustuisi vain ei-kemiallisiin menetelmiin, kuten viljelykierto, maanmuokkaus ja suojakasvit. Herbisidien ansiosta on tullut mahdolliseksi kasvattaa tuottoisia viljelykasveja vuosi toisensa jälkeen samalla lohkolalla. Maailmanlaajuisesti tämä on yleinen toimintaperiaate lyhytaikaisten taloudellisten hyötyjen vuoksi. Kun herbisideistä on tullut pääasiallinen rikkakasvien torjuntakeino, on siitä aiheutunut joitakin seuraamuksia, joista yksi merkittävä on herbisidiresistenssi. (Heap 1997, 235.)

Kasvinsuojeluainekestävyyden todennäköisyyteen ja kehittymisnopeuteen vaikuttavat aineen vaikutusmekanismi ja torjuttavan kasvin lisääntymistapa, sekä saman vaikutustavan omaavan kasvinsuojeluaineen toistuva käyttö. Mikäli rikkakasveja torjutaan vain kemiallisesti, voi vuosien kuluessa syntyä tietyille rikkakasvipopulaatioille kestävyys käytettyä tehoainetta kohtaan. Viljelyn monokulttuuri edesauttaa tilannetta ja maahan kertyy näin kestävyden omaavan rikkakasvipopulaation siemenpankki. (Junnila, Laine & Ketola 2011, 156; Junnilla, esitelmä 18.11.2011.)

Kysymykseen, miksi juuri tietyille rikkakasveille on kehittynyt resistenssi, on vaikea vastata tyhjentävästi. Osasyynä on kasvien lisääntymistapa. Esimerkiksi juolavehnästä ei tule helposti kestävää, koska se leviää kasvullisesti rönsyjen avulla ja pysyy perinnöllisesti samanlaisena. Siementen avulla lisääntyvillä rikkakasveilla geneettinen muuntuminen on vilkkaampaa, jolloin muodostuu helpommin kestävyys. (Ylhäinen, A. 2012a,16.)

Toinen merkittävä syy sille, miksi resistenssi on syntynyt tietyille kasveille, on käytetyn herbisidin vaikutustapa. Rikkakasvien kestävyys syntyy helpoimmin niille valmisteille, joiden vaikutus kasvissa perustuu vain yhteen kohteeseen. Jos ruiskutetaan laajoilla alueilla toistuvasti sellaisia herbisidejä, joilla on vain yksi vaikutuskohde kasvissa, luodaan suuri valintapaine kestävien rikkakasvipopulaatioiden muodostumiselle. (Junnilla, esitelmä 18.11.2011; Ylhäinen 2012a, 13.)

4.2 Miksi resistenssi on ongelma?

Resistenssin syntyminen aiheuttaa viljelijöille monia taloudellisia ja ekologisia ongelmia. Rikkakasvien torjumisesta tulee entistäkin kalliimpaa, koska resistenssin seurauksena joutuu käyttämään enemmän eri herbisidejä sekä muuttamaan viljelykiertoa sadon määrän ja laadun turvaamiseksi. Silloin on käytettävä muitakin vaihtoehtoja kuin totutut herbisidit, joiden teho resistenssin seurauksena on huonontunut. On ensinnäkin syytä huomioida muut kuin kemialliset menetelmät, joita käsitellen tarkemmin luvussa seitsemän. Toiseksi, on vaihdettava torjunta-ainetta toisen vaikutustavan omaavaan ja kyseiseen rikkakasviin hyvin tehoavaan valmisteeseen

ja käytettävä maksimimääriä parhaan tehon aikaansaamiseksi. Lisäksi resistenssin ilmenemisen jälkeen on käytettävä useiden vuosien ajan kyseiseen rikkakasviin hyvin tehoavia, toisen vaikutustavan omaavia valmisteita. Tämä on normaaleja kasvinsuojelutoimia kalliimpaa. (Raffel 2011, 97; Junnila, esitelmä 18.11.2011.)

Viljelijälle merkittävä taloudellinen seuraus on satotason lasku (Raffel 2011, 97). Resistentit rikkakasvit eivät tuhoudu, vaan jäävät kilpailemaan viljelykasvin kanssa ja sato jää pienemmäksi. Rehunurmella ongelmia tulee myös rehun laadun heikkenemisen seurauksena.

Koska resistentit rikkakasvit tarvitsevat ”raskaamman” kemiallisen torjunnan, johtaa se myös suurempaan ympäristökuormaan. Eteläisemmissä osissa Eurooppaa pääasiassa rikkaheinäresistenssi voi lisätä eroosiota maanmuokkaustarpeen kasvaessa. (Junnila, esitelmä 18.11.2011.)

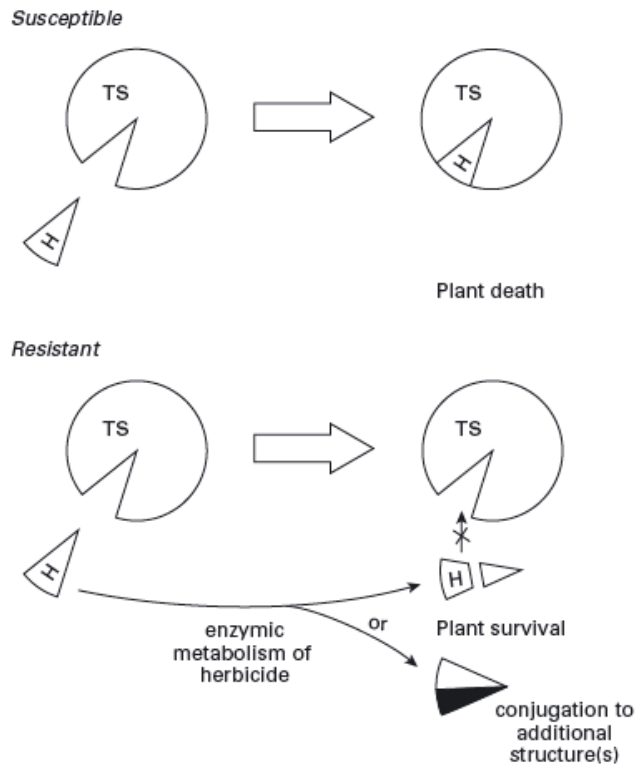
4.3 Resistenssimuodot

4.3.1 Metabolinen resistenssi

Metabolic resistance (MR) tai enhanced metabolism (EM) eli nopeutunut aineenvaihdunta tarkoittaa rikkakasvin aineenvaihdunnallista kestävyttä torjunta-ainetta kohtaan, jolloin herbisidi ei tavoita kohdetta (Jalli 2012b). Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että kasvin elintoiminnot ja aineenvaihdunta ovat muuttuneet, minkä seurauksena tehoaine ei imeydy tai saavuta vaikutuskohdettaan kasvissa, tai se hajoaa myrkyttömään muotoon.

Kasveissa on runsaasti entsyymejä, jotka saavat aikaan vieraiden ja ei-toivottujen aineiden hajoamisen ja poistumisen kasvista. Nämä myrkyllisiä aineita poistavat entsyymit muuntavat tai hajottavat herbisidin, joka imeytyy kasviin. Kasvien kyky hajottaa herbisidejä vaihtelee, ja erot kasvien aineenvaihdunnassa ovat yksi merkittävimmistä herbisidin valikoivuuteen vaikuttavista tekijöistä. Kasvi selviää, jos sen aineenvaihdunta on riittävän nopeaa ja se pystyy hajottamaan herbisidin, ennen kuin se ehtii vaikutuskohteeseensa. (Cobb & Reade 2010, 223.)

Kuvassa 1 on havainnollistettu aineenvaihdunnallisen kestävyuden periaatetta. Kuvassa ylempi tilanne kuvaa herbisidille (H) herkkää rikkakasvia. Monesti herbisidin vaikutuskohde (TS) on jokin entsyymi. Herkässä rikkakasvissa herbisidi (H) estää tietyn entsyymin (TS) toiminnan, jonka seurauksena kasvi kuolee. Kasvin aineenvaihduntaan vaikuttavat entsyymit eivät ole pystyneet hajottamaan myrkyllisiä aineita vaarattomaan muotoon. (Cobb & Reade 2010, 217.)



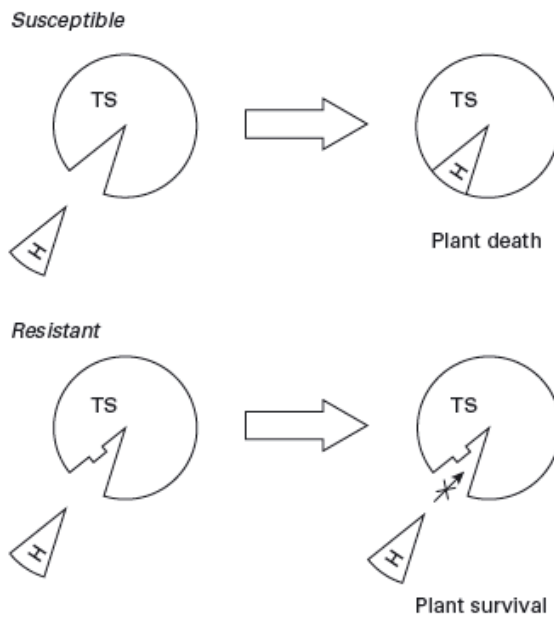
Kuva 1. MR. Selitys tekstissä. (Cobb & Reade 2010, 224.)

Alemmassa tilanteessa puolestaan kasvin aineenvaihdunta on nopeutunut, jonka seurauksena kasvin aineenvaihdunnan entsyymit hajottavat herbisidin (H) vaarattomaan muotoon, ennen kuin se ehtii vaikutuskohteeseensa (TS). Vaihtoehtoisesti kasvin aineenvaihdunta voi muuntaa herbisidin toiseen muotoon. (Cobb & Reade 2010, 223-224.)

4.3.2 Target-site resistenssi

Target-site resistance (TSR) tarkoittaa sitä, että rikkakasvissa herbisidin vaikutuskohde muuttuu siten, ettei se ole enää herkkä kyseiselle tehoaineelle. Muutos, joka aiheuttaa TSR:n, tapahtuu kasvin geenissä. (Jalli 2012b.)

Asiaa havainnollistaa kuva 2. Ylempänä on sama tilanne kuin edellä: herbisidi (H) saavuttaa vaikutuskohteensa (TS), jonka seurauksena kasvi kuolee. (Cobb & Reade 2010, 217.)



Kuva 2. TSR. Selitys tekstissä. (Cobb & Reade 2010, 217.)

Kestävä rikkakasvipopulaatio on kuvassa alempana. Kuvassa herbisidin vaikutuskohteessa (TS), esimerkiksi entsyymissä, on tapahtunut muutos, jonka seurauksena herbisidi ei voi estää entsyymin toimintaa eikä tuhoa kasvia. (Cobb & Reade 2010, 217.)

4.3.3 Moniresistenssi

Multiple eli moniresistenssi tarkoittaa kahden tai useamman eri resistenssimekanismin ilmenemistä samassa rikkakasvissa tai populaatiossa (Jalli 2012b).

5 POHJOISMAIDEN TILANNE

5.1 Resistentit rikkakasvit Suomessa

Suomessa on varmuudella todettu ainakin yksi pihatähtimö-kanta Some-rolla 2010, jolla on target-site -resistenssi ALS-inhibiittoreita vastaan. Berner lähetti kestäväksi epäillyn pihatähtimökannan siemenet DuPontille Ranskaan analysoitavaksi. Virallinen vastaus oli, että jotkin yksilöt olivat herkkiä kaikille testatuille valmisteille, mutta jotkin yksilöt olivat kestäviä Allylle. Kyseessä on DuPontin mukaan alkava resistenssi, vaikka pellolla tilanne on Bernerin Asmo Saarisen mukaan näyttänyt pahemmalta. Kokeet samalla pellolla jatkuvat kesällä 2012. (Saarinen, sähköpostiviesti 11.11.2011.)



Kuva 3. Moninkertaisen annoksen saanut pihatahtimö ei ole tuhoutunut (Kuva: Juva n.d.).

Muita varmoja resistenssitapauksia ei ole virallisesti todettu Suomessa, mutta epäilyjä kestävästä jauhosavikasta ja joistakin muista pihatahtimökannoista on olemassa. Laajaa ongelmaa ei kuitenkaan resistenssin suhteen Suomessa vielä ole. Tähän vaikuttaa Suomen suppea rikkakasvilajisto, jossa heinämäisten rikkakasvien osuus on vähäinen, koska meillä viljellään suurimmaksi osaksi kevätkylvöisiä viljelykasveja. Tämä vähentää resistenssiriskiä lähinnä ACCase-herbisidien kohdalla, ei niinkään pienanosaineiden kohdalla. Eteläisemmillä alueilla, joilla viljellään runsaasti syyskylvöisiä kasveja, ruiskutukset tehdään monesti sekä syksyllä että keväällä. Torjunta toistuu ja jos tätä jatkuu vuosia, riski kestävyuden kehittymiselle kasvaa. Syysruiskutuksia ei Suomessa tehdä, joten riski on pienempi. Riskiä kestävyuden kehittymiselle vähentää myös se, että meillä kasvinsuojeluaineiden käyttöala on suhteellisen pieni, ja käyttökertoja kasvukauden aikana on vähän. (Junnila, esitys 18.11.2011.)

5.2 Muiden Pohjoismaiden tilanne

Muissa pohjoismaissa tilanne on huonompi kuin Suomessa. Ruotsissa on ilmennyt kasvinsuojeluaineita kestäviä rikkapuntarpääkantoja ja ainakin yksi kestävä jauhosavikkakanta. Lisäksi Ruotsista on havainto MCPA:ta kestävästä pelto-ohdakkeista (Jalli & Junnila 2011, 6). Norjassa on todettu kestäviä kantoja pihatahtimöllä, saunakukalla, pelto-orvokilla ja pillikkeellä. Tanskassa tiedetään kestäviksi ainakin pihatahtimö, rikkapuntarpää, pillike ja unikko. (Mathiassen 2011, 53.)

6 RESISTENSSIN TUTKIMINEN

6.1 NORBARAG

NORBARAG (Nordic Baltic Resistance Action Group) perustettiin, koska viime vuosina Pohjoismaissakin on tullut ilmi useita uusia resistenssitapauksia ja EU-lainsäädäntö rajoittaa kasvinsuojeluaineiden hyväksytyjen vaikutustapojen määrää. Näiden syiden pohjalta ryhmä tutkijoita, asiantuntijoita ja kasvinsuojeluaineyritysten edustajia kokoontui Tanskassa 2007, jolloin tehtiin päätös NORBARAG:n perustamisesta. Ryhmä on NJF:n (Nordisk Jordbruksforskarnas Förening) alaryhmä ja ylläpitää yhteyttä muihin alan ryhmiin, mikä on tärkeää resistenssin leviämisen estämiseksi. Yksi tällainen ryhmä on HRAC (Herbicide Resistance Action Committee). (Kudsk 2010, 223-224.)

HRAC on kansainvälinen ryhmä, joka on perustettu kasvinsuojeluaineteollisuuden toimesta. HRAC:n tavoitteena on tukea yhteistoiminnallista lähestymistapaa herbisidiresistenssin hallinnassa. Ryhmä on tiiviissä yhteistyössä muiden alan ryhmien kanssa. Liitteenä oleva herbisiditaulukko perustuu HRAC:n luokitteluun. (Herbicide Resistance Action Committee n.d.)

NORBARAG:n tavoitteena on mm. varmistaa, että Pohjoismaiden ja Baltian alueen resistenssitapaukset todennetaan ja kirjataan (Kudsk 2010, 223-224). Lisäksi ryhmä pyrkii toimimaan resistenssin ehkäisemiseksi keskustelemalla mahdollisista strategioista ja järjestämällä tutkimuksia. NORBARAG toimii lisätäkseen tietoisuutta resistenssistä ja vähentääkseen resistenssin leviämistä Pohjoismaissa ja Baltiassa, sekä etsiäkseen keinoja jo todetun resistenssin torjumiseksi.

NORBARAG:ssa toimii kolme alaryhmää, jotka käsittelevät herbisidi-, fungisidi- ja insektisidiresistenssiä (Kudsk 2010, 223-224). Herbisidiresistenssi-ryhmä on rikkakasvien resistenssin parissa toimiva ryhmä. Seuraavassa kuvatut resistenssitestit ovat tämän ryhmän järjestämiä.

6.2 Rikkapuntarpään resistenssitesti

NORBARAG toteutti kesällä 2011 resistenssitestin rikkapuntarpäälle. Testi tehtiin Suomessa, Tanskassa, Liettuassa ja Iso-Britanniassa, ja tulokset lähetettiin Tanskaan koottavaksi. Suomessa testin toteutti MTT:n tutki- ja Sanni Junnila tiiminsä kanssa Jokioisilla, ja olin itsekkin mukana testin tekemisessä. Testissä rikkapuntarpään (*Alopecurus myosuroides*) kestävyyttä eri valmisteille tutkittiin käyttämällä Rothamsted Rapid Resistance Test –menetelmää (RRR-testi).

Tutkimuksessa käytettiin seitsemän (7) eri rikkapuntarpää-populaation siemeniä, joita idätettiin petrimaljoissa. Siemenet olivat peräisin Tanskasta, Ruotsista ja Iso-Britanniasta (taulukko 3).

Taulukko 3. Tutkimuksessa käytetyt rikkapuntarpään siemenet.

Populaatio	Maa	Oletettu resistenssi
ID 85	Tanska	Herkkä, ei resistenssiä
ID 382	Tanska	Nopeutunut aineenvaihdunta
ID 692 (SWE9010)	Ruotsi	Nopeutunut aineenvaihdunta?
ID 693 (SWE9008)	Ruotsi	Nopeutunut aineenvaihdunta?
ID 697 (SWE9002)	Ruotsi	Nopeutunut aineenvaihdunta?
ID 698 (PELD07)	Iso-Britannia	ALS target-site; nopeutunut aineenvaihdunta Primera Superille
ID 699 (NOTTS)	Iso-Britannia	Target-site Focus Ultralle

Tutkimuksessa käytettiin neljää (4) eri valmistetta, jotka olivat Primera Super, Oust, Focus Ultra ja Stomp (taulukko 4). Primera Super, Focus Ultra ja Stomp ovat nestemäisiä ja Oust on jauhemainen valmiste. Sekä siemenet että herbisidit tutkimukseen välitti Dow AgroSciences –yhtiö.

Taulukko 4. Tutkimuksessa käytetyt herbisidit. Ryhmät ovat HRAC:n luokituksen mukaiset (Herbicide Resistance Action Committee 2005).

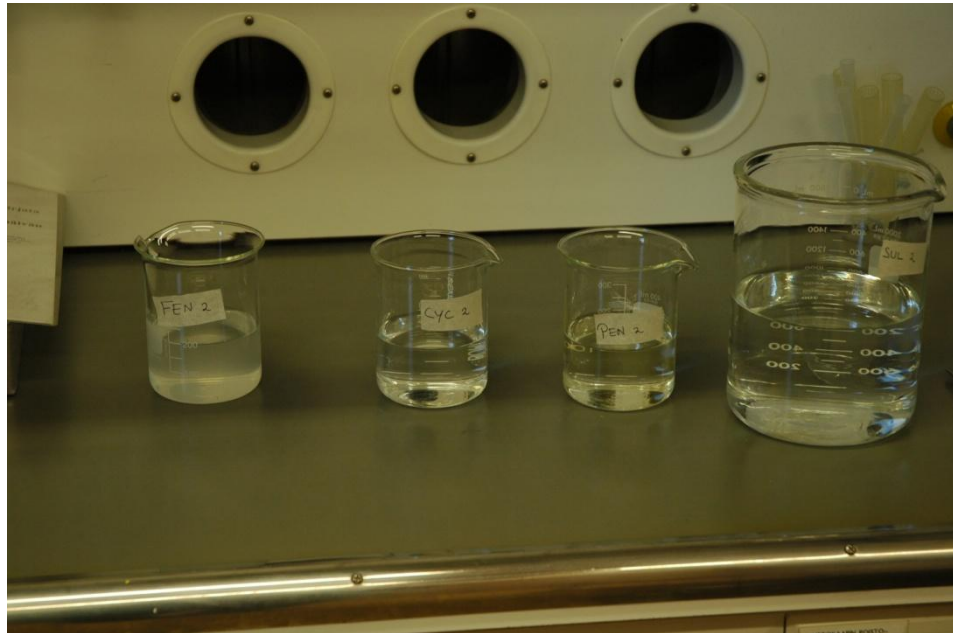
Valmiste	Tehoaine	Ryhmä	Tehoainepitoisuus
Primera Super	fenoksaproppi-P	A	69 g/l
Oust	sulfometuroni	B	750 g/kg
Focus Ultra	sykloksidiimi	A	100 g/l
Stomp	pendimetalini	K1	400 g/l

6.2.1 Resistenssitestin toteutus

Tutkimus toteutettiin siten, että jokaisesta rikkapuntarpääpopulaatiosta laitettiin 50 siementä omaan petrimaljaansa. Maljan pohjalle laitettiin neljä (4) imupaperia, kolme (3) selluloosapaperia ja päällimmäiseksi yksi (1) lasikuitupaperi. Näiden papereiden päälle asetettiin idätettävät siemenet.

Kutakin siemenpopulaatiota varten oli maljoja neljää (4) herbisidikäsitteilyä ja yhtä (1) käsittelemätöntä siemennäytettä varten. Jokaista käsiteltyä ja käsittelemätöntä siemennäytettä eli kontrollia tehtiin kaksi (2) kerrannetta, eli yhteensä kymmenen (10) maljaa jokaisesta siemenpopulaatiosta. Näin ollen seitsemää (7) siemenpopulaatiota varten valmistettiin yhteensä 70 maljaa.

Kun siemenet oli asetettu tasaisesti paperille, valmistettiin herbisidiseokset (kuva 4). Herbisidiseokset laimennettiin oikeaan väkevyyteen kaliumnitraattiliuoksella, koska kaliumnitraatti rikkoo siemenen dormanssia ja edistää kasvua. Herbisidiseos lisättiin maljoihin, kontrollimaljaan lisättiin vain puhdasta kaliumnitraattiliuosta ilman herbisidiä. Maljoihin laitettujen liuoksen määrä oli seitsemän (7) ml.



Kuva 4. Herbisidiseokset (Kuva: Jalli 2011).

Maljat säilytettiin idätyksen ajan, noin kaksi (2) viikkoa, polyeteenipusseissa kasvatuskäpissa siten, että käsittelyt ja kerranteet pidettiin erillään. Kaikille maljoille piti saada samat olosuhteet, joten maljojen sijaintia kiertettiin parin päivän välein. Lämpötilat kasvatuskäpissa olivat 17 °C valoaikana, jota oli 14 tuntia vuorokaudessa ja 10 °C pimeäaika, jota oli kymmenen (10) tuntia vuorokaudessa. Tämän jälkeen tehtiin havainnot.

6.2.2 Havaintojen tekeminen

Maljoista tehtiin ensin visuaaliset havainnot, joissa arvioitiin käsittelyn tehoa käsittelemättömään verrattuna. Kukin siemenerä havainnoitiin erikseen, ja tulokset kirjattiin ylös. Havainnoita oli tekemässä kolme henkilöä siten, että jokainen teki havainnot kaikista siemeneristä. Tällä tavoin varmistettiin havaintojen luotettavuus.

Kontrollimaljoissa laskettiin itäneet siemenet ja yli yhden (1) cm mittaiset versot. Herbisidillä käsitellyistä maljoista laskettiin vain yli yhden (1) cm mittaiset versot. Tulokset kirjattiin havaintolomakkeille. Prosenttiarvon määrittämiseksi kahden kerranteen arvot laskettiin yhteen.

6.2.3 Tulokset

Kontrollimaljojen itävyysprosentit vaihtelivat pääosin 82:n ja 97:n välillä. Yhden siemenerän itävyysprosentti oli muita hieman alhaisempi, 75. Kerranteiden välillä ei ollut merkittäviä eroja itävyydessä ja kasvussa, joten tulokset ovat vertailukelpoisia (taulukko 5).

Taulukko 5. Kontrollimaljojen itäneiden siementen ja yli sentin mittaisten versojen lukumäärät ja prosentit.

Siemenerä	Itäneet siemenet			taimet >1 cm		
	Kerranne 1	Kerranne 2	Total (=%)	Kerranne 1	Kerranne 2	Total (=%)
ID 85	45	40	85	42	37	79
ID 382	47	47	94	40	46	86
ID 692	44	38	82	42	33	75
ID 693	49	47	96	43	46	89
ID 697	44	45	89	42	40	82
ID 698	40	35	75	36	33	69
ID 699	49	48	97	45	47	92

Visuaalisesti arvioitu kasvun väheneminen käsitellyissä maljoissa tehtiin siten, että koko kerranne oli järjestettynä pöydällä, jolloin saatiin luotettavat tulokset kasvun vähenemisestä kontrollimaljaan (kuvassa vasemmalla) verrattuna (kuva 5).



Kuva 5. ID 693 –populaatiosta toinen kerranne. Rikkapuntarpään itäminen ja kasvu eivät täysin estyneet fenoksapropi-P –käsitellyllä (Primera Super). Muiden torjunta-aineiden teho on ollut huomattavasti parempi. (Kuva: Anttonen 2011.)

Taulukossa 6 on käsiteltyjen maljojen yli sentin mittaisten versojen lukumäärät. Taulukossa suuri numero tarkoittaa runsasta itävyyttä, eli huonoa tehoa. Kun taulukossa on numero 0, torjunta-aineen teho on ollut 100 %. ID 85 –populaatiossa, jonka oletettiin olevan herkkä, kaikilla valmis-teilla oli varsin hyvä teho. Sykloksidiimillä (Focus Ultra) teho oli 100 %,

sulfometuronilla (Oust) lähes 100 % ja muillakin tehoaineilla teho oli vähintään 85 % visuaalisesti havainnoituna, eli varsin hyvä. Sykloksidiimikäsittelyllä yli sentin mittaisten versojen lukumäärä oli 0.

Taulukko 6. Herbisidillä käsiteltyjen maljojen yli sentin mittaisten versojen lukumäärä.

Siemen	Herbisidi	Kerranne 1	Kerranne 2	Total
ID85	FEN	19	21	40
	CYC	0	0	0
	PEN	11	10	21
	SUL	9	5	14
ID382	FEN	43	43	86
	CYC	1	0	1
	PEN	22	23	45
	SUL	4	4	8
ID692	FEN	38	31	69
	CYC	1	0	1
	PEN	25	28	53
	SUL	12	12	24
ID693	FEN	33	33	66
	CYC	17	9	26
	PEN	40	17	57
	SUL	19	24	43
ID697	FEN	36	34	70
	CYC	0	0	0
	PEN	24	22	46
	SUL	19	26	45
ID698	FEN	27	25	52
	CYC	0	0	0
	PEN	36	40	76
	SUL	32	36	68
ID699	FEN	45	44	89
	CYC	42	41	83
	PEN	30	30	60
	SUL	27	19	46

ID 382 –populaatiolla oletettiin olevan nopeutunut aineenvaihdunta. Fenoksaproppi-P:llä ja pendimetaliinilla teho jäi huonoksi eli kestävyyttä

näitä tehoaineita vastaan on. Sykloksidiimi ja sulfometuronin sen sijaan tehosivat todella hyvin. (Taulukko 6.)

ID 692 –populaatio oli herkkä sykloksidiimille ja melko herkkä sulfometuronille. Fenoksapropi-P ja pendimetaaliini eivät juuri tehonneet. ID 693 –populaatiossa saatiin melko hyvä teho vain sykloksidiimillä. Populaatio ei tuhoutunut kuitenkaan täysin, joten mahdollinen alkava kestävyys sykloksidiimille on olemassa. Muita tehoaineita vastaan populaatio oli kestävä. ID 697 –populaatio oli herkkä sykloksidiimille. Muita tehoaineita vastaan populaatio oli kestävä. (Taulukko 6.)

ID 698 –populaatiolla oli oletettavissa fenoksapropi-P:lle aineenvaihdunnallinen kestävyys sekä target-site –resistenssi ALS-inhibiittoreita vastaan. Fenoksapropi-P –käsittelyllä teho oli visuaalisesti havainnoiden 50 % luokkaa, mutta yli sentin mittaisten versojen lukumäärän mukaan populaatio on kestävä fenoksapropi-P:lle. Sulfometuronin, joka on ALS-inhibiittori, ja pendimetaaliini eivät tehonneet juuri lainkaan, eli tässä kohden oli havaittavissa selvää kestävyyttä. (Taulukko 6.)

ID 699 –populaatiolle teho jäi huonoksi kaikilla tehoaineilla ja erityisesti sykloksidiimin ja fenoksapropi-P:n teho oli huono. Viimeksi mainitut tehoaineet kuuluvat ryhmään A (ks. liite 1). Oli tosin jo oletettavaa, että ID 699 –populaatiolla on target-site –resistenssi sykloksidiimille. Fenoksapropi-P:n vaikutustapa on sama kuin sykloksidiimin. (Taulukko 6.)

Tanskassa tulokset eri maista koottiin ja rikkapuntarpää-populaatioille annettiin luokitukset, kuinka kestäviä kannat ovat eri valmisteille (taulukot 7-10). Taulukoissa S = herkkä, R? = alkava kestävyys, RR = kestävä ja RRR = hyvin kestävä. S tarkoittaa, että torjunta-aineen teho on ollut kyseiselle populaatiolle yli 80 %. R? tarkoittaa 70-80 %:n torjuntatehoa. RR-luokituksen saa, kun teho on 30-70 % ja alle 30 %:n torjuntatehon luokitus on RRR.

Taulukko 7. Tulokset fenoksapropi-P:lle yli sentin mittaisten versojen lukumäärän perusteella.

	Maa 1	Maa 2	Maa 3	Suomi/MTT
ID 85	S	S	S	RR
ID 382	RRR	RRR	RRR	RRR
ID 692	RRR	RRR	RRR	RRR
ID 693	RR	RR	RRR	RRR
ID 697	RR	RR	RR	RRR
ID 698	R?	RRR	RR	RRR
ID 699	RRR	RRR	RRR	RRR

Fenoksapropi-P:n tulokset on koottu taulukkoon 7. Taulukkoa luettaessa on huomioitava, että tulokset on laadittu vain yli sentin mittaisten versojen lukumäärän mukaan. Visuaalisia havaintoja ei siis ole huomioitu.

Fenoksapropi-P –käsittelyllä ID 85 -populaatiossa yli sentin mittaisten versojen lukumäärä oli yllättävän suuri, mutta kasvu oli jäänyt heikoksi. Sen vuoksi Suomen kohdalla populaatio on saanut fenoksapropi-P:n

kohdalla luokituksen RR eli kanta olisi kestävä. Visuaalisten havaintojen perusteella voi kuitenkin sanoa, että populaatio on herkkä fenoksaproppi-P:lle, kuten tiedettiin. Taulukon 7 perusteella herkkä ID 85 –populaatio oli ainoa populaatio, johon fenoksaproppi-P –käsittelyllä saatiin vaikutus. Kaikki muut kannat olivat kestäviä.

Taulukossa 8 on sykloksidiimin teho eri populaatioihin. Kestävä ID 699 – populaatio, jonka tiedettiin omaavan target-site –resistenssin sykloksidiimille, oli ainoa kanta, johon käsittely ei tehonnut. ID 693 –populaatioissa voi olla alkava resistenssi.

Taulukko 8. Tulokset sykloksidiimille yli sentin mittaisten versojen perusteella.

	Maa 1	Maa 2	Maa 3	Suomi/MTT
ID 85	S	S	S	S
ID 382	S	S	S	S
ID 692	S	S	S	S
ID 693	RR	R?	R?	R?
ID 697	S	S	S	S
ID 698	S	S	S	S
ID 699	RRR	RRR	RRR	RRR

Taulukossa 9 on sulfometuronin teho eri populaatioihin. ID 85, ID 382 ja ID 692 ovat herkkiä populaatioita. ID 692 –populaatio voi mahdollisesti omata alkavan resistenssin. ID 693 –populaatiolla resistenssi on todennäköinen ja muilla melko selvä.

Taulukko 9. Tulokset sulfometuronille yli sentin mittaisten versojen perusteella.

	Maa 1	Maa 2	Maa 3	Suomi/MTT
ID 85	S	S	S	S
ID 382	S	S	S	S
ID 692	S	S	S	R?
ID 693	RR	S	R?	RR
ID 697	RR	S	RR	RR
ID 698	R?	RRR	RRR	RRR
ID 699	RR	RRR	RR	RR

Pendimetaliniin vaikutus oli kauttaaltaan melko heikko (taulukko 10). Herkkä ID 85 –populaatio oli ainoa, mihin pendimetalini selkeästi tehoi. Muut populaatiot olivat kestäviä.

Taulukko 10. Tulokset pendimetaliniinille yli sentin mittaisten versojen perusteella.

	Maa 1	Maa 2	Maa 3	Suomi/MTT
ID 85	S	RR	S	S
ID 382	RR	R?	RR	RR
ID 692	RR	RR	S	RRR
ID 693	RR	RRR	RR	RR
ID 697	R?	RRR	RR	RR
ID 698	RRR	RRR	RR	RRR
ID 699	RR	RRR	RR	RR

Tiivistäen voi sanoa, että jo ennalta herkäksi tiedetty ID 85 –populaatio oli herkkä kaikille tehoaineille. Monet populaatiot olivat kestäviä fenoksaproppi-P:lle, sykloksidiimille selkeästi kestäviä populaatioita oli vain yksi, sulfometuronia vastaan kestävyttä oli muutamalla populaatiolla ja pen-dimetaliniinille kestäviä oli suurin osa populaatioista. ID 699 –populaatio oli kestävä kaikkia tehoaineita vastaan.

6.3 Hukkakauran siementen resistenssitesti 2009

NORBARAG:n toimesta toteutettiin Aarhus:n yliopistossa Tanskassa hukkakauran siementen resistenssitesti vuonna 2009. Tutkimuksessa tutkittiin Puman (fenoksaproppi-P), Graspin (tralkoksidiimi) ja Axialin (pinoksadeenin) tehokkuutta hukkakauran torjunnassa. Tutkimuksessa käytetyt valmisteet kuuluvat vaikutustavaltaan rasvahapposynteesin estäjiin (taulukko 11). (Mathiassen 2009.)

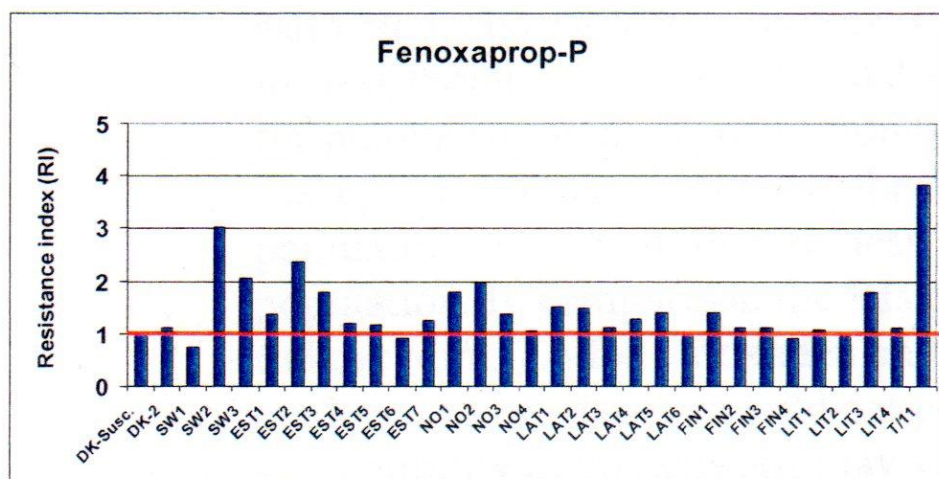
Taulukko 11. Tutkimuksessa käytetyt valmisteet.

Herbisidi	Tehoaine	Tehoainepitoisuus	
Primera Super	fenoksaproppi-P	69 g/l	+ 0,1 % Contact
Grasp 40 SC	tralkoksidiimi	400 g/l	+ 0,5 % Atplus
Axial 50 EC	pinoksadeeni	50 g/l	

Tutkimuksessa tutkittiin 32:a siemennäytettä, joiden alkuperä oli eri maisia. Suomessa näytteet kerättiin Toijalasta, Lapualta, Hämeenlinnasta, Kemiöstä ja Mellilästä. Tutkimuksessa oli mukana vertailupohjana kaksi (2) siemenpopulaatiota, joista ensimmäinen oli torjunta-aineelle herkkä hukkakaurapopulaatio Tanskasta (DK-Susc.). Toinen oli metabolisen resistenssin eli aineenvaihdunnallisen kestävyuden omaava kanta Britanniaasta (T/11). (Mathiassen 2009.)

6.3.1 Tulokset

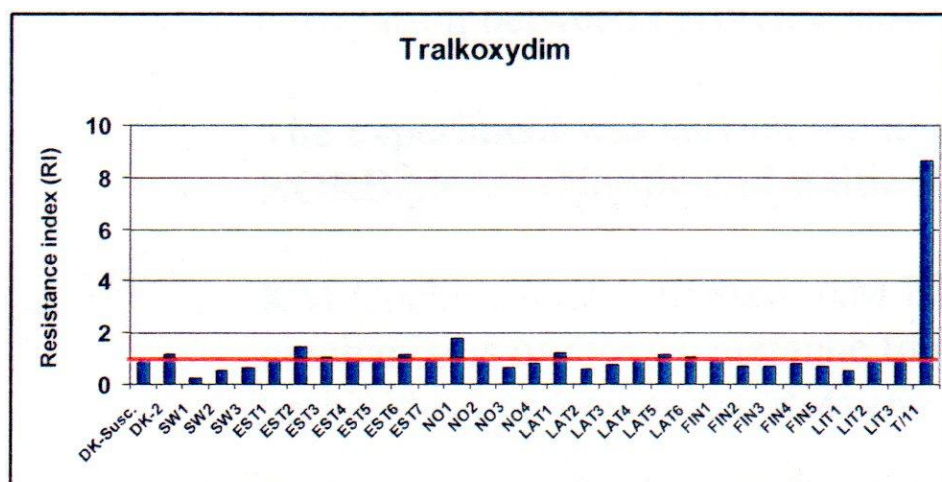
Tulosten pohjalta on muodostettu kullekin valmisteelle kaaviot, josta näkyy eri populaatioiden resistenssi-indeksit (RI). Resistenssi-indeksi tarkoittaa, kuinka moninkertaisen annoksen tehoainetta populaatio tarvitsee verrattuna herkkään populaatioon, jotta siihen saadaan sama vaikutus kuin herkkään DK-Susc. –populaatioon. Esimerkiksi fenoksaproppi-P:n määrän piti olla ruotsalaiselle SW2 –populaatiolle kolminkertainen verrattuna herkkään DK-Susc. –populaatioon. (Kuvio 1).



Kuvio 1. Fenoksapropi-P:n resistenssi-indeksit eri populaatioille (Mathiassen, Netland, Jahr, Talgre, Mintale, Auskalniene, Koppel, Junnila, Hallquist & Kudsk 2011).

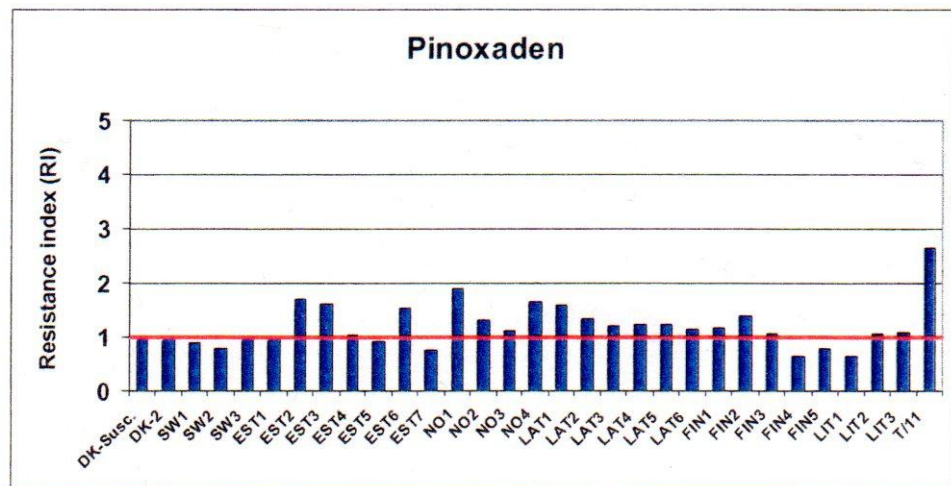
Fenoksapropi-P:n kohdalla oli kahdeksan (8) populaatiota, jotka tarvitsivat selkeästi suuremman torjunta-ainemäärän, jotta saatiin sama vaikutus kuin herkkään populaatioon. Populaatioista kaksi oli Ruotsista, kaksi Virossa, kaksi Norjasta, yksi Liettuasta ja viimeinen oli kestävä T/11. RI T/11:lle oli 3,8 ja muiden populaatioiden kohdalla vaihteluväli oli 0,75-3. T/11:sta lukuun ottamatta vain kolmella populaatiolla RI oli yli 2 (SW2, SW3 ja ES12). Fenoksaprop-P:n kohdalla esiintyi enemmän vaihtelua, kuin muilla tehoaineilla. (Mathiassen ym. 2011.)

Tralkoksidiimillä ei ollut muita suurempia kestävyuden omaavia kantoja kuin kestävä T/11, jonka indeksi oli 8,6 (kuvio 2). Muilla populaatioilla indeksit vaihtelivat välillä 0,24-1,6. (Mathiassen ym. 2011.)



Kuvio 2. Tralkoksidiimin resistenssi-indeksit eri populaatioille (Mathiassen ym. 2011).

Pinoksadeenin kohdalla tilanne oli saman suuntainen kuin tralkoksidiimillä. Erityisen korkeita indeksejä ei ollut ja kestävä T/11 –populaation RI oli 2,6 (kuvio 3). Muiden populaatioiden indeksit vaihtelivat välillä 0,63-1,89. (Mathiassen ym. 2011.)



Kuvio 3. Pinoksadeenin resistenssi-indeksit eri populaatioille (Mathiassen ym. 2011).

Tulosten perusteella ei voi sanoa, että testatuilla hukkakauran siemenillä olisi selkeää kestävyttä. Fenoksapropi-P:n kohdalla tulokset tosin vaihtelivat huomattavasti enemmän kuin tralkoksidiimilla ja pinoksadeenilla. Herbisidiherkkyyden ei voi myöskään sanoa korreloivan sijainnin suhteen, vaikka fenoksapropi-P:n kohdalla resistenssi-indeksi (RI) oli suurin Ruotsissa ja Virossa. (Mathiassen ym. 2011.)

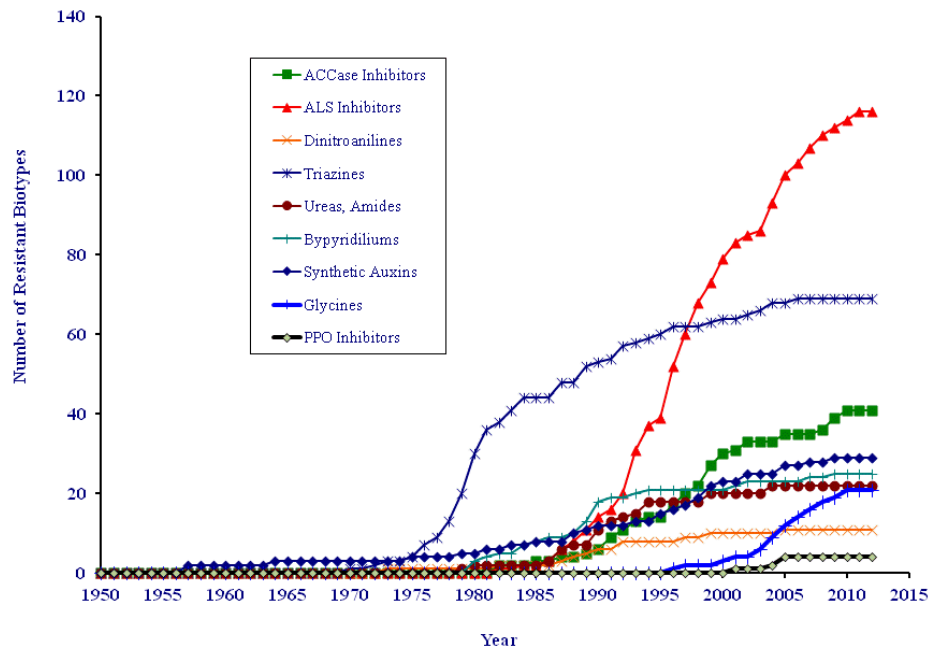
7 RESISTENSSIRISKIT TULEVAISUUDESSA

7.1 Resistenssin leviäminen

Resistenssin leviäminen voi tapahtua kestävien rikkakasvipopulaatioiden siementen levitessä uusille alueille esimerkiksi koneiden mukana. Resistenssin leviämistä edistää korkea valintapaine, joka johtuu saman tehoaineen laaja-alaisesta ja toistuvasta käytöstä silloin, kun tehoaineen vaikutus kasvissa kohdistuu vain yhteen tiettyyn toimintoon. (Ylhäinen 2012a,13; Petersen 2011, 21.)

Kesään 2010 mennessä oli maailmanlaajuisesti todettu herbisidikestävyiden omaavia lajeja 194 kappaletta, joista 114 oli kaksisirkkaisia ja 80 yksisirkkaisia. HRAC:n herbisidien vaikutustaparyhmistä kestäviä kantoja oli 17:llä kaikista 22:sta. (Cobb & Reade 2010, 216.)

Vuoden 2012 huhtikuun alkuun mennessä maailmanlaajuisesti on todettu virallisesti 376 resistenttiä rikkakasvibiotyyppiä ja 203 resistenttiä lajia, joista 118 on kaksisirkkaisia ja 85 yksisirkkaisia (International Survey of Herbicide Resistant Weeds 2012). Vajaassa kahdessa vuodessa on uusien resistenttien lajien määrä kasvanut yhdeksällä kasvilajilla. (Kuvio 4.)



Source: Ian Heap
<http://www.weedscience.com>

Kuvio 4. Resistenttien biotyyppien lukumäärän kehittyminen (Number Of Resistant Biotypes 2012).

ALS-inhibiittorit tulivat markkinoille 1980-luvun alussa. Noin kymmenen vuoden kuluttua näiden aineiden tulosta markkinoille alkoi nopea resistenttien biotyyppien lukumäärällinen kasvu (kuvio 4). Tällä hetkellä, vuoden 2012 huhtikuussa, näitä herbisidejä kestäviä biotyyppejä on 121 kpl (WeedScience.com 2012).

Ensimmäiset ACCase-inhibiittorit tulivat markkinoille 1970-luvun lopulla (Heap 1997, 240). Pian jo havaittiin ensimmäiset kestävät populaatiot ja kymmenen vuoden kuluttua oli havaittu vajaat parikymmentä kestävä biotyyppiä. Nykyisellään ACCase-inhibiittoreita kestäviä biotyyppejä on 42 kpl. (Kuvio 4.)

Triatsiineja kestäviä populaatioita on maailmanlaajuisesti jo yli 60 kpl (kuvio 4). Määrä johtuu siitä, että triatsiineja käytetään maailmalla yleisesti esimerkiksi maissin viljelyssä. Synteettisten auksiinien käyttö on ollut yhtä laajaa ja toistuvaa, mutta sille ei ole kehittynyt kestäviä kantoja yhtä paljon. (Heap 1997, 242). Suomessa triatsiinit eivät ole huomionarvoisia ja synteettisten auksiinien kohdalla resistenssiriski on huomattavasti pienempi kuin ALS- ja ACCase-inhibiittoreilla.

Yksi resistenssin leviämisen osatekijä on myös se, että 20 vuoteen ei ole tullut markkinoille merkittäviä uuden vaikutustavan omaavia rikkakasvihävitteitä. Sen sijaan on keskitytty enemmän glyfosaattia kestävien viljelykasvien kehittämiseen. (Duke 2011, 505.)

7.2 Voiko resistenssistä tulla ongelma myös Suomessa?

Suomessa ja Pohjoismaissa on jo kehittynyt herbisidiresistenttejä rikkakasvikantoja, joten suhtautumisen resistenssin mahdollisuuteen ja leviämiseen ei pitäisi olla välinpitämätön. On syytä tiedostaa, millaisilla kasvinuojelutoimilla tilanne pahenee ja herbisidiresistenssi voi tulla tulevaisuudessa vakavaksi ongelmaksi myös Pohjoismaissa. Ilmaston oletettu lämpeneminen voi lisätä kemiallisen torjunnan painetta, joten kasvinuojeluaineita tulee käyttää vastuullisesti, ettei edesauteta resistenssin leviämistä maassamme.

Vaikka suomalainen viljelykulttuuri poikkeaa keskieuropalaisesta, on kestävien rikkakasvipopulaatioiden kehittyminen meilläkin mahdollista. Erityisesti pienannosaineiden käyttö on meillä yleistä ja usein vuosittain toistuvaa. Jos suorakylvön ja kevytmuokkauksen suosio edelleen kasvaa, kasvinuojeluaineiden käytön tarve lisääntyy. (Junnila, esitelmä 18.11.2011.)

Käytännön maamiehen päätoimittajan Törmän (2011) mukaan rikkakasvien kestävyys kasvinuojeluaineita vastaan on muodostumassa ongelmaksi myös Suomessa. Muualla Euroopassa resistenssi on jo todellinen ongelma.

7.3 Resistenttien rikkakasvikantojen kehittymisen estäminen

Resistenttien rikkakasvipopulaatioiden syntymisen estämisessä viljelytoimet ovat avainasemassa. Kun käytetään herbisidejä, ei pidä käyttää pienannosaineiden ryhmään (ryhmä B, ks. liite 1) kuuluvia valmisteita toistuvasti 3-5 vuotta kauemmin. Muita kuin sulfonyyliureoita on käytettävä vähintään seuraavat 2-3 vuotta. (Jalli 2012a, 24.)

Jos rikkakasvihävitteen teho on huono, on syytä ottaa huomioon muutamia ruiskutustulokseen vaikuttavia tekijöitä. Ruiskutustulos voi olla huono, jos käytetään liian pientä annosta, jos sää on epäsuotuisa tai jos ruiskutetaan liian myöhään ja rikkakasvit ovat ehtineet kasvaa liian isoiksi. Resistenssiä voi epäillä, mikäli ruiskutus on suoritettu ohjeen mukaisesti hyvissä olosuhteissa ja jokin alttiiksi tiedetty rikkakasvilaji selviytyy, vaikka muihin rikkakasveihin torjunta-aineen teho on hyvä. Epäilyyn löytynee vahvistusta viljelyhistoriasta. Jos on toistuvasti käytetty saman vaikutustavan omaavaa pienannosherbisidiä useiden vuosien ajan, on resistenssi mahdollinen. Jos viljelykierto ja torjunta-aineiden käyttö on ollut monipuolista, on resistenssi epätodennäköinen. (DuPont Agro 2003.)

Jos jokin rikkakasvi ei tuhoudu, on muutettava torjuntastrategiaa ja käytettävä kestävästä rikkakasvin torjuvaa toisen vaikutustavan omaavaa valmistetta vähintään seuraavat 5 vuotta. Tärkeää on ajoittaa ruiskutus oikein ja käyttää ohjeen mukaisia maksimimääriä parhaan tehon saamiseksi. Monipuolinen viljelykierto mahdollistaa laajemman torjunta-ainevalikoiman, joka helpottaa resistenssin syntymisen ehkäisyä. Kasvinuojeluaineiden käytössä on huomioitava myyntipäällystekstit ja toimittava niiden mukaisesti. (Jalli 2012a, 24; Junnila ym. 2011, 159.) Ei-kemiallisista menetel-

mistä on kerrottu tarkemmin luvussa 7.4.1 ja niillä on merkittävä rooli resistenssin syntymisen ennaltaehkäisyssä.

Suomessa viljantuotannossa ALS-inhibiittoreita kestävä pihatähtimön torjuntaan soveltuvia herbisidejä on vähän. Vaihtoehtoina ovat fenoksihapot MCPA:ta lukuun ottamatta, fluroksipyyri-valmisteet ja Oxitril. Fenoksihapot ja fluroksipyyri-valmisteet kuuluvat HRAC:n ryhmään O ja Oxitriiliin ryhmään C3 (ks. liite 1). (Junnila, esitelmä 18.11.2011.)

Resistenssin leviämisen estämiseksi Pohjoismaissa NORBARAGin työryhmä miettii yhtenäisiä kasvinsuojeluaineiden myyntipäällystekstejä. Oikeita toimintatapoja suunnitellaan yhdessä kasvinsuojeluaineyritysten, tutkijoiden ja viranomaisten kanssa. (Junnila, esitelmä 18.11.2011.)

7.4 Integroidun kasvinsuojelun periaatteet

Integroitu kasvinsuojelu eli IPM (Integrated Pest Management) -viljely on tehokas ja ympäristön huomioiva sekä käytännöllinen lähestymistapa kasvinsuojeluun. Ensin toteutetaan ennaltaehkäisevät toimenpiteet, joita ovat mm. viljelykierto, lajikevalinta ja laadukkaan kylvösiemenen käyttö. Ennen kemialliseen torjuntaan ryhtymistä tarkkaillaan, ylittyykö torjuntakynnys ja onko kasvustossa kasvintuhoojia. Mikäli kasvintuhoojien ennaltaehkäisyn jälkeenkin on todennettu torjuntatarve, tehdään tarkkailun perusteella tarvittavat kemialliset ruiskutukset. (Integrated Pest Management (IPM) Principles 2012.)

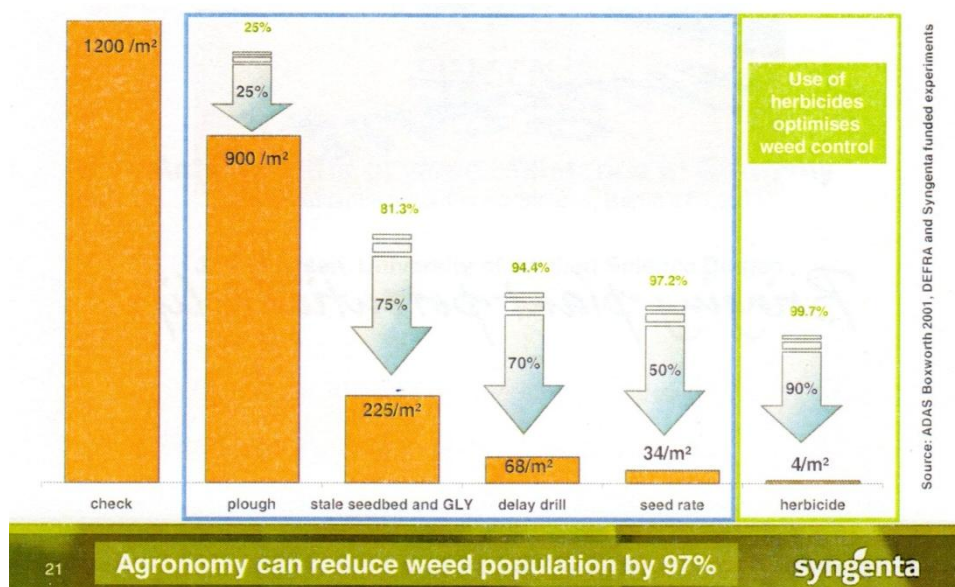
Kemiallisen kasvinsuojelun toteuttamista arvioidaan myös siltä kannalta, kuinka suuret ympäristöriskit siitä aiheutuu. Jos on mahdollista, valitaan vähähaittaava kasvinsuojeluaine, mutta kaikki markkinoilla olevat valmisteet ovat sallittuja. (Integrated Pest Management (IPM) Principles 2012.)

FAO:n (Food and Agriculture Organization of the United Nations) määritelmää mukaillen IPM "tarkoittaa kaikkien mahdollisten ja sopivien torjuntamenetelmien harkitsemista ja yhdistelyä toistensa kanssa pyrittäessä ehkäisemään kasvintuhoojien lisääntymistä. Integroidussa torjunnassa torjunta-aineiden ja muiden kasvinsuojelukeinojen käyttö pidetään tasolla, joka on taloudellisesti perusteltu ja joka minimoi ihmisten terveydelle ja ympäristölle aiheutuvat riskit." (PesticideLife –hanke n.d.)

Euroopan parlamentti hyväksyi vuonna 2009 kasvinsuojeluaineiden kestävä käyttöä koskevan puitedirektiivin. Puitedirektiivin mukaisesti IPM:n yleisiä periaatteita aletaan soveltaa jäsenmaissa vuodesta 2014 alkaen. Puitedirektiivin pohjalta Suomessakin on valmisteltu kasvinsuojeluaineiden kestävä käytön kansallinen toimintaohjelma (NAP, National Action Plan), jonka toimeenpaneva viranomainen Suomessa on Turvallisuus- ja kemikaalivirasto (Tukes). (Laitinen, Junnila, Markkula, Tiilikkala, Autio & Erlund 2011, 3; Kasvinsuojeluaineiden kestävä käytön kansallinen toimintaohjelma 2011.)

7.4.1 Viljelytekniset torjuntamenetelmät

Kuviosta 2 näemme eri viljelytoimien vaikutuksen rikkakasvin, tässä tapauksessa rikkapuntarpään, siementen määrään. Kuvion tarkoitus on selvittää integroidun kasvinsuojelun yleisten periaatteiden mukaisen toiminnan vaikutus kemiallisen torjunnan tarpeeseen. Ensiksi tulisi käyttää erilaisia viljelytekniisiä keinoja, joilla vähennetään rikkakasvin siementen määrää maassa. Vasta viimeisenä vaihtoehtona käytetään herbisidiä tarpeen mukaan. Tällaisella menettelyllä vähennetään huomattavasti resistenssin kehittymisen riskiä, koska rikkakasvipopulaatiosta on viljelytekniisin keinoin onnistuttu vähentämään jopa 97 %. Kun jäljellä on enää vain vähän rikkakasveja, on niiden torjuminen kemiallisesti huomattavasti helpompaa ja riski resistenssin kehittymiselle pienenee. (Kaundun 2011, 11.)



Kuvio 5. Viljelytoimien ja herbisidin käyttö rikkakasvin torjunnassa (Kaundun 2011, 11).

Kyntö vähentää rikkakasvien määrää 25 % alkuperäisestä tarkastelutilanteesta, jolloin rikkakasveja oli 1 200 kpl/m². Kynnön jälkeen kylvöalusta tasataan, jonka jälkeen orastuvat rikkakasvit voidaan torjua glyfosaatilla ennen kylvöä. Tässä vaiheessa rikkakasvipopulaatio on vähentynyt jo yli 80 % alkuperäisestä määrästä. Viivästetty kylvö ja kylvömäärän lisääminen voivat vielä vähentää rikkakasvien määrää, ja näin ei-kemiallisilla menetelmillä on voitu vähentää rikkapuntarpään määrää jopa 97 %. Lopuksi rikkakasvin torjunta viimeistellään herbisidillä, mikäli torjuntatarve on olemassa. (Kaundun 2011, 11.)

Zwenger (2011) kertoo esityksessään samasta asiasta kuin Kaundun. Resistenssin hallinta koostuu viljelyn eri tekijöistä, joista herbisidit ovat vain yksi osa. Viljelytekniset torjuntamenetelmät kuten maan muokkaus, viljelykierto ja kasvin kasvuun vaikuttavat tekijät omalta osaltaan vähentävät rikkakasvien määrää. Herbisidien käyttö on siis vain yksi osa kasvinsuojelua, ja niitä käytetään vain tarpeen mukaan. Herbisidien käytössä on myös huomioitava perättäisen käytön rajoitukset ja kiellot, joista mainitaan myyntipäällysteksteissä.

Kasville on pyrittävä antamaan hyvät kasvuolosuhteet, jolloin se pystyy paremmin kilpailemaan rikkakasvien kanssa. Kasvin kasvuun ja kilpailukykyyn rikkakasvia vastaan vaikuttavat esimerkiksi siemenen koko, viljelykasvi- ja lajikevalinta, tasapainoinen lannoitus sekä maalaji ja maan pH. (Zwenger 2011, 95.)

Laadukkaalla ja puhtaalla kylvösiemenellä kylvetty kasvusto on rehevä ja kilpailee hyvin rikkakasvien kanssa. Tasapainoisen lannoituksen myötä viljelykasvi orastuu ja kasvaa tasaisesti. Viljelykasvin hyvä kasvu vaatii myös sen, että kasvualusta on kunnossa. Tämä edellyttää kalkitusta, jotta maan pH pysyy viljelykasville suotuisana. Myös pellon vesitalouden on oltava kunnossa. Sarkaojien salaojitus on vähentänyt pientareiden määrää ja siten pientareilla kasvaneet ja levinneet rikkakasvit ovat vähentyneet. Jäljellä olevien pientareiden niittäminen ehkäisee osaltaan rikkakasvien leviämistä viljellylle pellolle. Viherkesannot tulee niittää oikeaan aikaan, jottei rikkakasvien siemenvarasto pellossa pääse kasvamaan. (Junnila & Jalli 2008, 40; Zwenger 2011, 95.)

8 JOHTOPÄÄTÖKSET

Maailmanlaajuisesti resistenssin leviäminen tiedostetaan hyvin, mutta rikkakasvien kestävydestä on olemassa näyttöä myös Suomessa. Yhden virallisesti todetun alkavan kestävyuden lisäksi on olemassa useita epäilyjä kestävyuden omaavista rikkakasvipopulaatioista. Suomessa on pienannosaineiden käyttö ollut monella tilalla vuosittain toistuvaa jopa vuosikymmenten ajan, jonka seurauksena voi kehittyä kestävyuden omaavia rikkakasvipopulaatioita.

Rikkakasvien resistenssinhallinnassa helpoin ja paras tapa on ennaltaehkäisy. Se on myös taloudellisesta ja ekologisesta näkökulmasta suotuisin. Kestävien rikkakasvikantojen kehittymisen jälkeen satotaso ja viljelijän tulot laskevat. Lisäksi rikkakasvien torjunnasta tulee entistäkin kalliimpaa ja viljelykiertoon on tehtävä muutoksia. Jos maahan kertyy resistentin rikkakasvipopulaation siemenpankki, kestävä useita vuosia ja jopa vuosikymmeniä, ennen kuin kestävästä rikkakasvipopulaatiosta päästään kokonaan eroon.

Resistenssin ennaltaehkäisemisessä viljelyteknisten menetelmien merkitys korostuu. Suorakylvön ja kevytmuokkauksen lisääntymisen seurauksena ei-kemiallisten menetelmien hyödyntäminen kasvinsuojelussa näyttää vaikeutuvan.

Kestävien rikkakasvipopulaatioiden torjuminen ja kestävyuden kehittymisen estäminen olisi helpompaa, jos käytössä olisi laajempi valikoima erilaisen vaikutustavan omaavia herbisidejä. Uusia ei kuitenkaan nykyisin enää kehitetä. Yksipuolinen saman vaikutustavan omaavien torjunta-aineiden toistuva käyttö lisää valintapainetta kestävien rikkakasvipopulaatioiden kehittymiselle.

Suomessa suurin riski kestävien rikkakasvipopulaatioiden kehittymiselle on silloin, kun toistuvasti useiden vuosien ajan ruiskutetaan ryhmien A tai B herbisideillä. Kestävyys kehittyy helpoimmin näiden ryhmien tehoainetta vastaan siksi, että ACCase- ja ALS-inhibiittoreilla on vain yksi vaikutuskohde kasvilla. Suomessa viljantuotannossa herbisidi-vaihtoehdot ovat vähissä, koska ALS-inhibiittoreita kestävä pihatähtimön torjuntaan ja ennaltaehkäisyyn soveltuvia herbisidejä on tarjolla vain vähän.

Rikkapuntarpään resistenssitesti toistettiin neljässä eri maassa, ja tulokset olivat suurimmaksi osaksi vertailukelpoisia. Tietyillä populaatioilla kestävyys oli huomattavaa ja tulokset olivat odotusten mukaisia. Vuonna 2011 toteutettu testivertailu oli ensimmäinen laatuaan.

Hukkakauran siementen resistenssitestissä mukana olleita siemeneriä ei todettu kestäviksi. NORBARAG:n puitteissa tehty työ Euroopan pohjoisella vyöhykkeellä on merkittävää resistenssin leviämisen estämiseksi.

LÄHTEET

- Anttonen, J. 2011. Omat kuvatiedostot.
- Cobb, A.H. & Reade, J.P.H. 2010. Herbicide Resistance. Herbicides and Plant Physiology, Second Edition. ISBN: 978-1-405-12935-0.
- Devine, M.D. 1997. Mechanisms of Resistance to Acetyl-Coenzyme A Carboxylase Inhibitors. *Pestic. Sci.* 1997. 51, 259-264.
- Duke, S.O. 2011. Why have no new herbicide modes of action appeared in recent years? *Society of Chemical Industry. Pest Manag Sci* 2012. 68, 505–512
- DuPont Agro. Tietoa viljelystä ja kasvinsuojelusta. 2003. Moniste.
- Farmit.net. n.d. Sinkin merkitys kasvissa. Viitattu 14.04.2012.
<http://www.farmit.net/kasvinviljely/lannoitus/ravinteiden-merkitys-ja-otto/sinkki>
- Heap, I.M. 1997. The Occurrence of Herbicide-Resistant Weeds World-wide. *Pestic Sci.* 51, 235-243.
- Herbicide Resistance Action Committee. n.d. Viitattu 21.04.2012.
<http://www.hracglobal.com/Home/tabid/121/Default.aspx>
- Herbicide Resistance Action Committee. 2005. Classification of Herbicides According to Site of Action. Viitattu 21.04.2012.
<http://www.hracglobal.com/Publications/ClassificationofHerbicideSiteofAction/tabid/222/Default.aspx>
- Honkala, J., Ripatti, S. & Suhonen, P. 2010. Hukkakauran torjuntaopas.
http://portal.savonia.fi/img/amk/sisalto/_tki-ja-palvelut/julkaisutoiminta/pdf/hukkakauranet.pdf
- Integrated Pest Management (IPM) Principles 2012. U.S. Environmental Protection Agency. Viitattu 31.03.2012.
<http://www.epa.gov/pesticides/factsheets/ipm.htm#control>
- International Survey of Herbicide Resistant Weeds. 2012. Viitattu 02.04.2012. <http://www.weedscience.org/In.asp>
- Jalli, H. 2011. Kuvatiedostot.
- Jalli, H. 2012a. Herbisidien luokittelu. Kasvinsuojelupäivä 2012. MTT Jokioinen. 18.1.2012. Kasvinsuojeluseura ry. Moniste.
- Jalli, H. 2012b. Kasvinsuojeluaineiden luokittelu vaikutustavan perusteella ja resistenssinhallinta – Rikkakasvien torjunta-aineet. Kasvinsuojelupäivä 2012. MTT Jokioinen. 18.1.2012. Kasvinsuojeluseura ry. PowerPoint – esitys.

Jalli, H. & Junnila, S. 2011. Torjunta-aineresistenssi lisääntyy Suomessa – rikkakasvit. Kasvinsuojelupäivä 2011. MTT Jokioinen. 18.1.2011. Kasvinsuojeluseura ry. Moniste.

Junnila, S. 2009. Resistenssiriskit kasvinsuojelussa – rikkakasvit. Kasvinsuojelupäivä 2009. MTT Jokioinen. 20.1.2009. Kasvinsuojeluseura ry. Moniste.

Junnila, S. 2011. Herbisidiresistenssi – riski kasvaa. 18.11.2011. Power-Point-esitys.

Junnila, S. & Jalli, H. 2008. Rikkakasvit. Teoksessa Mäki-Valkama, T. (toim.) Ajankohtaisia kasvinsuojeluohjeita. Helsinki: Kasvinsuojeluseura, 40-45, 52-54.

Junnila, S., Laine, P. & Ketola, J. 2011. Torjunta-aineresistenssiriskit kasvinsuojelussa. Kasvinsuojeluopas 2011-2012. Berner.

Juva, J. n.d. Berner Oy. KM5/2012, 15.

Kasvinsuojeluaineiden kestävän käytön kansallinen toimintaohjelma. 2011. Työryhmämuistio mmm 2011:4. Viitattu 21.04.2012.
http://www.mmm.fi/attachments/mmm/julkaisut/tyoryhmamuistiot/newfolder_25/5xCfswKPg/trm2011_4.pdf

Kasvinsuojeluinerekisteri n.d. Rikkakasviaineet. Turvallisuus- ja kemikaalivirasto. Viitattu 8.4.2012.
<https://kasvinsuojeluaineet.tukes.fi/Results.aspx>

Kaundun, D. 2011. Basics in grass and dicot weed resistance – occurrence, mechanisms and management. Anti-Resistance Initiative Herbicides. Seminaari. Berliini. 27.01.2011. Syngenta. Moniste, 1-11.

Kudsk, P. 2010. NORBARAG (Nordic Baltic Resistance Action Group) – a new resistance action group covering Denmark, Estonia, Finland, Latvia, Lithuania, Norway and Sweden. Outlooks on Pest Management – October 2010, 223-224.

Laitinen, P., Junnila, S., Markkula, I., Tiilikkala, K., Autio, S. & Erlund, P. 2011. Poliittikkakatsaus kasvinsuojeluaineiden kestävästä käytöstä. MTT Raportti 20. Jokioinen: MTT.

Lindenmeyer, R.B., Ostlie, M.H. & Shaner, D.L. 2011. What have the mechanisms of resistance to glyphosate taught us? Society of Chemical Industry. Pest Manag Sci. 2012. 68, 3-9.

Mathiassen, S. 2009. Susceptibility of wild oat from the Nordic and Baltic countries. Aarhus Universitet. Moniste.

Mathiassen, S. 2011. Status of Herbicide resistance in Scandinavia. Anti-Resistance Initiative Herbicides. Seminaari. Berliini. 27.01.2011. Syngenta. Moniste, 53-63.

Mathiassen, S.K., Netland, J., Jahr, K., Talgre, L., Mintale, Z., Auskalniene, O., Koppel, M., Junnila, S., Hallqvist, H. & Kudsk, P. 2011. Herbicide susceptibility of wild oat from seven countries. Book of abstracts, 92. Resistance 2011. Rothamsted Research. UK. 5.-7.9.2011.

Mukula, J. 1980. Herbisidit – Rikkakasvien torjunta-aineet ja niiden käyttö. Helsinki: Kasvinsuojeluseura ry.

Number of resistant biotypes. 2012. WeedScience.com. Viitattu 24.03.2012. <http://www.weedscience.org/In.asp>

PesticideLife –hanke. n.d. Kasvinsuojeluaineiden ympäristöriskien vähentäminen pohjoisissa oloissa. Moniste.

Petersen, J. 2011. Actual status of weed resistance in Germany. Anti-Resistance Initiative Herbicides. Seminaari. Berliini. 27.01.2011. Syngenta. Moniste, 13-23.

Raffel, H. 2011. Anti-Resistance Management – from theory to practice; a discrepancy? Anti-Resistance Initiative Herbicides. Seminaari. Berliini. 27.01.2011. Syngenta. Moniste, 97-108.

Saarinen, A. 11.11.2011. Vastaanottaja Sanni Junnila. Sähköpostiviesti. Viitattu 17.04.2012.

Törmä, P. 2011. Resistenssi todellinen ongelma. KM5/2011, 3.

WeedScience.com. 2012. Herbicide Resistant Weeds Summary Table. Viitattu 21.04.2012. <http://www.weedscience.org/summary/MOASummary.asp>

Ylhäinen, A. 2012a. Herbisidiresistenssi uhkaa myös Suomea. KM5/2012, 12-16.

Ylhäinen, A. 2012b. Torjunta-ainevioituksia syntyy hankalissa olosuhteissa. KM5/2012, 22-27.

Zwenger, P. 2011. Occurrence of Resistance, a normal Routine in Biology. Anti-Resistance Initiative Herbicides. Seminaari. Berliini. 27.01.2011. Syngenta. Moniste, 73-95.

HERBISIDITAUUKKO

Suomessa markkinoilla olevien viljojen, nurmien ja öljykasvien rikkakasvainneiden vaikutustavat					
Ryhmä	Vaikutustapa	Tehoaineluokka	Tehoaine	Kauppavalmiste, joka sisältää kyseistä tehoainetta	Käyttökohte
A	Rasvahapposynteesin esto (asetyyli-CoA karboksy-laasi-entsyymin toiminnan esto)	Arylofenoksiipropionaatti (FOP)	Fenoksaopropi-P-etyyli	Puma Extra	Hukkakaura viljalla
			Fluatsifoppi-butyyl	Fusllade	Hukkakaura öljykasveilla
			Propakvitsafoppi	Agil, Maatilan Propafop	Hukkakaura öljykasveilla
			Kvitsalofoppi-P-etyyli	Targa Super	Hukkakaura öljykasveilla
		Sykloheksaanidioni (DIM)	Sykloksidilmi	Focus Ultra	Hukkakaura öljykasveilla
			Tralkoksidilmi	Grasp	Hukkakaura viljalla
Fenyylipyrasoliini (DEN)	Pinoksadeeni	Axtal, Maatilan Pinoksadeeni, Swipe	Hukkakaura viljalla		
B	Aminohapposynteesin esto (ALS-entsyymin toiminnan esto)	Sulfonyyliurea eli pien-annosaine tai gramma-aine	Amidosulfuroni	Grati, Maatilan A-Sulfuroni, Maatilan A-Sulfuroni Duo, Maatilan Karbatsoni Super, Sekator, Attribut Super	Viljat, nurmet
			Metsulfuroni-metyyli	Ally, Ally Class, Maatilan M-Sulfuroni, Maatilan M-Sulfuroni Duo, Isomex	Viljat
			Triasulfuroni	Logran, Maatilan T-Sulfuroni	Viljat
			Sulfosulfuroni	Monitor, Maatilan S-Sulfuroni	Vehnä
			Tifensulfuroni-metyyli	Ratio SX	Viljat
			Jodosulfuroni-metyyli-natrium	Attribut Super, Sekator, Maatilan A-Sulfuroni Duo, Maatilan Karbatsoni Super	Viljat
			Tirtosulfuroni	Tooler	Viljat
			Tribenuroni-metyyli	Express SX, Express Twin, Ratio SX, T 50 Classic, Premium Classic SX, Classic SX Star, Maatilan Tribenuroni, Maatilan Tribenuroni Duo	Viljat, nurmet
		Imidatsolinoni	Imatsamoksi	Clamox	Aurea Ci-rypsi
		Sulfonyyliamino-karbonyyli-triatsolinoni	Propoksikarbatsoni-natrium	Attribut Super, Maatilan Karbatsoni Super	Viljat
Triatsolopyrimidilmi	Florasulaami	Broadway, Cantor, Primus, Starane XL, Maatilan Florasulaami Duo, Mustang Forte	Viljat, nurmet		
	Pyroksulaami	Broadway	Viljat		
C3	Yhteyttämisen esto (fotosysteemi II)	Nitrili	Bromoksinilli	Oxtril	Viljat
			Ioksinilli	Oxtril	Viljat
		Bentsoatiadiatsinoni	Bentatsoni	Basagan, Maatilan Bentatsoni	Apilat, herne, pavut
Fenyyli-pyridatsiini	Pyridaatti	Lentagran	Öljykasvit		
E	Klorofyllin muodostuksen esto	Triatsolinoni	Karfenratsioni-etyyli	Ally Class, Maatilan M-Sulfuroni Duo	Viljat
G	Aminohapposynteesin esto (EPSP-entsyymin toiminnan esto)	Glysiini	Glyfosaatti	Kaikki glyfosaatit	Kaikki
K3	Solun jakautumisen esto (rasvahapposynteesin esto)	Kloroasetamidi	Metatsaklori	Butisan S, Butisan Top, Clamox, Maatilan Metatsaklori Duo	Öljykasvit
		Asetamidi	Napropamidi	Devrnoi	Öljykasvit
L	Soluseininen (selluloosa) muodostumisen esto	Kinollini-karboksyylihappo	Kvinmerakki	Butisan Top, Maatilan Metatsaklori Duo	Öljykasvit
O	Synteettiset auksiniitit (toimivat kasvissa kuten IAA)	Fenoksi-karboksyylaasi-happo	2,4-D	Cantor, Mustang Forte, Maatilan Florasulaami Duo	Viljat, nurmet
			Dikloproppi-P	Hankkijan Trio, K-Trio	Viljat, nurmet
			Mekoproppi-P	Hankkijan Trio, K-Trio	Viljat, nurmet
			MCPA	MCPA-valmisteet, Artane S, Hankkijan Trio, K-Trio, Maatilan MCPA, Maatilan MCPA Trio	Viljat, nurmet
		Pyridiini-karboksyylihappo	Klopyralidi	Artane S, Galera, Maatilan Klopyralidi, Matrigon, Maatilan Klopyralidi Duo, Maatilan MCPA Trio	Viljat, nurmet, öljykasvit
			Amidopyralidi	Mustang Forte	Viljat
			Fluoksipyyrit	Starane XL, Tomahawk, Tandus, Maatilan Fluro, Maatilan MCPA Trio, Artane S, Express Twin, Classic SX Star	Viljat, nurmet
			Pikloraami	Galera, Maatilan Klopyralidi Duo	Öljykasvit
		Kinollini-karboksyylihappo (myös ryhmä L)	Kvinmerakki	Butisan Top, Maatilan Metatsaklori Duo	Öljykasvit

Ryhmissä A ja B on suurin riski resistenssin syntyyn. Esimerkiksi noin puolet vilja-alasta ruiskutetaan gramma-aineilla, jotka kuuluvat kaikki samaan ryhmään.
Huom! Taulukosta puuttuvat erikoiskasvien aineet.

(Ylhäinen 2012a, 14.)