



Forord

Denne studien ble utført ved Bioforsk PlanteHelse i perioden 2014-2015. Oppgaven er en del av prosjektet «Redusert risiko for plantevernmiddelresistens» som finansieres av Landbruks- og matdepartementet.

Jeg vil rette en stor takk til faglig veileder Nina Svae Johansen og hovedveileder Richard Meadow. Nina har hatt en viktig rolle under planlegging og gjennomføring av studien. Hun har også kommet med gode råd og konstruktiv kritikk til databearbeiding og i skriveprosessen.

Jeg ønsker å takke Annichen Smith Eriksen, Kari Aarekol, Erling Fløistad og Silje Stenstad Nilsen for innsamlede bladlus.

Takk til venner og familie for god støtte og oppmuntring i en hektisk periode.

Innhold

Sammendrag	3
Abstract	4
1 Plantevernmiddelresistens hos bladlus.....	5
1.1 Introduksjon	5
1.2 Utvikling av resistens.....	7
1.3 Resistensmekanismer	7
1.4 Resistensdynamikk	8
1.5 Tiltak for å håndtere resistens	9
2 Introduksjon	10
3 Materiale og metode	12
3.1 Planter brukt til oppformering og tester	12
3.2 Innsamling og oppformering av bladlus	12
3.3 Biologisk test	15
3.3.1 Innledende studie	15
3.3.2 Tidspunkt for gjennomføring av biologisk test	16
3.3.3 Forsøksoppsett	17
3.3.4 Registreringer.....	18
3.3.5 Data analyse	18
4 Resultater	19
4.1 Mortalitet i biologisk test	19
4.1.1 Lambda-cyhalotrin	19
4.1.2 Tiaklopid.....	25
4.1.3 Flonikamid	31
5 Diskusjon	36
6 Konsekvenser for dyrkernes plantevernpraksis	38
7 Litteraturliste.....	39

Sammendrag

Ferskenbladlus, *Myzus persicae*, og agurkbladlus, *Aphis gossypii*, er globalt viktige skadegjørere på jodbruksvekster og hagebruksvekster. I Norge er disse artene sammen med potetbladlus, *Macrosiphum euphorbiae*, og grønnflekkt veksthusbladlus, *Aulacorthum solani*, et problem i veksthus og på friland. Det er på verdensbasis registrert resistens mot pyretroider og økt følsomhet for neonicotinoider hos *M. persicae* og *A. gossypii*, mens det i Norge er utført få studier som kartlegger resistensutviklingen hos bladlus i veksthus- og frilandskulturer.

For å øke kunnskapen om utbredelsen av resistens i norske bladluspopulasjoner, er det i denne studien utført biologisk testing av elleve bladluspopulasjoner innen artene *M. persicae*, *A. gossypii*, *M. euphorbiae* og *A. solani* for følsomhet overfor lambda-cyhalotrin (biologisk virkemåte 3A), tiaklopid (biokjemisk virkemåte 4A) og flonikamid (biokjemisk virkemåte 9C). Bladlusene er samlet i tidsperioden juli til november 2014 fra åtte lokaliteter i Norge.

Studien viser resistens hos *M. persicae* populasjonene mot lambda-cyhalotrin. Populasjonene av *A. gossypii*, *M. euphorbiae* og *A. solani* var følsomme for lambda-cyhalotrin, men *A. gossypii* og *A. solani* samlet i Rogaland viser lavere følsomhet for de sterkeste konsentrasjonene enn populasjonene fra Østlandet. Populasjonene i studien var følsomme for tiaklopid, men *M. euphorbiae* populasjonen fra Rogaland har lavere mortalitet ved anbefalt dose enn populasjonen fra Akershus. Testene er for lite omfattende til å kunne gi konkrete råd til dyrkernes plantevernpraksis.

Testene av *M. persicae* populasjonene viser lav mortalitet for alle de testede konsentrasjonene av flonikamid, også for referansestammen. Dersom samme metode skal brukes i fremtidige tester av resistens mot flonikamid, bør en forsøke å bruke andre vertplanter enn paprika eller la bladene ligge lenger i plantevernmiddelkonsentrasjonene. Studien viser at *A. gossypii* populasjonene har høy mortalitet ved anbefalt dose av flonikamid.

Abstract

Peach-potato aphid, *Myzus persicae*, and cotton aphid, *Aphis gossypii*, are a globally important aphid pest on a wide range of horticultural and agricultural crops. In Norway, these species along with potato aphids, *Macrosiphum euphorbiae*, and foxglove aphids, *Aulacorthum solani*, are a problem in greenhouses and in the fields. Worldwide it is registered resistance to pyrethroids and increased sensitivity to neonicotinoids in populations of *M. persicae* and *A. gossypii*, while there in Norway are only a few studies that register the development of resistance in aphids in greenhouses and open field cultures.

To increase knowledge about the prevalence of resistance in Norwegian aphids populations, there are in this study bioassay of eleven aphids populations within the species *M. persicae*, *A. gossypii*, *M. euphorbiae* and *A. solani* for susceptibility to lambda cyhalothrin (modes of action 3A), tiakloprid (modes of action 4A) and flonikamid (modes of action 9C). In the period July to November 2014, leaf louse was collected from eight locations in Norway.

The study shows resistance with *M. persicae* populations against lambda-cyhalothrin. Populations of *A. gossypii*, *M. euphorbiae* and *A. solani* were susceptible to lambda-cyhalothrin, but *A. gossypii* and *A. solani* collected in Rogaland shows lower sensitivity of the strongest concentrations than populations from eastern Norway. Populations in the study were sensitive to thiacloprid but *M. euphorbiae* population from Rogaland have lower mortality at the recommended doses than the population of Akershus. The tests are not comprehensive enough to be able to give specific advice to growers' procedure of plant protection.

The tests of *M. persicae* populations show low mortality for all the tested concentrations of flonicamid, also for the reference strain. If the same method will be used in future tests of resistance to flonicamid one should try to use other host plants than peppers or let the leaves remain longer in pesticide concentrations. *Aphis gossypii* populations have high mortality at the recommended dose of flonicamid.

1 Plantevernmiddelresistens hos bladlus

1.1 Introduksjon

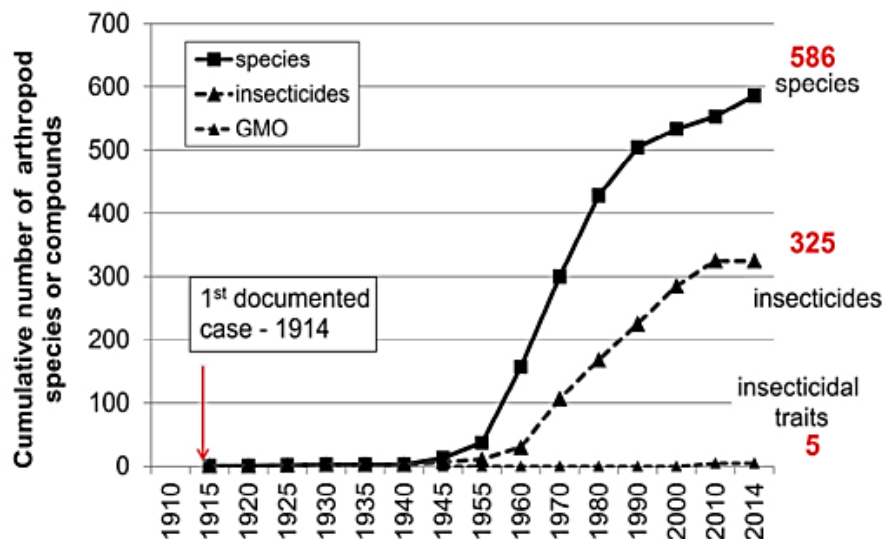
Verden står overfor en stor utfordring de kommende tiårene når det gjelder å fø en raskt voksende befolkning, samtidig som naturressurser og miljø skal beskyttes. I år 2011 passerte verdens befolkning syv milliarder mennesker, og ifølge FN (2013) forventes verdens befolkning å passere ni milliarder innen 2050. Det er over 100 bladlusarter som forårsaker alvorlig skade på over 4000 jordbruksvekster og hagebruksvekster over store deler av verden (Dixon 1987). Bladlus utgjør skade på planter direkte gjennom næringsopptak fra plantenes floem og indirekte som vektor for virus (Blackman og Eastop 2000). Utskilling av honningdugg kan føre til tilklistring av plantene og kan gi grobunn for mikroorganismer (Leroy et al. 2011; Dik og Vanpl 1992). For å minimere skader grunnet bladlus er det viktig at bladlusene kan bekjempes raskt og effektivt (Boquel et al. 2014).

Figur 1 viser utviklingen av resistente insekt, fra den første artikkelen med funn av resistens ble publisert av Melander (1914) til 2014. Melander påviste resistens hos *Quadraspidiotus perniciosus* (familie Diaspididae) mot kalk-svovel preparater. Deretter har det sporadisk vært rapportert om insektmiddelresistens fram til 1940-tallet (Forgash 1984). Innføringen av syntetiske organiske plantevernmidler som DDT og fosformidler rundt 1940-tallet, gjorde midlene mer effektive og ga et større spekter av virksomme stoff. På grunn av hyppig og gjentatt bruk av disse midlene økte også tilfellene av resistens kraftig (Sparks og Nauen 2014; Georghiou 1986). Når et middel gir dårligere virkning enn normalt, kan dette føre til økt bruk for å få ønsket effekt. Dette kan potensielt gi en selvforsterkende effekt i tilfeller hvor nedsatt virkning av middelet skyldes resistens hos skadedyret (Koo et al. 2014).

Plantevernmidler rettet mot insekter har aldri utgjort en stor del av den totale omsetningen av plantevernmidler i Norge, men kommer ofte i fokus på grunn av restmengder i produktene og negative sidevirkninger i miljøet (Hofsvang 2003). I perioden 1948-2002 var det hovedsakelig midler innen de kjemiske gruppene klorerte hydorkarboner, organiske fosformidler, karbamater og pyretroider som ble benyttet i Norge. Nordhus (2005) utførte på begynnelsen av tusetallet molekylære og immunologiske tester på femten norske *M. persicae* populasjoner. Bladlusene ble samlet fra 1999 til 2002, frosset ned etter innsamling og oppbevart i 80 % EtOH ved -80°C inntil

analysene ble utført. Nordhus (2005) fant høy frekvens (67%) av MACE resistensmekanisme mot karbamater i populasjonene, og 87 % av populasjonene hadde *kdr* mutasjon resistensmekanisme mot pyretroider. Bladluspopulasjonene Nordhus (2005) testet var multiresistente, og hadde mekanismer som gjorde dem resistente mot de fleste midler. Bladluspopulasjonene Nordhus (2005) testet var multiresistente, og hadde mekanismer som gjorde dem resistente mot de fleste midler. Alsvik (2002) brukte to av disse *M. persicae* populasjonene, en fra Østlandet og en fra Rogaland, i biologisk testing for å finne populasjonenes følsomhet overfor imidakloprid og pirimikarb. Begge populasjonene viste full immunitet mot pirimikarb og lavere følsomhet for de svakeste dosene av imidakloprid sammenlignet med referansepopulasjonen.

Introduksjonen av neonicotinoider på starten av nittitallet medførte i mange tilfeller til at midler det var registrert resistens mot, ble erstattet med neonicotinoider (Simon-Delso et al. 2015). Selv om det er registrert få tilfeller av resistens mot neonicotinoider (Bass et al. 2014) er det funnet tilfeller av «naturlig toleranse», spesielt hos bladlus som er tilpasset nikotinholdige planter slik som tobakk. I biologisk test av *M. persicae nicotianae* samlet på tobakk i Hellas (2007) fant Puinean et al. (2010) 30-60 ganger høyere toleranse for seks neonicotinoider sammenlignet med en kjent mottakelig referansestamme.



Figur 1 Akkumulert økning i tilfeller av insektmiddelresistens mot et eller flere insektmidler, antall insektmidler hvor en eller flere arter har vist motstand, og antall rapporterte tilfeller av resistens mot GMO egenskaper (Sparks og Nauen 2014 s. 2).

1.2 Utvikling av resistens

Insektmiddelresistens er av Verdens helseorganisasjon (WHO 1957 s. 279) definert som en arvet egenskap som gjør at en stamme av en organisme overlever en dose av et giftig stoff, som vil være dødelig for majoriteten av individer i en normal populasjon av samme art. Når plantevernmidler blir brukt for å holde skadedyrangrep nede, vil naturlig seleksjon kunne favorisere individer som er mer tolerante mot middelet (Ceccatti 2009 s. 205). En insektpopulasjon kan kalles resistent når middelet er brukt som anbefalt og har gitt god virkning tidligere, gitt at den dårlige effekten ikke er forårsaket av lagring, bruk eller dosering (Mota-Sanchez et al. 2002). I de fleste tilfeller vil ikke resistens oppstå kun mot en kjemisk forbindelse, men også føre til kryssresistens (Wright 2011). Dette skjer ofte fordi kjemiske forbindelser med beslektede kjemiske grupper ofte deler bindingssete hos skadedyret, og dermed deler virkningsmekanisme. En vanlig årsak til utvikling av resistens er genetisk modifikasjon av bindingssetet. Når dette skjer, vil det kunne utvikles kryssresistens. Kryssresistens for neonicotinoider er funnet hos *A. gossypii* (Koo et al. 2014). Bladlusene fikk nye vertplanter sprayet med utelukkende imidakloprid (40 ppm) hver tiende dag. Etter fem år ble det registrert resistens mot imidakloprid og fem andre neonicotinoider. Kryssresistens kan også forekomme mellom komponenter med ulik biokjemisk virkemåte. Det kan skje ved at skadegjøreren øker produksjon av generelle avgiftningsenzymmer som kan bryte ned flere ulike typer kjemiske forbindelser (Johansen 2015a). Konsekvens av kryssresistens kan være at en populasjon alt er resistent mot et nytt og ubrukt middel. Når bladlusene utvikler resistensmekanismer mot to eller flere komponenter med ulik biokjemisk virkemåte (Panini et al. 2014), kalles det multiresistens.

1.3 Resistensmekanismer

Resistens mot plantevernmidler hos *M. persicae* og *A. gossypii* har lenge vært kjent og kan skyldes flere mekanismer. Blant annet gir overproduksjon av karboksylesterase resistens mot fosformidler (Devonshire og Moores 1982; Ahmad og Arif 2008), modifisert form av acetylkolinesterase (MACE) gir resistens mot karbamater (Moores et al. 1994) og endring i natriumkanalene kalt «knockdown resistens» (kdr) gir resistens mot pyretroider (Eleftherianos 2008; Foster et al. 2007). Cytokrom P450 monooksygenase kan gi økt oksidativ metabolisme av det virksomme stoffet (Denholm og Jespersen 1999). Dette kan være årsak til resistens mot nesten alle hovedgrupper av plantevernmidler, med unntak av cyklodiener. Resistensmekanismer basert på økt uttrykk av

avgiftningenszymer, slik som cytokrom P450, esterase og glutation S-transferase, kan gi resistens mot neonikotinoide (French-Constant, Daborn og Le Goff 2004). Punktmutasjon (R81T) i nikotin acetylkolin reseptor (nAChR) medfører resistens mot neonikotinoide (Bass et al. 2014). Studien til Koo et al. (2014) viser at punktmutasjon (R81T) i nAChR gir resistens mot imidakloprid hos *A. gossypii*, samme mekanisme er registrert å gi resistens mot imidakloprid hos *M. persicae* (Bass et al. 2011).

1.4 Resistensdynamikk

Resistenstilstanden i en populasjon er dynamisk, og er basert på en kombinasjon av genetikk og biologi hos bladlusene sammen med egenskaper hos plantevernmiddelet og hvordan det brukes (Georghiou 1986 s. 14). Foster et al. (2002) oppsummerer to langtidsstudier av resistensdynamikk hos *M. persicae* samlet fra flere lokaliteter i England. I studiene ble det utført biokjemisk testing av *M. persicae* for resistens forårsaket av forhøyede nivåer av karboxylesterase E4/FE4 og modifisert acetylkolinesterase (MACE). I den ene undersøkelsen ble bladlusene samlet i feller plassert i frilandskulturer av sukkerbete (*Beta vulgaris* var. *altissima*). Innsamling og tester ble utført i perioden 1989-2000. Den andre undersøkelsen ble utført på bladlus samlet direkte fra felt og veksthuskulturer med grønnsaker og prydplanter. Innsamling og gjennomføring av den andre undersøkelsen ble gjort i perioden 1996-2000. Studien viste svingninger i resistensfrekvens hos *M. persicae* som trolig gjenspeiler bruk av plantevernmidler.

Bladlus har biologi som gjør dem utsatt for resistensutvikling. Kort generasjonstid og en høy reproduksjonsrate (Aldamen og Gerowitt 2009) gjør at mekanismer som fører til svakere følsomhet for et middel, raskt kan bygge seg opp i populasjonen. Bladlusartene *M. persicae* og *A. gossypii* er globalt blant de ti insektartene der det er registrert resistens mot flest kjemiske grupper (APRD 2015a). Mekanismer som gjør bladlus resistente mot et plantevernmiddel er ofte energikrevende, og kan for eksempel påvirke deres evne til å reproducere (Kliot og Ghanim 2011). Resistensmekanismer med en fitnesskostnad kan føre til at resistensfrekvensen i en bladluspopulasjon minker når den ikke er i kontakt med det aktuelle virksomme stoffet (Foster et al. 2002).

1.5 Tiltak for å håndtere resistens

Plantevernmiddelresistens er et eksempel på rask evolusjon, hvor bruken av kjemiske midler kan selektere for individer som er mindre følsomme for det aktuelle virksomme stoffet (Foster et al. 2002). Samtidig er mange av midlene skadelige for nytteorganismer (Diehl et al. 2013), og dermed kan bruken av plantevernmidler føre til et større skadedyrproblem. For å håndtere resistens for plantevernmidler hos bladlus, kreves det en plan som involverer minimal og rasjonell bruk av kjemiske midler, tilrettelegging for nytteorganismer og optimalisering av forholdene for god plantehelse (Prokinova 2005). Fordi det er mange faktorer som påvirker resistensfrekvensen i en bladluspopulasjon, opptrer resistens ofte som et lokalt fenomen og ulike strategier må vurderes etter den spesifikke situasjonen.

Dersom kjemiske midler skal benyttes, er det viktig med vekslende bruk mellom midler med ulik biokjemisk virkemåte for å bryte seleksjon for mekanismer som fremmer toleranse for en biokjemisk virkemåte (Rotteveel, Jørgensen og Heimbach 2011 s. 432-438). Fordi det er knyttet store kostnader (ECP 2010) til utvikling av plantevernmidler med nye virkemåter, er det viktig å verne om virkningen til de gamle midlene.

Tiltak for å forebygge resistens bør utføres før det oppstår bekjempelsesproblemer. Dersom et middel mister sin virkning, kan det bli færre midler å veksle mellom og seleksjonspresset for resistensmekanismer mot de gjenværende midlene øker. Det er derfor viktig med overvåkning av arter der resistens er påvist og av arter med høy risiko for å utvikle resistens (Johansen 2015a). Tilgangen på standardiserte og validerte metoder som er enkle å gjennomføre, er avgjørende for vellykket overvåkning av resistensproblemer. IRAC (Insecticide Resistance Action Committee) har utviklet standardiserte biologiske tester som gjør det mulig å sammenligne resultater.

2 Introduksjon

I Norge utgjør agurkbladlus, *A. gossypii*, størst skade på agurk og pryddplanter i veksthus (Sundbye 2011a), men kan ha mange vertplanter (Blakman og Eastop 2000 s. 230). Varianten av *A. gossypii* som fins i Europa legger ikke levedyktige egg og må derfor overvintre som voksne på frostfrie plasser (Sundbye 2011a). Grønnflekket veksthusbladlus, *A. solani*, er polyfag (Blakman og Eastop 2000 s. 245). Denne arten er vektor for mange virus, blant annet i potet (Verbeek et al. 2010). *Aulacorthum solani* kan overvintre både som voksne og som egg i Norge, avhengig av hvilken rase det er (Sundbye 2011b). Potetbladlus, *M. euphorbiae* kan ha mange vertplanter (Blakman og Eastop 2000 s. 291), også utbredt på friland i Norge. *Macrosiphum euphorbiae* kan overføre mange plantevirus (Merkuri et al. 2012). *Macrosiphum euphorbiae* kan overvintre som egg og som voksne i Norge, avhengig av rase (Sundbye 2009). Ferskenbladlus, *M. persicae*, er polyfag (Blakman og Eastop 2000 s. 308). I Norge er den en betydelig skadegjører i veksthus, og på friland er den en viktig vektor for virus i potet (Edland 2003 s.150-152). Ifølge Edland (2003 s. 150-152) overvintrer *M. persicae* vanligvis som partogenetiske hoer i veksthus, potetkjellere og lagerrom i Norge.

Bladlusene kan følge med plantemateriale og på den måten spre seg over store avstander. I tillegg er det registrert tilfeller hvor *M. persicae* har kunnet drive 1500 km med luftstrømmer når temperaturen var over 16°C (Stenseth 1998). Studien til Ben-Ari, Gish og Inbar (2015) viser at også vingeløse bladlus kan spre seg langt. I studien klarte erbebladlus, *Acyrtosiphon pisum*, å gå 13,5 m fra punktet de ble frigjort til en vertplante, innen syv timer.

Pyretroider og neonikotinoider utgjør fremdeles en stor del av plantevernmidlene som blir brukt mot bladlus, derfor er et av midlene vi har testet fra disse kjemiske gruppene. Det er over ti år siden Alsvik (2002) og Nordhus (2005) registrerte resistens mot plantevernmidler hos femten *M. persicae* populasjoner, derfor var det passet det med en ny test av resistens mot plantevernmidler i norske bladluspopulasjoner. Flonikamid er relativt nylig tatt i bruk, det virksomme stoffet ble først benyttet internasjonalt i 2005 (Sparks og Nauen 2014), og i Norge ble det godkjent i 2014. Vi forventet derfor ikke å finne resistens mot dette virkestoffet, men ønsket en referanse til fremtidige tester og overvåkning.

Målsetting for oppgaven er å øke kunnskapen om utbredelse av resistens mot plantevernmidler hos bladluspopulasjoner fra ulike distrikt i Norge. I denne undersøkelsen ble det utført biologisk testing av følsomheten overfor tiaklopid, lambda-cyhalotrin og flonikamid hos populasjoner av *M. persicae*, *M. euphorbiae*, *A. gossypii* og *A. solani*. Bladlusene er samlet fra fylkene Rogaland, Akershus, Buskerud og Østfold. Populasjoner av *M. persicae* som ble samlet i 2014, ble sammenlignet med *M. persicae* populasjon som har levd i kulturrom hos Bioforsk Plantehelse fra den ble samlet i 2000. Denne studien var i utgangspunktet planlagt å omhandle kun *M. persicae* populasjoner, derfor har vi ingen referansestamme for *M. euphorbiae*, *A. gossypii* og *A. solani*. På grunn av få funn av *M. persicae* populasjoner sommeren 2014, ble andre arter inkludert.

3 Materiale og metode

3.1 Planter brukt til oppformering og tester

Paprikasorten 'Ferrari', agurksorten 'Tyria F1' og salatsorten 'Grand rapid rista' ble brukt til oppformering og som vertplanter i de biologiske testene. Plantene ble dyrket ved temperatur på 24°C, 60% RH og LD 16 timer: 8 timer lys: mørke. Følgende vertplante ble brukt for hver art; paprika for *M. persicae*, *A. solani* og *M. euphorbiae* (AKE-1_2014_MEUP, tabell 1), salat for *M. euphorbiae* (ROG-3_2014_MEUP) og agurk for *A. gossypii*. Bytte av vertplante kan gi høy mortalitet, dette skjedde for oss på en *A. gossypii* populasjonene som fordi den døde ut ikke ble tatt med i testen. I tillegg hadde vi salatplanter tilgjengelig, derfor ble ROG-3_2014_MEUP som ble samlet på salat, også oppformert og testet på salat.

3.2 Innsamling og oppformering av bladlus

Bladlusene ble samlet fra åtte ulike lokaliteter i fylkene Rogaland (ROG), Akershus (AKE), Buskerud (BUS) og Østfold (ØST). Informasjon om hvor bladluspopulasjonene ble samlet, hvilke planter de ble samlet på, innsamlingsdato og plantevernmiddelbruk de siste fem årene er vist i tabell 1. Forsøket inkluderer bladluspopulasjon ROG-1_2000 (MPER) som ble brukt som referansestamme for *M. persicae* populasjonene samlet i 2014. Fordi studien i utgangspunktet skulle omhandle *M. persicae*, hadde vi ikke tilgang på referansestamme for populasjonene av *A. gossypii*, *A. solani* og *M. euphorbiae*. ROG-1_2000 (MPER) ble samlet inn i 2000, og den har siden levd i kulturrom hos Bioforsk plantehelse på paprika, uten å være eksponert for plantevernmidler. Da ROG-1_2000 (MPER) ble testet av Nordhus (2005) i perioden 2001-2003, var populasjonen mottakelig for pyretroider (modifisert *kdr*), hadde svak økt toleranse for imidakloprid (signifikant økning i LC₅₀ – resistensfaktor, RF = 9), var resistent for fosformidler (forhøyede nivåer av esteraser E4/FE4 - nivåer R_{1/2}) og pirimikarb (modifisert acetylkolinesterase).

Ved innsamling ble plantedeler med bladlus lagt i poser, som videre ble pakket i esker og sendt til oss samme dag. Det er brukt biologisk kontroll i flere av plantekulturene bladlusene er samlet fra. For å hindre nytteorganismer i å komme inn i kulturrommene med bladluspopulasjonene, ble bladlusene overført til petriskåler med blader av de vertplantene de skulle oppformeres og testes på hos oss (avsnitt 3.1). Petriskålene ble satt i bokser dekket med insektsduk, og plassert på eget rom. Nyttedyr og bladlus som viste tegn på sykdom eller parasittering, ble fjernet. Tilsynelatende

friske nymfer ble overført og avlet på blader i nye petriskåler til neste generasjon med nymfer, som videre ble overført til petriskåler med friskt plantemateriale. Det gikk minst fire generasjoner før bladlusene ble overført til vertplante (samme som i petriskål) i pleksiglassbur. Bladlus med resistens kan ha lavere fitness når plantevernmiddelet ikke er tilstede fordi resistensmekanismen har en kostnad (Gassmann et al. 2009). Av den grunn gikk bladlusene maksimalt seks generasjoner på blad i petriskål før de ble overført til plante i pleksiglassbur.

Tabell 1 Innsamlingsdata og hovedtrekk fra plantevernmiddelehistorie for bladlusene testet for lambda-cyhalotrin, tiaklopid og flonikamid ved bruk av IRAC metode nr. 019.

Populasjon	Innsamlings- sted	Innsamlings- plante	Innsamlings- dato	Informasjon om plantevernmidde- de siste 5 årene	Plantevern- middel brukt før testing
Ferskenbladlus, <i>Myzus persicae</i> (MPER)					
ROG-1_2000 (MPER)	Jæren, Rogaland	Kinakål Friland	Sommer 2000	Ingen	Nei
ROG-4_2014 (MPER-Viola)	Bryne, Rogaland	Viola (høstes som spiselig blomst) Veksthus	08.08.2014	Ingen, kun biologisk-kontroll	Nei
ROG-4_2014 (MPER-Dill)	Bryne, Rogaland	Dill Veksthus	08.08.2014	Ingen, kun biologisk-kontroll	Nei
ROG-5_2014 (MPER)	Randaberg, Rogaland	Kruspersille Friland	20.11.2014	Pirimor Fastac Confidor	Fastac 30.10.2014 Movento 30.10.2014 og 04.11.2014
Potetbladlus, <i>Macrosiphum euphorbiae</i> (MEUP)					
AKE-1_2014 (MEUP)	Ås, Akershus	Jordbær Veksthus	08.07.2014	Confidor	Confidor 11.06.2014
ROG-3_2014 (MEUP)	Randaberg, Rogaland	Salat Friland	29.09.2014	Pirimor Fastac Calypso	Fastac 06.08.2014 Movento 06.08.2014
Agurkbladlus, <i>Aphis gossypii</i> (AGOS)					
BUS-1_2014 (AGOS)	Lier, Buskerud	Agurk Veksthus	06.08.2014	Ingen, kun biologisk-kontroll	Nei
ØST-1_2014 (AGOS)	Råde, Østfold	Agurk Veksthus	12.08.2014	Ingen, kun biologisk-kontroll	Nei
ROG-2_2014 (AGOS)	Time, Rogaland	Agurk Veksthus	25.09.2014	Confidor	Confidor 03.07.14
Grønnflekke veksthusbladlus, <i>Aulacorthum solani</i> (ASOL)					
AKE-2_2014 (ASOL)	Nannestad, Akershus	Fuchsia Friland (privat hage)	04.09.2014	Ukjent	Nei
ROG-4_2014 (ASOL)	Bryne, Rogaland	Viola (høstes som spiselig blomst) Veksthus	08.08.2014	Ingen, kun biologisk-kontroll	Nei

3.3 Biologisk test

IRAC Method no. 019 versjon 3.2 (IRAC 2012) ble brukt til å teste følsomheten hos *M. persicae*, *M. euphorbiae*, *A. gossypii* og *A. solanii* mot insektmidlene vist i tabell 2. Følsomhet for insektmidlene ble testet hos voksne bladlus uten vinger. Metoden er basert på en lignende metode utviklet for *M. persicae* og *A. gossypii* av Rothamsted Research. Testmetoden er godkjent og videreutviklet av Insecticide Resistance Action Committee (IRAC). Forsøket ble utført på laboratorium til Bioforsk Plantehelse, Ås.

Tabell 2 Plantevernmidler brukt i biologisk test.

Virksomt stoff	Kjemisk gruppe	Handelsnavn og tilvirker	Anbefalt dose
Lambda-cyhalotrin	3A: Pyretroider	Karate [®] 5 CS, kapselsuspensjon med 50g virksomt stoff per liter. Syngenta Crop Protection AG, Sveits.	10 – 15 ml preparat per 100 l 5 – 7,5 ppm virksomt stoff per 100 l (Norsk etikett 2014)
Tiakloprid	4A: Neonikotinoider	Biscaya [®] OD 240, oljebasert dispersjon med 240g virksomt stoff per liter. Bayer CropScience AG, Tyskland.	24 – 40 ml preparat per 100 l 57,6 - 96 ppm virksomt stoff per 100 l (Norsk etikett 2014)
Flonikamid	9C: Flonikamid	Tepeki [®] , vannløselig granulat med 500g virksomt stoff per kilo. ISK Biosciences Europe S.A., Belgia.	I kjernefrukt: 7 g preparat per 100 l 35 ppm virksomt stoff per 100 l I potet: 16 g preparat per dekar (Norsk etikett 2014)

3.3.1 Innledende studie

For å finne doser det var hensiktsmessig å teste for dose-respons, ble det utført innledende studier på ROG-1_2000 (MPER). De innledende testene ble utført med samme forsøksoppsett som testene for øvrig, men med lukkede lokk hvor luftehull ble laget med en tegnestift. Mortalitet ble registrert etter 72 timer, ved konsentrasjonene 0,00075, 0,0075, 0,075, 0,75 og 7,5 ppm virksomt stoff for lambda-cyhalotrin, og ved konsentrasjonene 0,0096, 0,096, 0,96, 9,6 og 96 ppm virksomt stoff for tiakloprid. Innledende test av ROG-1_2000 (MPER) mot flonikamid hadde kontrollmortalitet på over 50 % etter 120 timer. Lökkene med luftehull fra tegnestift ble deretter erstattet med lokk med et luftehull på 5 cm dekket med insektsduk.

3.3.2 Tidspunkt for gjennomføring av biologisk test

Testene ble gjennomført mellom september 2014 og april 2015 (tabell 3). I bladluspopulasjoner som ikke er utsatt for det virksomme stoffet, vil det kunne selekteres for individer som ikke er resistente (Kliot og Ghanim 2012). Derfor ble testene utført så raskt vi hadde nok vingeløse voksne bladlus. Fordi flonikamid først ble brukt i 2005 (Sparks og Nauen 2014) og først godkjent i Norge i 2014, og det ikke var mistanke om resistens, ble tester av dette middelet utført sist. Pyretroider og neonicotider har vært lenge i bruk (Sparks og Nauen 2014), og det er dokumentert resistens og nedsatt følsomhet mot virkestoffene (Nordhus 2005; Koo et al. 2014; Silva et al. 2012; Bass et al. 2011). I Norge ble midler av pyretroider introdusert på markedet i 1980 og midler av neonicotinoider i 1997 (Johansen 2015b s. 2). Vi har valgt å utføre tester av lambda-cyhalotrin og tiakloprid før flonikamid fordi midler fra de to førstnevnte kjemiske gruppene har vært lenger i bruk enn midler fra den sistnevnte. Det har i tidligere forsøk med bomullsmellus (*Bemisia tabaci*) vært en tendens til at resistens mot plantevernmidler i den kjemiske gruppa pyretroider, kan holde seg høy i årevis, mens resistens mot neonicotinoidet imidakloprid ser ut til å være mindre stabilt (Johansen 2015a). Derfor ble bladlusene testet for tiakloprid før lambda-cyhalotrin.

Tabell 3 Dato biologisk testing av bladluspopulasjonene for resistens mot lambda-cyhalotrin, tiakloprid og flonikamid er gjennomført.

Populasjon	Tiakloprid	Lambda-cyhalotrin	Flonikamid
Ferskenbladlus, <i>Myzus persicae</i> (MPER)			
ROG-1_2000 (MPER)	28.01.2015	04.03.2015	09.04.2015
ROG-4_2014 (MPER-Viola)	07.01.2015	12.02.2015	03.03.2015
ROG-4_2014 (MPER-Dill)	04.12.2014	19.12.2014	13.01.2015
ROG-5_2014 (MPER)	15.01.2015	25.02.2015	10.03.2015
Potetbladlus, <i>Macrosiphum euphorbiae</i> (MEUP)			
AKE-1_2014 (MEUP)	26.09.2014	15.09.2014	03.11.2014
ROG-3_2014 (MEUP)	27.11.2014	05.01.2015	26.03.2015
Agurkbladlus, <i>Aphis gossypii</i> (AGOS)			
BUS-1_2014 (AGOS)	10.10.2014	30.10.2014	20.01.2015
ØST-1_2014 (AGOS)	19.10.2014	12.11.2014	27.01.2015
ROG-2_2014 (AGOS)	10.11.2014	05.01.2015	11.02.2015
Grønnflekket veksthusbladlus, <i>Aulacorthum solani</i> (ASOL)			
AKE-2_2014 (ASOL)	20.11.2014	30.01.2015	24.02.2015
ROG-4_2014 (ASOL)	18.12.2014	26.01.2015	17.02.2015

3.3.3 Forsøksoppsett

Under tillaging av doser ble destillert vann brukt som fortynningsmiddel. Sterkeste dose i fortynningsrekke av tiakloprid er 96 ppm virksomt stoff, sterkeste dose av lambda-cyhalotrin var 7,5 ppm virksomt stoff, og den sterkeste dosen av flonikamid er 35 ppm virksomt stoff. Dosene ble ordnet som geometriske fortynningsrekker, med kvotient fem for lambda-cyhalotrin og tiakloprid, og kvotient ti for flonikamid. Valg av doser for lambda-cyhalotrin og tiakloprid ble basert på den innledende studien, og for flonikamid ble dosene valgt med utgangspunkt i studien til Cho et al. (2011). Destillert vann ble brukt som kontroll.

Tiakloprid ble fortynnet til laveste dose 0,15 ppm, som ga seks konsentrasjoner av det virksomme stoffet, syv ledd med kontrollen. Flonikamid ble fortynnet til laveste dose 0,547 ppm, som ga syv konsentrasjoner av det virksomme stoffet, åtte ledd med kontrollen. Under test av bladluspopulasjonen AKE-1_2014(MEUP) ble 0,012 ppm lambda-cyhalotrin brukt som laveste dose (fem konsentrasjoner av det virksomme stoffet, seks ledd inkludert kontrollen). Etter å ha sett resultatene av AKE-1_2014(MEUP) testet mot lambda-cyhalotrin fant vi det interessant å teste bladluspopulasjonene for en enda lavere dose (0,0024 ppm virksomt stoff).

Et metallrør ble brukt til å kutte bladsirkler av vertplantene. Sirklene hadde en diameter på 6 cm. Det ble dyppet tre bladsirkler i hver konsentrasjon (tre gjentak). Først ble bladsirklene i kontrollen dyppet, deretter ble bladsirklene dyppet i stigende dosering fra den svakeste til den sterkeste dosen. Bladsirklene ble lagt med undersiden av bladet ned i løsningen, og det ble rørt forsiktig rundt i 10 sekunder. Bladsirklene lå på tørkepapir med bladundersiden opp i avtrekksbenken til alle bladsirklene var dyppet. Så ble bladsirklene overført til bokser (oppbevaringsboks PP med snapplokk 100 ml, 4 cm høy, 6,5 cm bred, Nolato Cerbo AB) med 1,5 % w/w vannagar. Grunnen til at bladsirklene fikk tørke på vannagar, er erfaring med at agurkbladene tørket inn i avtrekksbenken og forble tørre etter at de var overført til vannagar. Bladsirklene ble festet til vannagaren med en dråpe destillert vann, slik at bladoversiden vendte ned mot vannagaren.

Tjue voksne vingeløse bladlus ble overført forsiktig med pensel til hver bladsirkel. Deretter ble boksene dekket til med lokk med et luftehull på 5 cm dekket med insektsduk (limt på med Casco kontaktlim). Boksene ble samlet på et brett og satt i et rom med temperatur på 22°C, 60% RH og 16 timer:8 timer lys: mørke.

3.3.4 Registreringer

Mortaliteten er vurdert etter 72 timer ved test av tiakloprid og lambda-cyhalotrin. Mortalitet ved test av flonikamid ble registrert etter 96 timer for artene *M. euphorbiae* og *A. gossypii* og etter 120 timer for artene *M. persicae* og *A. solani*. Valg av tid før mortaliteten ble vurdert, er basert på IRACs retningslinjer for de aktuelle plantevernmidlene, men vi fikk problemer med at agurk og salat visnet etter 120 timer og kontrollmortalitet var > 25%. Vi valgte å redusere tiden ved test av flonikamid med et døgn for artene *A. solani* og *M. euphorbiae*. Bladlusene ble lirket vekk fra test bladsirkel med nål og snudd på ryggen i en petriskål. Bladlusene som ikke snudde seg etter 10 sekunder, ble regnet inn under kategorien døde, og bladlusene som snudde seg, ble regnet som levende. Kategorien døde er en sammensatt gruppe av døde bladlus og bladlus som er sterkt påvirket. Det er ikke forventet at bladlusene som er sterkt påvirket, vil komme seg igjen (Wennergrem og Stark, 2000).

3.3.5 Data analyse

Analyser av data ble gjort i MINITAB for Windows, versjon 17 (Minitab Inc 2014). Observert mortalitet ved anbefalt dose ble analysert med ANOVA og Fishers pair wise comparisons ($p < 0,05$). Probitanalyse ble brukt til å finne dosen som gir 50 % mortalitet (LC_{50}) og 95 % mortalitet (LC_{95}) i populasjonen. LC_{50} , LC_{95} og stigningskoeffisient ble beregnet over den lineære delen av dose-responskurven. Data ble korrigert for dødelighet i kontrollen ved bruk av Natural Respons Rate i probitanalyse (2014 Minitab Inc). LC_{50} verdier for bladluspopulasjonene innen hver art ble vurdert som signifikant forskjellige dersom deres 95% fiducial limits (FL) ikke overlapper. Fordi ROG-1_2000 (MPER) har levd upåvirket av plantevernmidler hos Bioforsk Plantehelse siden 2000, har vi valgt å bruke denne populasjonen som referansepopulasjon for *M. persicae*. For *M. euphorbiae*, *A. gossypii* og *A. solani* hadde vi ikke tilgang på referansepopulasjoner. Resistensfaktor (RF) ble regnet ut for populasjoner av *M. persicae* ved å dividere deres LC_{50} på LC_{50} for referansepopulasjonen.

4 Resultater

4.1 Mortalitet i biologisk test

Bladluspopulasjonene hadde en kontrollmortalitet under 15 % når de ble testet for lambda-cyhalotrin og tiaklopid. Unntak var ROG-3_2014 (AGOS) som hadde 17 % kontrollmortalitet ved test av lambda-cyhalotrin og ØST-1_2014 (AGOS) som hadde 20 % kontrollmortalitet ved test av tiaklopid. Bladluspopulasjonene hadde kontrollmortalitet mellom 12 og 18 % ved test av flonikamid.

4.1.1 Lambda-cyhalotrin

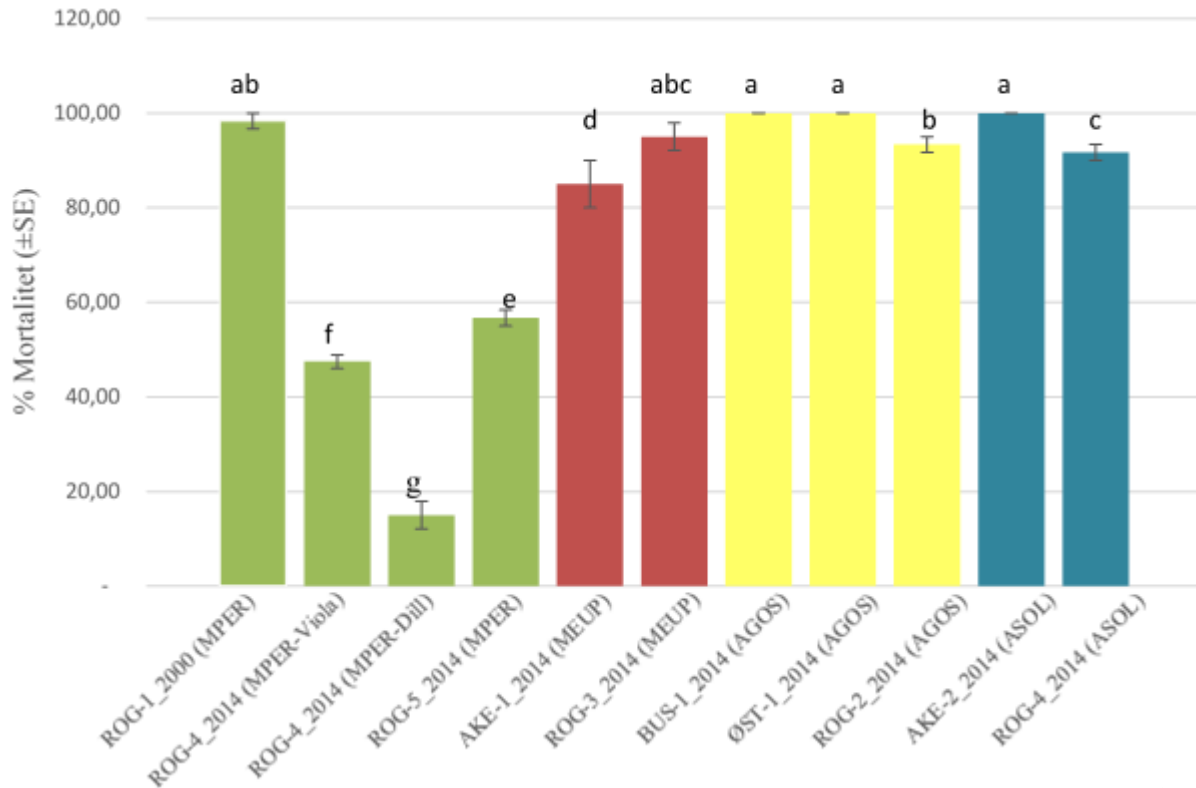
Populasjonene av *M. persicae* innsamlet i 2014 hadde signifikant lavere mortalitet ved anbefalt dose enn referansestammen ROG-1_2000 (MPER) (figur 3). Testpopulasjonene ROG-4_2014 (MPER-Viola) og ROG-5_2014 (MPER) hadde en svakere stigning i mortalitet som respons på dose enn referansestammen (figur 4). Lav mortalitet ga et dårlig grunnlag for probitanalyse, dette førte til stor usikkerhet til beregnet LC_{50} og LC_{95} (tabell 4). Estimerte verdier fra probitanalysen viser at disse populasjonene er estimert å nå 50 % mortalitet ved 12,9 og 9,7 ppm virksomt stoff, som er høyere enn anbefalt dose. ROG-4_2014 (MPER-Dill) hadde ingen signifikant sammenheng mellom dose og respons. Resistensfaktor for ROG-4_2014 (MPER-Viola) var 39,1, og resistensfaktor for ROG-5_2014 (MPER) var 29,4. Resultatene fra test av ROG-4_2014 (MPER-Dill) ga ikke grunnlag for å regne ut resistensfaktor. Signifikant forskjell i mortalitet ved anbefalt dose og i LC_{50} i forhold til referansestammen, gir grunnlag for å si at denne testen viser at *M. persicae* populasjonene vi samlet i 2014, var resistente mot lambda-cyhalotrin.

Populasjonene av *M. euphorbiae* hadde ikke 100% mortalitet ved anbefalt dose, men ROG-3_2014 (MEUP) er ikke signifikant forskjellig fra populasjonene med 100 % mortalitet (figur 3). *Macrosiphum euphorbiae* populasjonene har signifikant sammenheng mellom dose og respons og kurveforløpet er relativt likt (figur 5). AKE-1_2014 (MEUP) og ROG-3_2014 (MEUP) når 50 % mortalitet ved henholdsvis 0,9 ppm og 0,5 ppm virksomt stoff, med overlappende konfidensintervall (tabell 4). LC_{95} for *M. euphorbiae* viser stor usikkerhet og kan være overestimert fordi punktet ligger ved en høyere dose enn de dosene som er brukt til å beregne regresjonslinja. Konfidensintervallet for LC_{50} for de to *M. euphorbiae* populasjonene overlapper, og vi har ingen referansestamme, så selv om det er signifikant forskjell i mortalitet ved anbefalt

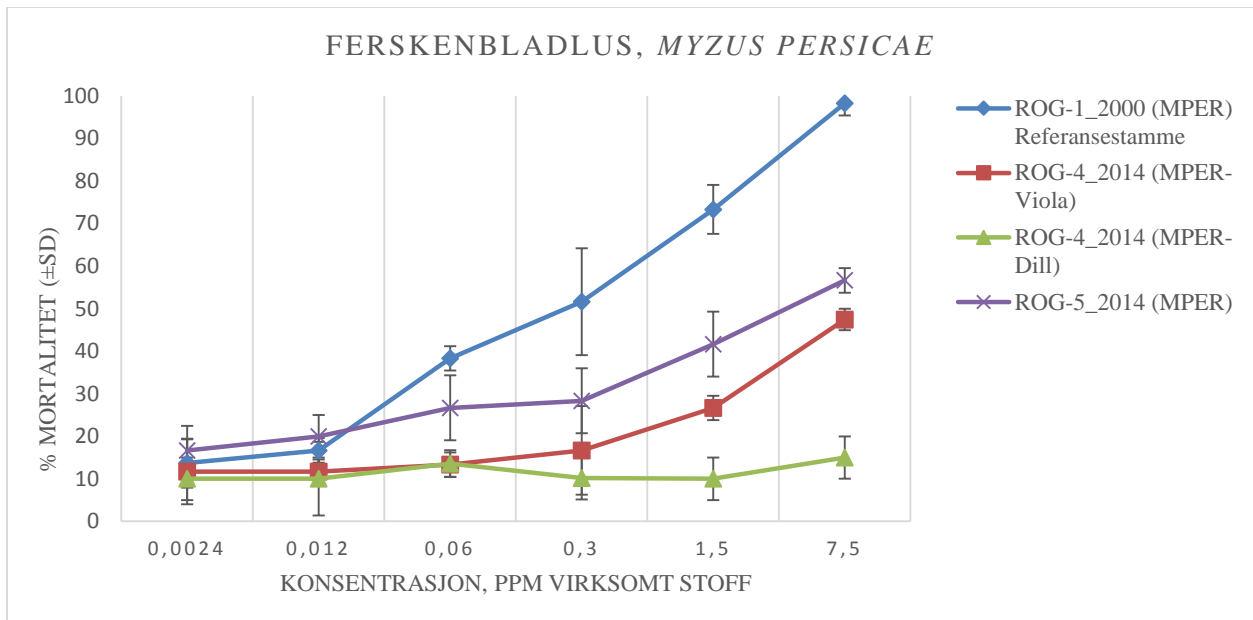
dose, gir ikke dette grunnlag for å si at det er resistens mot lambda-cyhalotrin hos noen av *M. euphorbiae* populasjonene.

BUS-1_2014 (AGOS) og ØST-1_2014 (AGOS) hadde 100 % mortalitet ved anbefalt dose (figur 3), og deres kurveforløp ligner (figur 6) med overlappende stigningskoeffisient (tabell 4). ROG-2_2014 (AGOS) hadde 93 % mortalitet ved anbefalt dose som er signifikant lavere enn de to andre *A. gossypii* populasjonene. *Aphis gossypii* samlet i Rogaland hadde en annen respons på dose enn populasjonene fra Østlandet (figur 6). Estimerte verdier fra probitanalysen viser at populasjonene fra Østlandet når 50 % mortalitet ved 0,029 og 0,055 ppm virksomt stoff, som var lavere enn estimerte LC₅₀ for populasjonen fra Rogaland (tabell 4). Estimert dose som gir 95 % mortalitet hos BUS-1_2014 (AGOS) var 0,47 ppm virksomt stoff og hos ØST-1_2014 (AGOS) var det 0,6 ppm. For ROG-2_2014 (AGOS) ble det estimert at 18,2 ppm virksomt stoff gir 95 % mortalitet. LC₉₅ ligger høyere enn dosene som er brukt til å lage regresjonslinjen, derfor kan tallet være overestimert. Signifikant lavere mortalitet ved anbefalt dose og forskjell i dose-respons tyder på at ROG-2_2014 (AGOS) kan være mindre følsom for lambda-cyhalotrin enn de to andre *A. gossypii* populasjonene.

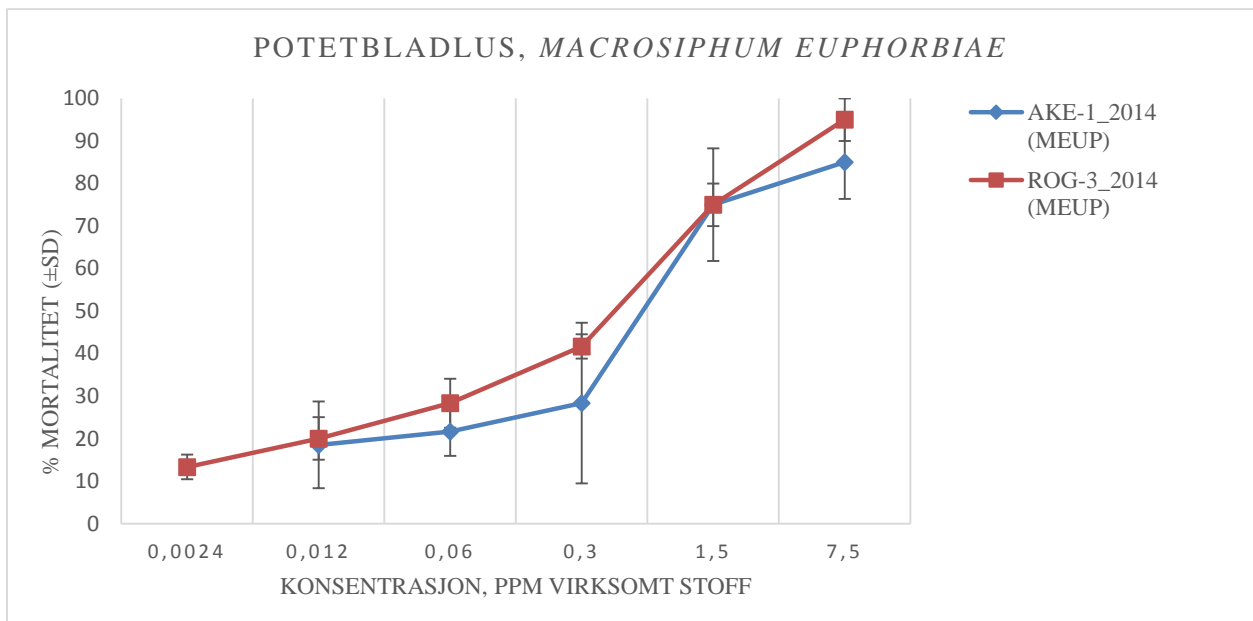
AKE-2_2014 (ASOL) når 98 % mortalitet ved 0,006 ppm virksomt stoff og har 100 % mortalitet ved anbefalt dose. ROG-4_2014 (ASOL) har signifikant lavere mortalitet enn AKE-2_2014 (ASOL) ved anbefalt dose (figur 3). *Aulacorthum solani* populasjonen har et likt kurveforløp fram til 0,006 ppm virksomt stoff, etter det har kurven til AKE-2_2014 (ASOL) en brattere stigning enn ROG-4_2014 (ASOL). Estimert dose som gir 50 % mortalitet hos AKE-2_2014 (ASOL) er 0,074 ppm virksomt stoff (tabell 4). Dette er lavere enn LC₅₀ for ROG-4_2014 (ASOL) som er 0,25 ppm virksomt stoff. LC₅₀ for de to *A. solani* populasjonene har ikke overlappende konfidensintervall. AKE-2_2014 (ASOL) når 95 % mortalitet ved 0,24 ppm som er signifikant lavere enn for ROG-4_2014, hvor estimert LC₉₅ er 17,2 ppm. Signifikant lavere mortalitet ved anbefalt dose og forskjell i dose-respons tyder på at *A. solani* populasjonen samlet i Rogaland kan være mindre følsom for lambda-cyhalotrin enn populasjonen samlet i Akershus.



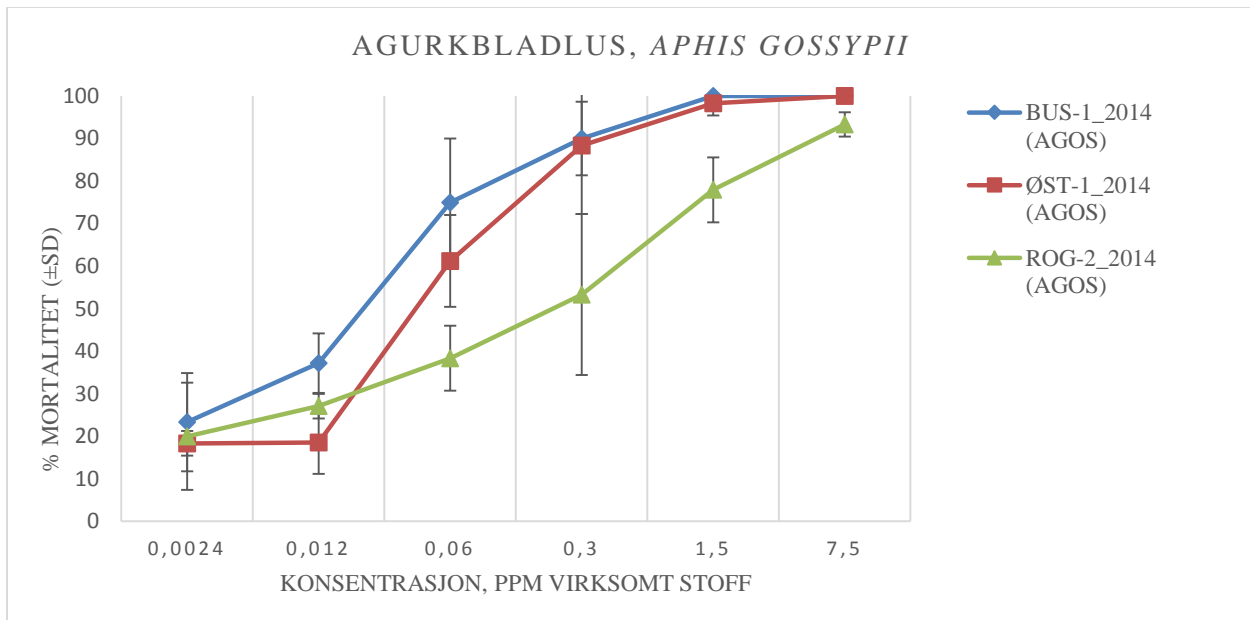
Figur 3 Gjennomsnittlig mortalitet (\pm SE) ved anbefalt dose av lambda-cyhalotrin (7,5 ppm virksomt stoff) registrert etter 72 timer. Test metode: IRAC Method no. 019 versjon 3.2 (2012), test av voksne vingeløse bladlus. Ulike bokstaver over søylene betyr at gjennomsnittlig mortalitet er signifikant forskjellig (ANOVA og Fishers pairwise comparison, $p < 0.05$).



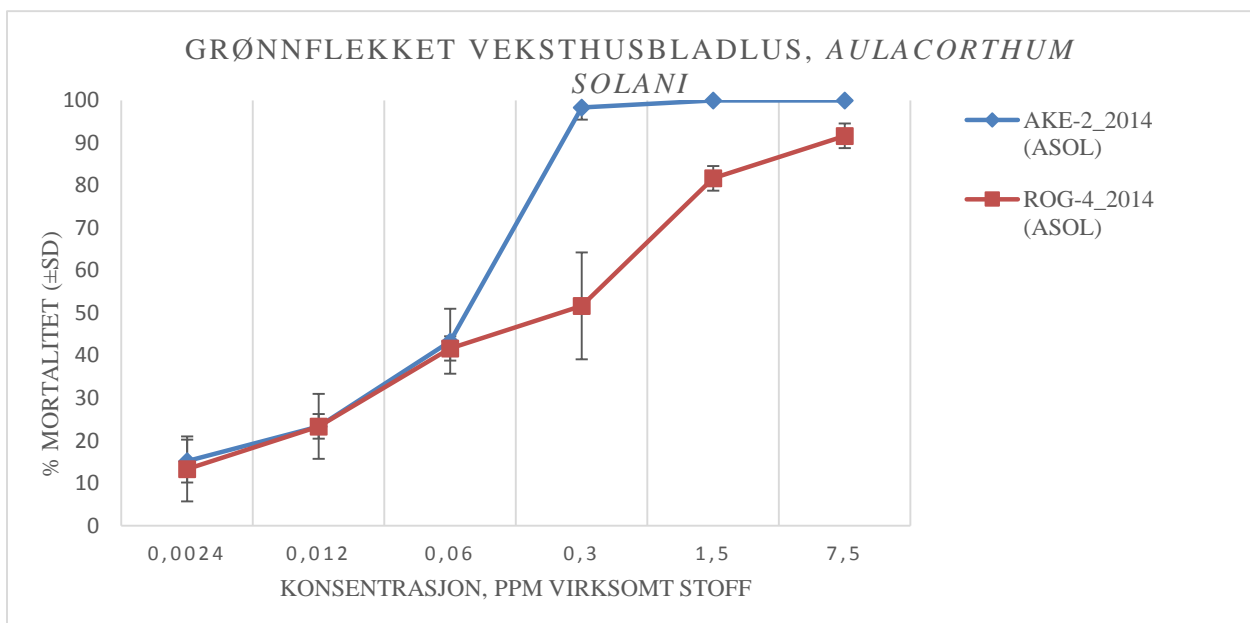
Figur 4 Dose- responskurve for ferskenbladlus, *Myzus persicae*, mortalitet ble registrert etter 72 timer. Diagrammet viser prosent døde voksne vingeløse bladlus for hver konsentrasjon av lambda-cyhalotrin. Tallene er ikke korrigert med naturlig mortalitet. Feilfelt indikerer \pm standardavvik.



Figur 5 Dose-responskurve for potetbladlus, *Macrosiphum euphorbiae*, mortalitet ble registrert etter 72 timer. Diagrammet viser prosent døde voksne vingeløse bladlus for hver konsentrasjon av lambda-cyhalotrin. Tallene er ikke korrigert med naturlig mortalitet. Feilfelt indikerer \pm standardavvik.



Figur 6 Dose-responskurve for agurkbladlus, *Aphis gossypii*, mortalitet ble registrert etter 72 timer. Diagrammet viser prosent døde voksne vingeløse bladlus for hver konsentrasjon av lambda-cyhalotrin. Tallene er ikke korrigert med naturlig mortalitet. Feilfelt indikerer \pm standardavvik.



Figur 7 Dose-responskurve for grønnflekket veksthusbladlus, *Aulacorthum solani*, mortalitet ble registrert etter 72 timer. Diagrammet viser prosent døde voksne vingeløse bladlus for hver konsentrasjon av lambda-cyhalotrin. Tallene er ikke korrigert med naturlig mortalitet. Feilfelt indikerer \pm standardavvik.

Tabell 4 Data for dose-respons for populasjonene behandlet med lambda-cyhalotrin i biologisk test, metode: IRAC Method no. 019 versjon 3.2 (2012). Mortalitet ble avlest etter 72 timer. Populasjoner hvor LC₅₀ og LC₉₅ er markert med – har ikke data som gir grunnlag for statistisk analyse. Der stigningskoeffisienten er markert med – er det ingen signifikant ($p > 0,05$) endring i mortalitet med økt dose. LC₅₀ verdier for bladluspopulasjonene innen hver art ble vurdert som signifikant forskjellige dersom deres 95 % fiducial limits (FL) ikke overlapper. LC₅₀ verdier fulgt av ulik bokstav regnes som signifikant forskjellige. Probitanalyse (Minitab Inc 2014).

Populasjon	Antall bladlus testet	LC ₅₀ ppm virksomt stoff	95% CI (LC ₅₀)	LC ₉₅ ppm virksomt stoff	95% CI (LC ₉₅)	Stigningskoeffisient ± SE
Ferskenbladlus, <i>Myzus persicae</i> (MPER)						
ROG-1_2000 (MPER)	418	0,33 ^a	0,204-0,506	9,99	4,892-30,198	1,11 ± 0,14
ROG-4_2014 (MPER-Viola)	419	12,909 ^b	5,707-162,026	1110,453	110,219-8170550	0,85 ± 0,26
ROG-4_2014 (MPER-Dill)	416	-	-	-	-	-
ROG-5_2014 (MPER)	420	9,696 ^b	3,204-105,781	15167,011	639,484-65644750	0,51 ± 0,12
Potetbladlus, <i>Macrosiphum euphorbiae</i> (MEUP)						
AKE-1_2014 (MEUP)	359	0,856 ^a	0,522-1,325	23,709	10,534-100,471	1,14 ± 0,18
ROG-3_2014 (MEUP)	420	0,51 ^a	0,3-0,988	24,625	6,921-392,342	0,98 ± 0,19
Agurkbladlus, <i>Aphis gossypii</i> (AGOS)						
BUS-1_2014 (AGOS)	419	0,029 ^a	0,018-0,043	0,473	0,27-1,1039	1,36 ± 0,17
ØST-1_2014 (AGOS)	418	0,055 ^a	0,037-0,076	0,603	0,368-1,272	1,58 ± 0,2
ROG-2_2014 (AGOS)	418	0,313 ^b	0,176-0,517	18,202	7,466-78,502	0,93 ± 0,13
Grønnflekkt veksthusbladlus, <i>Aulacorthum solani</i> (ASOL)						
AKE-2_2014 (ASOL)	419	0,074 ^a	0,048-0,095	0,241	0,165-0,745	3,22 ± 0,87
ROG-4_2014 (ASOL)	419	0,248 ^b	0,148-0,4	17,157	7,304-62,473	0,89 ± 0,1

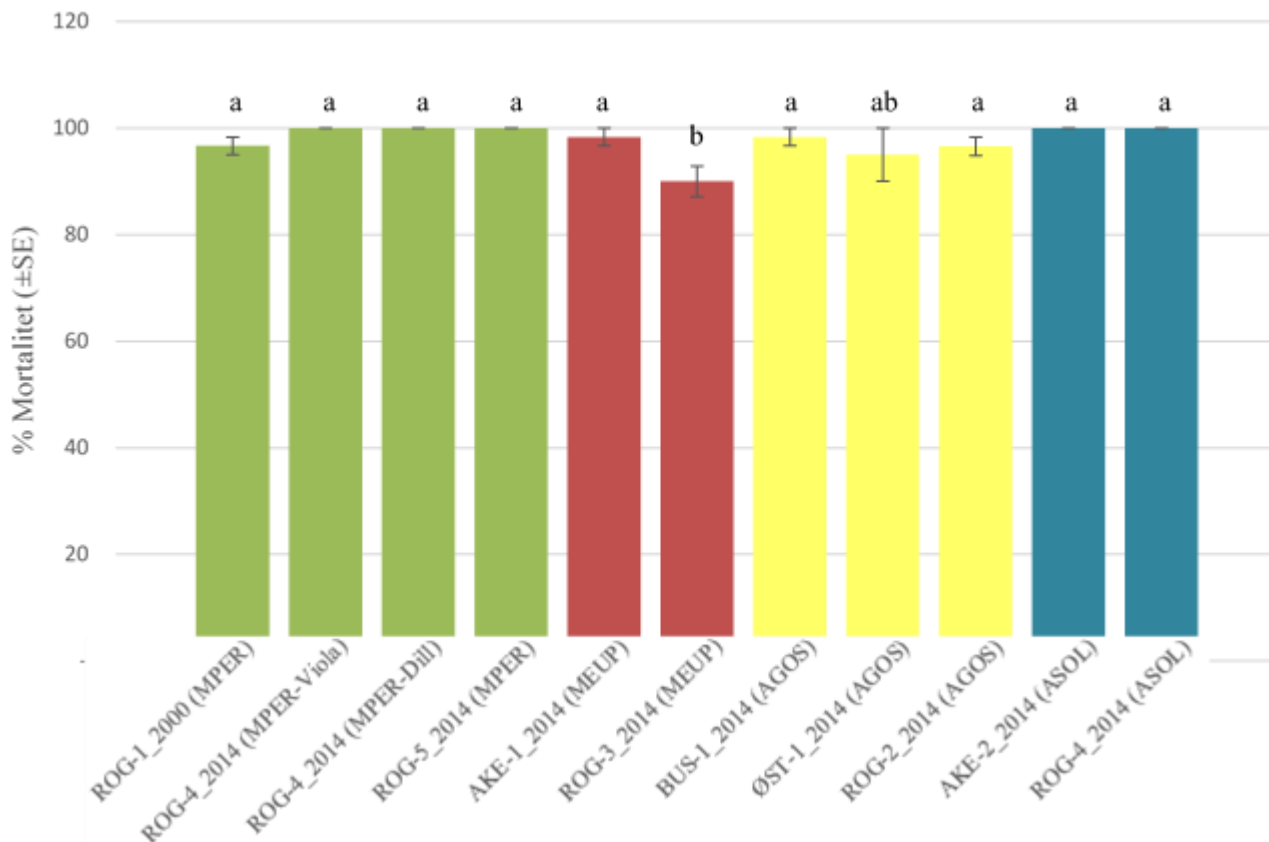
4.1.2 Tiakloprid

Populasjonen av *M. persicae* samlet i 2014 hadde 100 % mortalitet ved anbefalt dose. *Myzus persicae* populasjonen samlet i 2000 hadde en mortalitet på 97 %, men var ikke signifikant lavere enn de andre populasjonene (figur 8). Kurvene for hvordan de fire populasjonene responderer i form av mortalitet på stigende dose ligner hverandre (figur 9). Alle *M. persicae* populasjonene har en signifikant sammenheng mellom dose og respons. *Myzus persicae* populasjonen samlet i 2000 ble estimert å nå 50 % mortalitet ved 7,4 ppm virksomt stoff, som ikke er signifikant forskjellig fra ROG-4_2014 (MPER-Viola) og ROG-4_2014 (MPER-Dill) hvor LC₅₀ var 7,6 og 4,1 ppm virksomt stoff (tabell 5). ROG-5_2014 (MPER) når 50 % mortalitet ved 3,1 ppm virksomt stoff. Den estimerte dosen populasjonene når 95 % mortalitet ved, var 118,3 ppm virksomt stoff for referansestammen. Det beregnet LC₉₅ verdier på 87,5 ppm virksomt stoff for ROG-4_2014 (MPER-Dill), 76,3 ppm virksomt stoff for ROG-5_2014 (MPER) og 44,2 ppm virksomt stoff for ROG-4_2014 (MPER-Viola). De estimerte verdiene for LC₉₅ hos *M. persicae* er usikre på grunn av brede konfidensintervall, som alle overlapper. Resistensfaktor for ROG-4_2014 (MPER-Viola) var 1,03, resistensfaktor for ROG-4_2014 (MPER-Dill) var 0,55 og resistensfaktor ROG-5_2014 (MPER) var 0,42. *Myzus persicae* populasjonene hadde høy følsomhet for tiakloprid.

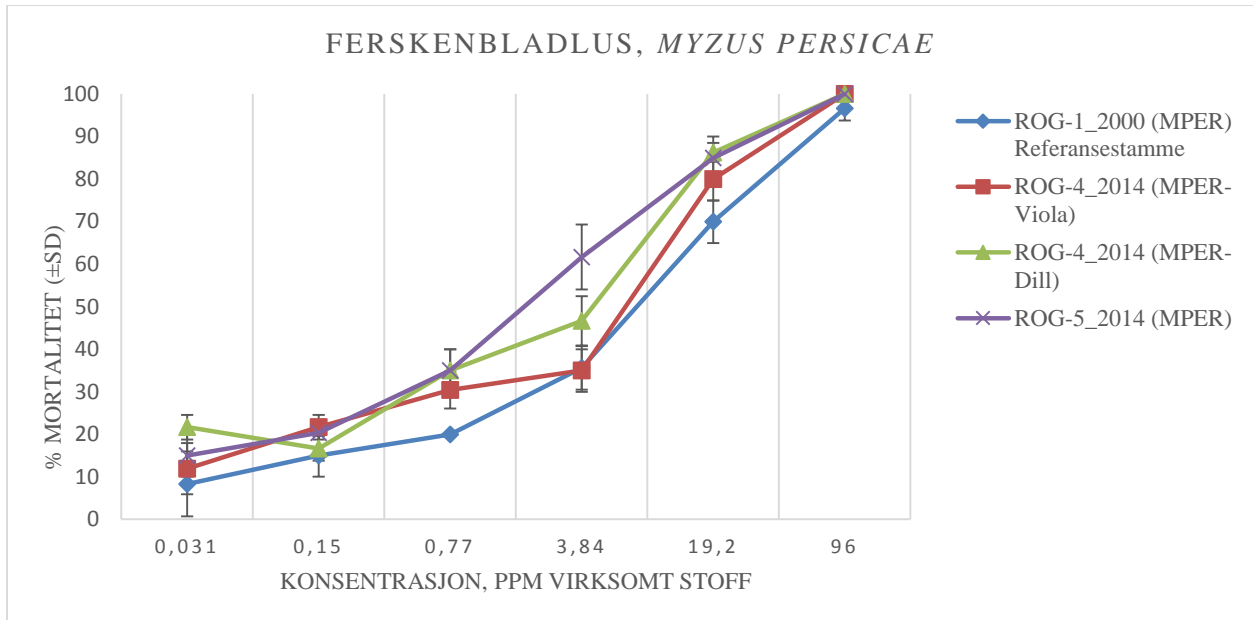
Macrosiphum euphorbiae populasjonen som var samlet i Akershus, hadde 98 % mortalitet ved anbefalt dose, men er ikke signifikant forskjellig fra de populasjonene som har 100 % mortalitet ved anbefalt dose (figur 8). *Macrosiphum euphorbiae* populasjonen som var samlet fra Rogaland, hadde signifikant lavere mortalitet ved anbefalt dose enn populasjonen fra Akershus (figur 8). Begge populasjonene har signifikant sammenheng mellom dose og respons, og deres respons på dosene ligner hverandre (figur 10). For å oppnå 50 % mortalitet hos AKE-1_2014 (MEUP) og ROG-3_2014 (MEUP) ble det estimert at det trengs henholdsvis 1,9 og 2 ppm virksomt stoff (tabell 5). De estimerte dosene for LC₉₅ hos disse populasjonene var 830,4 og 214,9 ppm virksomt stoff. Selv om populasjonen fra Rogaland har signifikant lavere mortalitet ved anbefalt dose, gjør overlappende standardavvik (figur 10) ved alle doser utenom 0,15 ppm virksomt stoff at testen ikke påviser forskjell i følsomhet for tiakloprid hos *M. euphorbiae* populasjonene.

Aphis gossypii populasjonene hadde 95, 97 og 98 % mortalitet ved anbefalt dose, som ikke er signifikant forskjellig fra populasjonene med 100 % mortalitet (figur 8). *Aphis gossypii* populasjonene hadde signifikant sammenheng mellom dose og respons (figur 11). Det ble estimert at ØST-1_2014 (AGOS) når 50 % mortalitet ved 4,2 ppm virksomt stoff, BUS-1_2014 (AGOS) når 50 % mortalitet ved 2,5 ppm virksomt stoff og ROG-2_2014 (AGOS) når 50 % mortalitet ved 1 ppm virksomt stoff (tabell 5). ROG-2_2014 (AGOS) var den eneste av populasjonene som var estimert å nå 95 % mortalitet ved lavere dose enn den som var anbefalt. BUS-1_2014 (AGOS) og ØST-1_2014 (AGOG) ble estimert å nå 95 % mortalitet ved henholdsvis 160 og 510 ppm virksomt stoff, men det er knyttet stor usikkerhet til de estimerte LC₉₅ verdiene. Testen viser at *A. gossypii* populasjonene har høy følsomhet for tiaklopid.

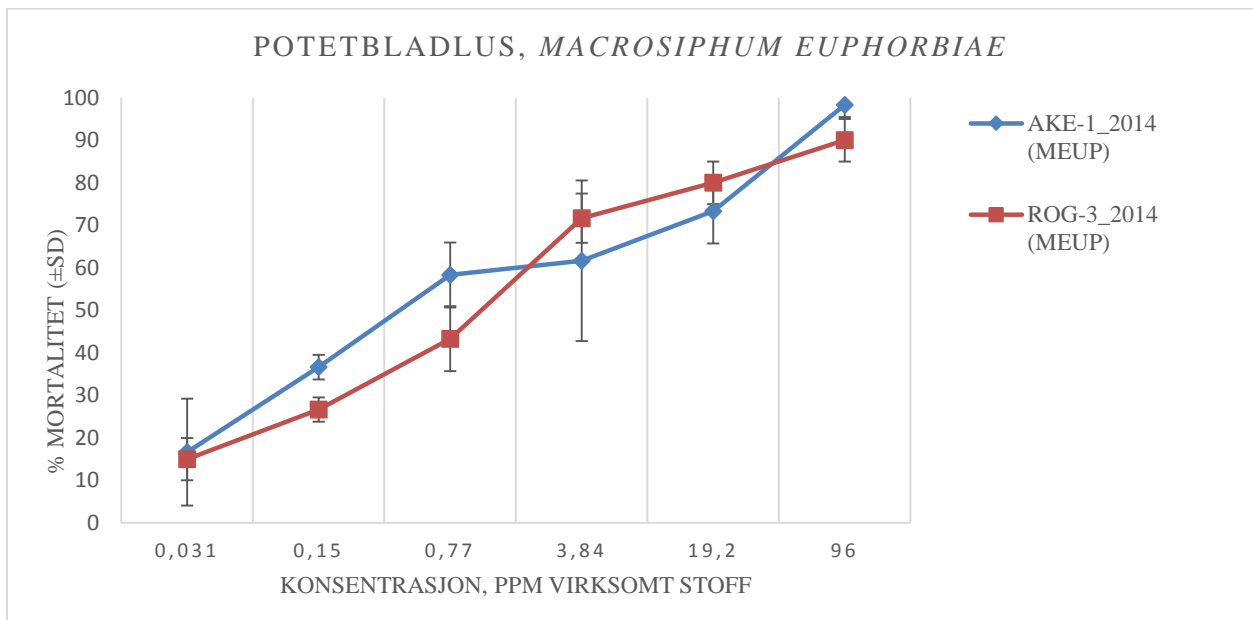
Begge *A. solani* populasjonene hadde 100 % mortalitet ved anbefalt dose. Begge *A. solani* populasjonene hadde signifikant sammenheng mellom dose og respons (figur 12), men den estimerte regresjonskurven var brattere for AKE-2_2014 (ASOL) enn ROG-4_2014 (ASOL). *Aulacorthum solani* populasjonen samlet i Akershus ble estimert å nå 50 % mortalitet ved 4,1 ppm virksomt stoff, mens populasjonen samlet i Rogaland ble estimert å nå 50 % mortalitet ved 6,4 ppm (tabell 5). Det er ingen signifikant forskjell på de to LC₅₀ verdiene. AKE-2_2014 (ASOL) ble estimert å nå 95 % mortalitet ved 36 ppm virksomt stoff. ROG-4_2014 (ASOL) ble estimert å nå 95 % mortalitet ved 697 ppm virksomt stoff, noe som var høyere enn anbefalt dose og en verdi det er knyttet stor usikkerhet til. Testen viser at *A. solani* populasjonene har høy følsomhet for tiaklopid.



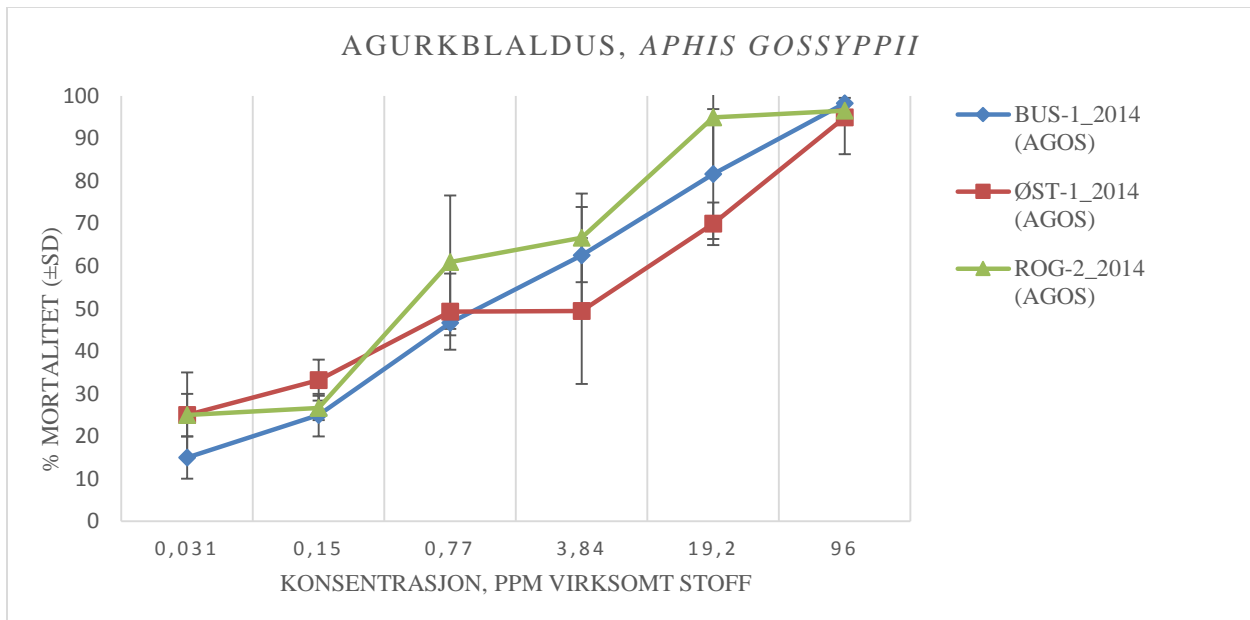
Figur 8 Gjennomsnittlig mortalitet (\pm SE) ved anbefalt dose av tiaklopid (96 ppm virksomt stoff) registrert etter 72 timer. Test metode: IRAC Method no. 019 versjon 3.2 (2012), test av voksne vingeløse bladlus. Ulike bokstaver over søylene betyr at gjennomsnittlig mortalitet er signifikant forskjellig (ANOVA og Fishers pairwise comparison, $p < 0.05$).



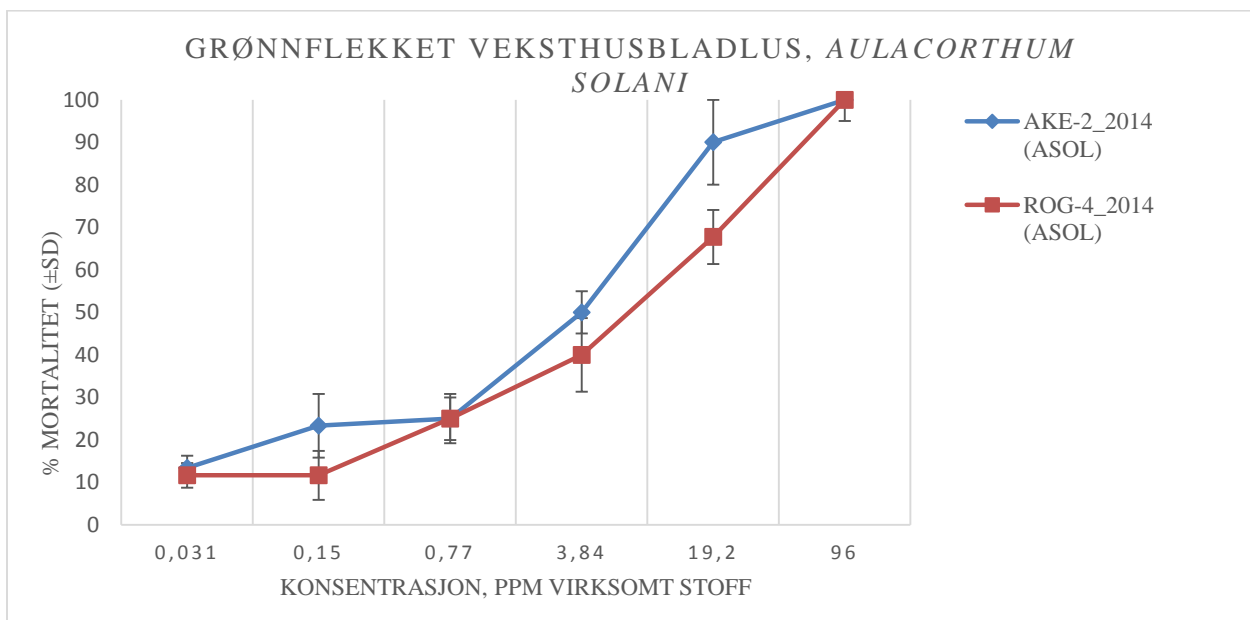
Figur 9 Dose-responskurve for ferskenbladlus, *Myzus persicae*, mortalitet ble registrert etter 72 timer. Diagrammet viser prosent døde voksne vingeløse bladlus for hver konsentrasjon av tiakloprid. Tallene er ikke korrigert med naturlig mortalitet. Feilfelt indikerer \pm standardavvik.



Figur 10 Dose-responskurve for potetbladlus, *Macrosiphum euphorbiae*, mortalitet ble registrert etter 72 timer. Diagrammet viser prosent døde voksne vingeløse bladlus for hver konsentrasjon av tiakloprid. Tallene er ikke korrigert med naturlig mortalitet. Feilfelt indikerer \pm standardavvik.



Figur 11 Dose-responskurve for agurkbladlus, *Aphis gossypii*, mortalitet ble registrert etter 72 timer. Diagrammet viser prosent døde voksne vingeløse bladlus for hver konsentrasjon av tiakloprid. Tallene er ikke korrigert med naturlig mortalitet. Feilfelt indikerer \pm standardavvik.



Figur 12 Dose-responskurve for grønnflekkt veksthusbladlus, *Aulacorthum solani*, mortalitet ble registrert etter 72 timer. Diagrammet viser prosent døde voksne vingeløse bladlus for hver konsentrasjon av tiakloprid. Tallene er ikke korrigert med naturlig mortalitet. Feilfelt indikerer \pm standardavvik.

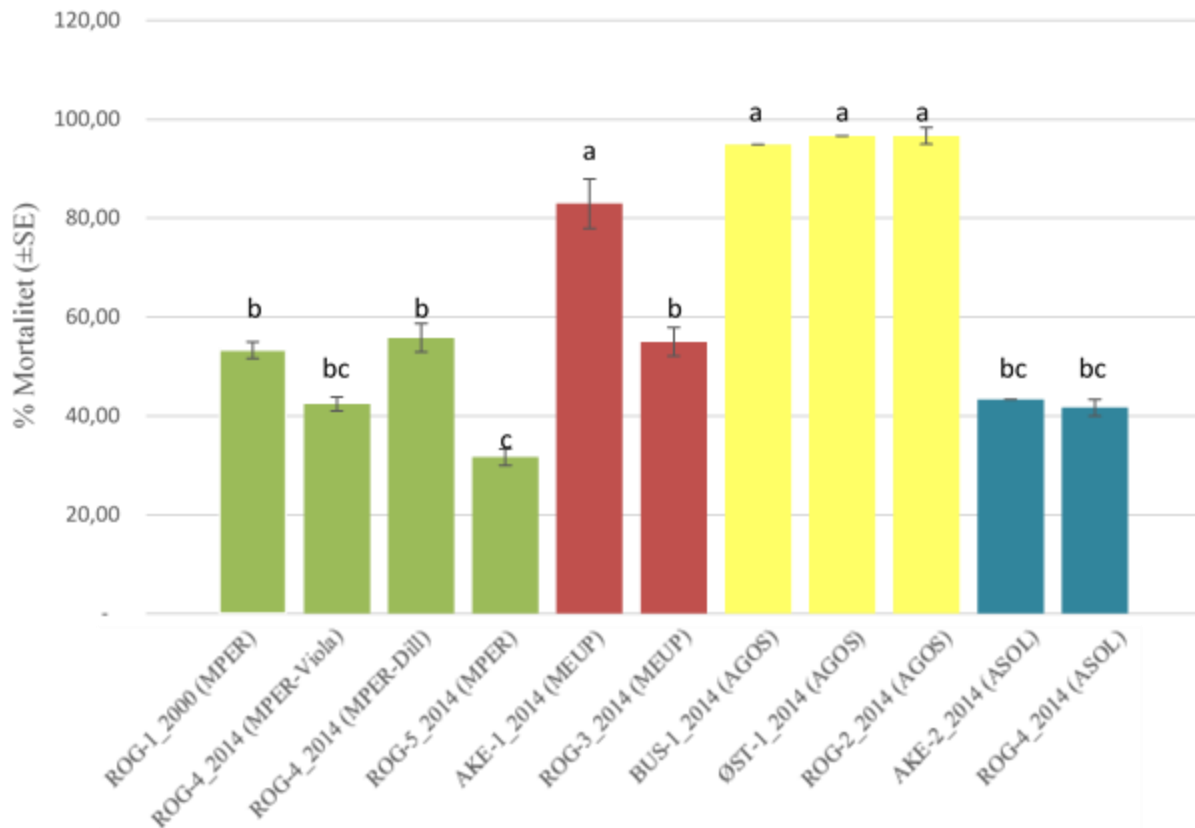
Tabell 5 Data for dose-respons for populasjonene behandlet med tiaklopid i biologisk test, metode: IRAC Method no. 019 versjon 3.2 (2012). Mortalitet ble avlest etter 72 timer. LC₅₀ verdier for bladluspopulasjonene innen hver art ble vurdert som signifikant forskjellige dersom deres 95% fiducial limits (FL) ikke overlapper. LC₅₀ verdier fulgt av ulik bokstav regnes som signifikant forskjellige. Probitanalyse (Minitab Inc 2014).

Populasjon	Antall bladlus testet	LC ₅₀ ppm virksomt stoff	95% CI (LC ₅₀)	LC ₉₅ Ppm virksomt stoff	95% CI (LC ₉₅)	Stigningskoeffisient ± SE
Ferskenbladlus, <i>Myzus persicae</i> (MPER)						
ROG-1_2000 (MPER)	418	7,405 ^a	4,935-10,641	118,354	65,029-304,049	1,37 ± 0,18
ROG-4_2014 (MPER-Viola)	418	7,645 ^a	5,367-10,22	44,217	28,966-90,236	2,16 ± 0,33
ROG-4_2014 (MPER-Dill)	418	4,079 ^{ab}	2,549-6,458	87,495	37,424-438,557	1,24 ± 0,21
ROG-5_2014 (MPER)	418	3,118 ^b	1,911-4,923	76,318	33,161-346,903	1,18 ± 0,19
Potetbladlus, <i>Macrosiphum euphorbiae</i> (MEUP)						
AKE-1_2014 (MEUP)	420	1,915 ^a	0,974-4,087	830,41	159,666-17698,7	0,62 ± 0,1
ROG-3_2014 (MEUP)	420	1,997 ^a	1,165-3,297	214,886	87,634-811,315	0,81 ± 0,09
Agurkbladlus, <i>Aphis gossypii</i> (AGOS)						
BUS-1_2014 (AGOS)	419	2,459 ^{ab}	1,444-4,251	147,359	52,132-883,968	0,93 ± 0,14
ØST-1_2014 (AGOS)	415	4,223 ^a	2,167-7,627	510,682	163,472-3781,296	0,79 ± 0,12
ROG-2_2014 (AGOS)	416	0,963 ^{ab}	0,558-1,544	56,926	26,638-175,341	0,93 ± 0,11
Grønnflekket veksthusbladlus, <i>Aulacorthum solani</i> (ASOL)						
AKE-2_2014 (ASOL)	419	4,115 ^a	2,551-5,822	36,027	21,689-89,742	1,75 ± 0,3
ROG-4_2014 (ASOL)	419	6,406 ^a	3,77-13,223	697,085	171,264-9428,904	0,81 ± 0,13

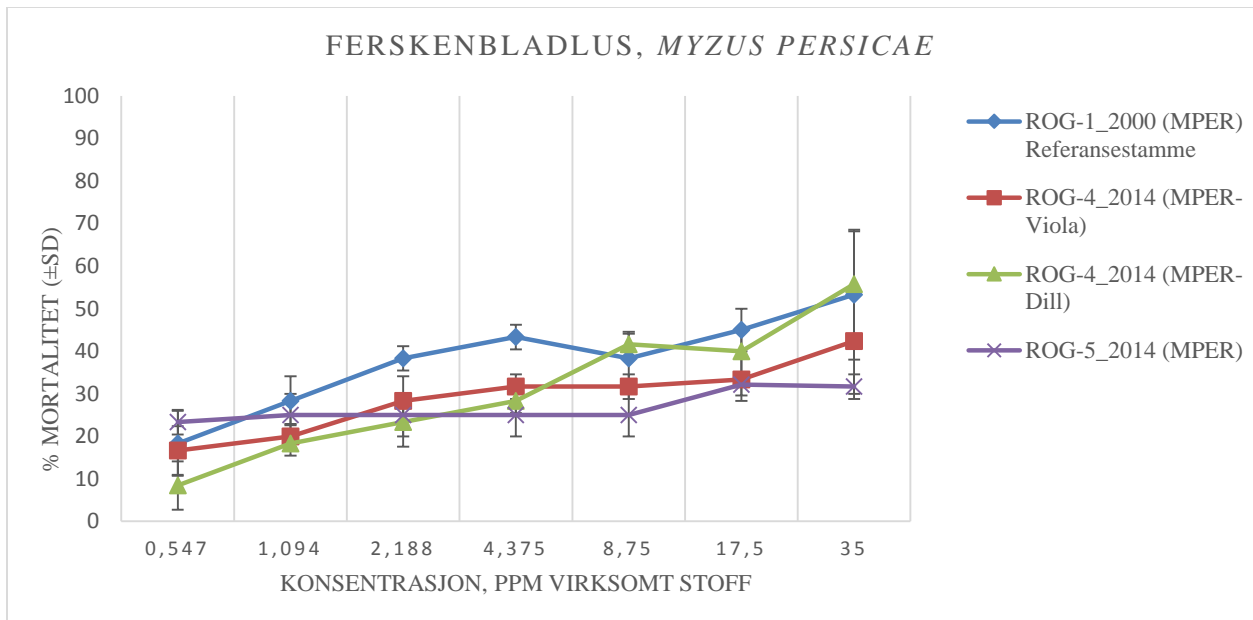
4.1.3 Flonikamid

Myzus persicae populasjonene hadde lavere mortalitet enn 60 % ved anbefalt dose (figur 13). ROG-1_2000 (MPER), ROG-4_2014 (MPER-Viola) og ROG-4_2014 (MPER-Dill) hadde signifikant sammenheng mellom dose og respons, men kurveforløpet har en svak stigning (figur 14). *Macrosiphum euphorbiae* populasjonen fra Akershus hadde 83 % mortalitet, som var signifikant høyere enn populasjonen fra Rogaland med 55 % mortalitet ved anbefalt dose (figur 13). Responskurvene til de to populasjonene fulgte hverandre fra 0,547 til 2,188 ppm virksomt stoff, deretter stiger kurven for AKE-1_2014 (MEUP) kraftigere enn ROG-3_2014 (MEUP) (figur 15). AKE-2_2014 (ASOL) hadde 43 % mortalitet ved anbefalt dose, og ROG-4_2014 (ASOL) hadde 42 % mortalitet ved anbefalt dose. Responskurvene til de to populasjonene hadde lignende respons på dosene fra 0,547 til 35 ppm virksomt stoff (figur 17). Testen gir ikke grunnlag for å si at *M. persicae*, *M. euphorbiae* eller *A. solani* populasjonene er resistente mot flonikamid, men resultatene gir grunnlag for diskusjon om hvorvidt metoden og dosene var riktige for test av resistens mot flonikamid

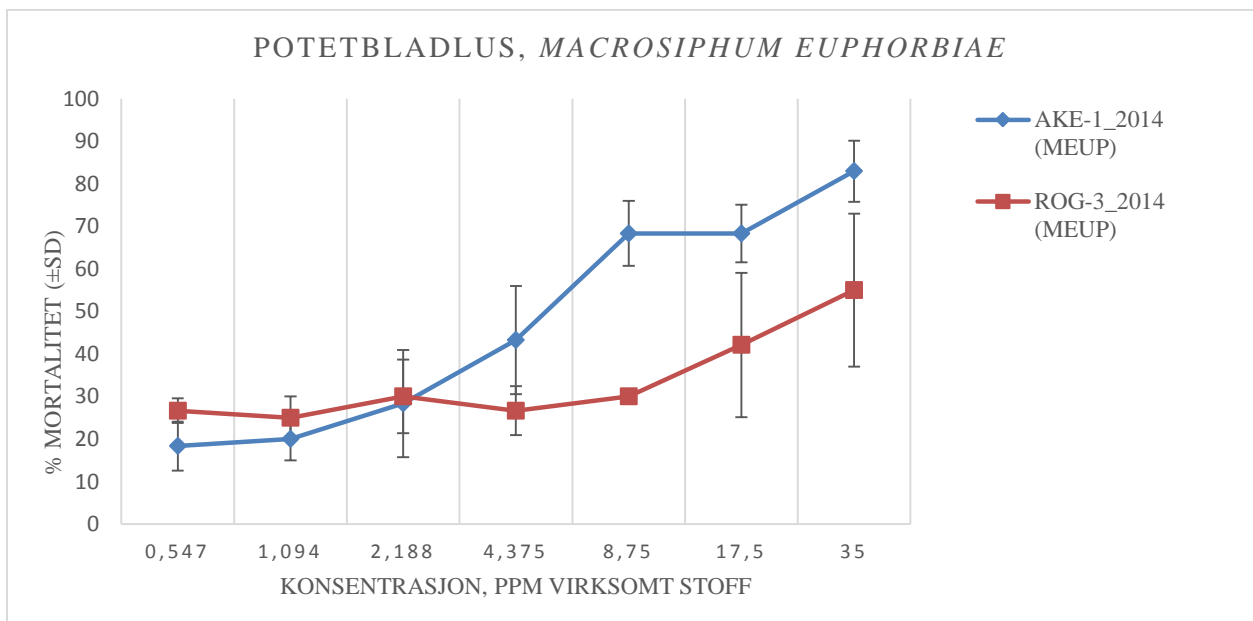
ØST-1_2014 (AGOS) og ROG-2_2014 (AGOS) hadde begge 97 % mortalitet ved anbefalt dose, BUS-1_2014 (AGOS) hadde noe lavere, men ikke signifikant forskjellig mortalitet ved anbefalt dose (figur 13). Responskurvene til de tre *A. gossypii* populasjonene lignet hverandre fra 0,547 ppm virksomt stoff til anbefalt dose (figur 16). *Aphis gossypii* populasjonene ble estimert å nå 50 % ved 7 ppm virksomt stoff, og det var ingen signifikant forskjell mellom LC_{50} verdiene til de tre populasjonene (tabell 6). ØST-1_2014 (AGOS), BUS-1_2014 (AGOS) og ROG-2_2014 (AGOS) ble estimert å nå 95 % mortalitet ved henholdsvis 22, 42 og 87 ppm virksomt stoff. Testen gir ikke grunnlag for å si at *A. gossypii* populasjonene er resistente mot flonikamid.



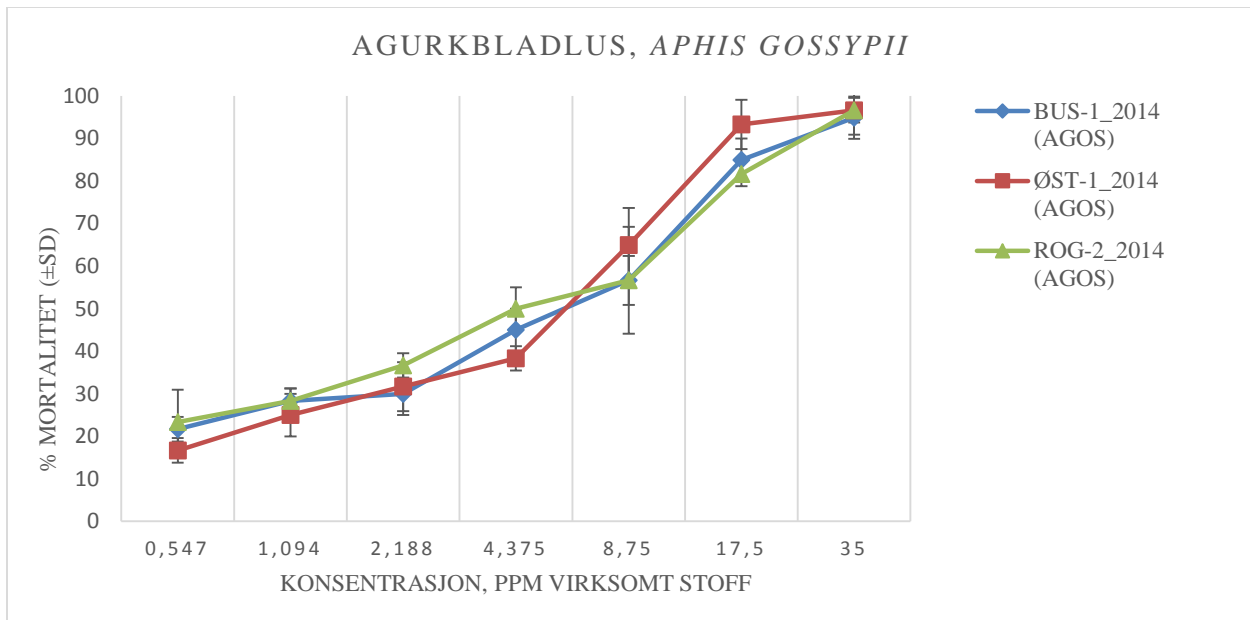
Figur 13 Gjennomsnittlig mortalitet (\pm SE) ved anbefalt dose av flonikamid (35 ppm virksomt stoff). Mortalitet ble registrert etter 96 timer for *M. euphorbiae* (MEUP) og *A. gossypii* (AGOS) og etter 120 timer for *M. persicae* (MPER) og *A. solani* (ASOL). Test metode: IRAC Method no. 019 versjon 3.2 (2012), test av voksne vingeløse bladlus. Ulike bokstaver over søylene betyr at gjennomsnittlig mortalitet er signifikant forskjellig (ANOVA og Fishers pairwise comparison, $p < 0.05$).



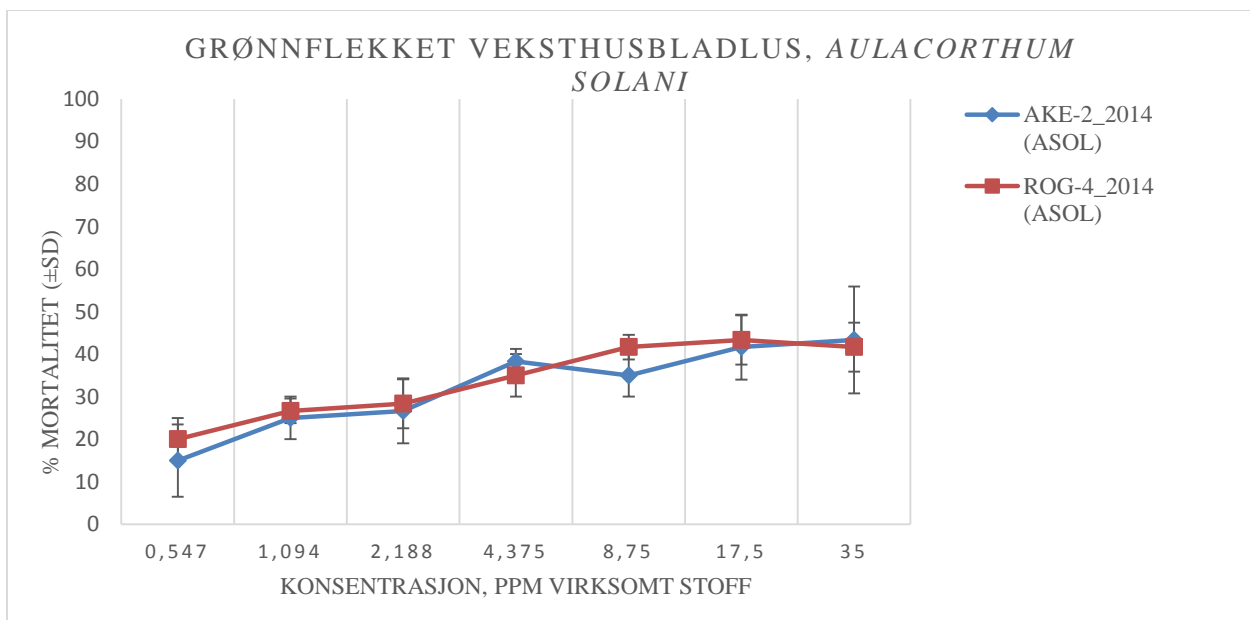
Figur 14 Dose-responskurve for ferskenbladlus, *Myzus persicae*, mortalitet ble registrert etter 120 timer. Diagrammet viser prosent døde voksne vingeløse bladlus for hver konsentrasjon av flonikamid. Tallene er ikke korrigert med naturlig mortalitet. Feilfelt indikerer \pm standardavvik.



Figur 15 Dose-responskurve for potetbladlus, *Macrosiphum euphorbiae*, mortalitet ble registrert etter 96 timer. Diagrammet viser prosent døde voksne vingeløse bladlus for hver konsentrasjon av flonikamid. Tallene er ikke korrigert med naturlig mortalitet. Feilfelt indikerer \pm standardavvik.



Figur 16 Dose-responskurve for agurkbladlus, *Aphis gossypii*, mortalitet ble registrert etter 96 timer. Diagrammet viser prosent døde voksne vingeløse bladlus for hver konsentrasjon av flonikamid. Tallene er ikke korrigert med naturlig mortalitet. Feilfelt indikerer \pm standardavvik.



Figur 17 Dose-responskurve for grønnflekkt veksthusbladlus, *Aulacorthum solani*, mortalitet ble registrert etter 120 timer. Diagrammet viser prosent døde voksne vingeløse bladlus for hver konsentrasjon av flonikamid. Tallene er ikke korrigert med naturlig mortalitet. Feilfelt indikerer \pm standardavvik.

Tabell 6 Data for dose-respons for *A. gossypii* populasjonene behandlet med flonikamid i biologisk test, metode: IRAC Method no. 019 versjon 3.2 (2012). Mortalitet ble avlest etter 120 timer. LC₅₀ verdier for bladluspopulasjonene ble vurdert som signifikant forskjellige dersom deres 95 % fiducial limits (FL) ikke overlapper. LC₅₀ verdier fulgt av ulik bokstav regnes som signifikant forskjellige. Probitanalyse (Minitab Inc 2014).

Populasjon	Antall bladlus testet	LC₅₀ ppm virksomt stoff	95% CI (LC₅₀)	LC₉₅ ppm virksomt stoff	95% CI (LC₉₅)	Stigningskoeffisient ± SE
Agurkbladlus, <i>Aphis gossypii</i> (AGOS)						
BUS-1_2014 (AGOS)	478	7,369 ^a	5,705-9,135	42,214	29,276–76,347	2,17 ± 0,3
ØST-1_2014 (AGOS)	480	7,31 ^a	5,852-8,677	21,835	16,584–36,57	3,46 ± 0,61
ROG-2_2014 (AGOS)	480	7,102 ^a	5,247-10,054	87,0302	42,219-355,198	1,51 ± 0,26

5 Diskusjon

Den biologiske testen indikerer resistens mot lambda-cyhalotrin hos *M. persicae* populasjonene samlet i 2014. Det har gjentatte ganger vært rapportert om nedsatt virkning av plantevernmidler innen den kjemiske gruppen pyretroider mot *M. persicae* (Bass et al. 2014). Nordhus (2005) registrerte høy frekvens (87 %) av *kdr* mutasjon i femten norske populasjoner av *M. persicae*. Resultater fra denne studien kan tyde på at resistensfrekvens mot pyretroider fremdeles er høy hos norske populasjoner av *M. persicae*. Populasjonene av *M. euphorbiae*, *A. gossypii* og *A. solani* har alle signifikant sammenheng mellom dose og respons, men noen av populasjonene har signifikant lavere mortalitet ved anbefalt dose enn populasjonene med 100 % mortalitet. Fordi vi ikke har referansestamme for disse artene, kan vi ikke si noe sikkert angående resistens. Dersom det er ønskelig å vite noe med større sikkerhet, trengs flere tester med bruk av referansestamme som en vet er mottakelig for lambda-cyhalotrin. *Aphis gossypii* og *A. solani* populasjonene som ble samlet i Rogaland, hadde lavere følsomhet for lambda-cyhalotrin ved de tre sterkeste dosene enn populasjonene av disse artene samlet på Østlandet. For å finne ut av om dette vil ha praktisk betydning for dyrkeren, kan resultatene bli brukt som grunnlag for gjennomføring av feltforsøk.

Resultatene fra den biologiske testen tyder på at de norske populasjonene av *M. persicae*, *M. euphorbiae*, *A. gossypii* og *A. solani* samlet i 2014, har høy følsomhet for tiaklopid. Studier viser at høy eksponering for neonicotinoider øker risikoen for utvikling av resistens mot denne kjemiske gruppen hos *M. persicae* (Puinean et al. 2010; Foster et al. 2008). Casida og Dukin (2013) viser til en stadig økning i bruk av neonicotinoider på det internasjonale markedet i løpet av de siste ti årene. Det har de senere årene vært registrert flere tilfeller av resistens hos *A. gossypii* og *M. persicae* mot neonicotinoider, mens det for *M. euphorbiae* og *A. solani* ikke er publisert noen tilfeller av resistens mot neonicotinoider (APRD 2015b).

Flonikamid ble først godkjent i Norge i 2014, og det er lite trolig at det er utviklet resistens mot dette virksomme stoffet hos *M. persicae*, *M. euphorbiae* og *A. solani* populasjonene samlet i 2014. Globalt er det ikke publisert funn av resistens mot denne kjemiske gruppen (APRD 2015c). Når i tillegg *M. persicae* populasjonen som ble samlet i 2000 og har levd upåvirket av kjemiske midler hos Bioforsk Plantehelse siden, også hadde lav følsomhet for flonikamid gir dette grunnlag for å tro at metode eller doser ikke var egnet for test av *M. persicae*, *M. euphorbiae* og *A. solani*.

Biologisk testing av femten *A. gossypii* utført på laboratorium, viste at flonikamid fungerte effektivt mot alle de femten populasjonene og det var ingen kryssresistens med hverken fosformidler, karbamater eller pyretroider (Morita, Yoneda og Akiyoshi 2014). Morita et al. (2007) beskriver at flonikamid har god virkning på bladlus, der i blant *A. gossypii* og *M. persicae*. Dette stemmer overens med resultatene for *A. gossypii* populasjonene i de biologiske testene (Koo et al. 2014).

Metoden som er valgt i denne undersøkelsen, skal ifølge metodebeskrivelsen (IRAC 2012) være egnet for midlene lambda-cyhalotrin, tiakloprid og flonikamid. Jacobson og Kennedy (2014) viser at *M. persicae* bruker signifikant kortere tid på planter behandlet med neonikotinoid enn kontrollen behandlet med vann. Dersom midlene påvirker bladlusene til å flykte fra bladoverflaten, er det viktig for tolkningen av testresultatet at bladlusene som flykter, dør av sult. Nauen og Elbert (1997) fant at uten tilgang på næring, døde 50 % av *M. persicae* populasjonen etter 37 timer. De anbefaler at registrering av dose-respons bør skje etter minst 72 timer eller enda bedre etter 96 timer. I undersøkelser til Sato et al. (2013) var alle *A. solani* som ble sultet, døde etter fire døgn.

Metoden skal ifølge IRAC (2012) være egnet for *M. persicae*, *M. euphorbiae*, *A. gossypii* og *A. solani*, men vi har valgt å bruke andre vertplanter enn anbefalt. Bladlusartene som er undersøkt er polyfage (Blakman og Eastop 2000 s. 213), og plantene som er benyttet er registrert som vertplanter for bladlusene (Blakman og Eastop 2000, s. 230, 245, 291 og 308). I metodebeskrivelsen er det anbefalt å bruke kinakål i tester av *M. persicae*, potet eller bønnevikke, *Vicia faba*, i tester av *M. euphorbiae*, bomull og bønnevikke i tester av *A. gossypii*. I metodebeskrivelsen er det anbefalt en til to vertplanter for hver bladlusart, men det er ingen planter som frarådes å bli brukt. Paprika og agurk er ikke nevnt som vertplante for noen av artene, dette kan bety at IRAC metodeteam ikke har testet disse plantene for metoden. Dersom paprika har dårligere evne til å feste/ta opp flonikamid enn de anbefalte planteartene, kan dette være en forklaring på den lave mortaliteten til populasjonene testet på paprika ved anbefalt dose (Blakman og Eastop 2000).

Dosene som er valgt for test av bladluspopulasjonene mot flonikamid, er basert på dosene som er brukt i test av følsomhet hos *M. persicae* for subletale doser av flonikamid (Cho et al. 2011). I denne studien er det valgt å bruke 35 ppm virksomt stoff (Norsk anbefaling for bruk av flonikamid mot bladlus i kjernefrukt 2014), noe som er nær den høyeste dosen brukt av Cho et al. (2011) på

33,5 ppm virksomt stoff. For bladlusbekjempelse i potet er det anbefalt å bruke 160 ppm virksomt stoff (Norsk etikett 2014). På grunn av den lave dose-responsen hos *M. persicae*, *M. euphorbiae*, og *A. solani* populasjonene, og en høyere dose anbefalt i potet, kan det i fremtidige tester være interessant å teste for en enda høyere dose. Cho et al. (2011) fikk en LC₅₀ verdi på 10 ppm virksomt stoff og en LC₉₅ verdi på 16,8 ppm virksomt stoff ved bruk av kinakål som vertplante. I deres tester av *M. persicae* følsomhet for flonikamid ble bladene dyppet i ett minutt og bladlusb mortalitet registrert etter 96 timer. Skal lignende studier som denne gjennomføres i fremtiden, bør andre vertplanter enn paprika vurderes, og dersom paprika skal brukes som vertplante, bør tiden bladene dyppes i flonikamid økes. Denne studien viser dårlig effekt av flonikamid på norske *M. persicae*, *M. euphorbiae* og *A. solani* når paprikablader dyppes i ti sekunder.

6 Konsekvenser for dyrkernes plantevernpraksis

Det er viktig at norske populasjoner av *M. persicae*, *A. gossypii*, *M. euphorbiae* og *A. solani* så langt det lar seg gjøre holdes under økonomisk skadeterskel ved hjelp av mekanisk og biologisk kontroll. Skal bladlusangrep håndteres ved hjelp av kjemiske midler, må en unngå ensidig seleksjonspress mot enkelte kjemiske grupper. Resistens i en populasjon er dynamisk, og kan derfor endre seg over tid. Å følge utviklingen av resistens i norske populasjoner, gir grunnlag for råd som kan brukes i strategier for å dempe resistens. Oppdages resistensutvikling på et tidlig tidspunkt kan tiltak for å motvirke utviklingen settes inn tidlig og ha god effekt.

7 Litteraturliste

- Alsvik, M. (2002). *Kartlegging av resistens mot plantevernemiddel i norske populasjoner av ferskenbladlus, Myzus persicae (Homoptera: Aphididae)*: Norges landbrukshøgskole, Institutt for plantefag.
- APRD – Arthropod Pesticide Resistance Database, Michigan State University (2015a). *Søk i database*: IRAC Michigan State University. Lokalisert 20.04.2015 på World Wide Web: <http://www.pesticideresistance.org>
- APRD – Arthropod Pesticide Resistance Database, Michigan State University (2015b). *Neonicotinoids, MOA Abbr: 4A*. IRAC Michigan State University. Lokalisert 11.05.2015 på World Wide Web: <http://www.pesticideresistance.org/search.php>
- APRD – Arthropod Pesticide Resistance Database, M. S. U. (2015c). *Fonicamid, MOA Abbr: 9C*. IRAC Michigan State University. Lokalisert 11.05.2015 på World Wide Web: <http://www.pesticideresistance.org/search.php>
- Bass, C., Puinean, A. M., Andrews, M., Cutler, P., Daniels, M., Elias, J., Paul, V. L., Crossthwaite, A. J., Denholm, I., Field, L. M., et al. (2011). *Mutation of a nicotinic acetylcholine receptor beta subunit is associated with resistance to neonicotinoid insecticides in the aphid Myzus persicae*. *Bmc Neuroscience*, 12.
- Bass, C., Puinean, A. M., Zimmer, C. T., Denholm, I., Field, L. M., Foster, S. P., Gutbrod, O., Nauen, R., Slater, R. & Williamson, M. S. (2014). *The evolution of insecticide resistance in the peach potato aphid, Myzus persicae*. *Insect Biochemistry and Molecular Biology*, 51: 41-51.
- Ben-Ari, M., Gish, M. & Inbar, M. (2015). *Walking aphids can partake in within-field dispersal to distant plants*. *Basic and Applied Ecology*, 16 (2): 162-171.
- Blackman, R. L. & Eastop, V. F. (2000). *Aphids on the World's Crops. An Identification and Information Guide.*: Wiley, J. Ltd, S.
- Boquel, S., Giordanengo, P. & Ameline, A. (2014). *Vector activity of three aphid species (Hemiptera: Aphididae) modulated by host plant selection behaviour on potato (Solanales: Solanaceae)*. *Annales De La Societe Entomologique De France*, 50 (2): 141-148.
- Casida, J. E. & Durkin, K. A. (2013). *Neuroactive Insecticides: Targets, Selectivity, Resistance, and Secondary Effects*. *Annual Review of Entomology*, 58: 99-117.
- Ceccatti, J. S. (2009). *Descended from Darwin. Insights into the History of Evolutionary Studies, 1900-1970*.

- Cho, S. R., Koo, H. N., Yoon, C. & Kim, G. H. (2011). *Sublethal Effects of Flonicamid and Thiamethoxam on Green Peach Aphid, Myzus persicae and Feeding Behavior Analysis*. Journal of the Korean Society for Applied Biological Chemistry, 54 (6): 889-898.
- Devonshire, A. L. & Moores, G. D. (1982). *A carboxylesterase with broad substrate-specificity cause organo-phosphorus, carbamate and pyrethroid resistance in peach potato aphids (Myzus persicae)*. Pesticide Biochemistry and Physiology, 18: 235-246.
- Dhooria, M. S. (2008). *Ane's Encyclopedic Dictionary of General & Applied Entomology*. Dordrecht: Springer Netherlands.
- Dik, A. J. & Vanpelt, J. A. (1992). Interaction between Phyllosphere Yeasts, Aphid Honeydew and Fungicide Effectiveness in Wheat under Field Conditions. *Plant Pathology*, 41 (6): 661-675.
- Edland, T. (2004). *Sugende skade- og nytte dyr i frukthagar*. Grønn kunnskap, 8 (4): 150-152.
- Eleftherianos, I., Foster, S. P., Williamson, M. S. & Denholm, I. (2008). *Characterization of the M918T sodium channel gene mutation associated with strong resistance to pyrethroid insecticides in the peach-potato aphid, Myzus persicae (Sulzer)*. Bulletin of Entomological Research, 98 (2): 183-191.
- EPC – European Crop Protection (2010). *The Development of Pesticide productions*. I: Ukjent (red.). Complex, costly and time consuming. Tilgjengelig fra: Lokalisert 01.06.2015 på World Wide Web: <http://www.ecpa.eu/article/regulatory-affairs/development-pesticide-products>.
- French-Constant, R. H., Daborn, P. J. & Le Goff, G. (2004). The genetics and genomics of insecticide resistance. *Trends in Genetics*, 20 (3): 163-170.
- FN- Forente Nasjoner (2013). *Verdens befolkning: FN-sambandet*, united nation association of Norway. Tilgjengelig fra: Lokalisert 28.11.1996 på World Wide Web: <http://www.fn.no/Tema/Befolkning/Verdens-befolkning>.
- Forgash, A. J. (1984). *History, Evolution, and Consequences of Insecticide Resistance*. Pesticide Biochemistry and Physiology, 22 (2): 178-186.
- Foster, S. P., Harrington, R., Dewar, A. M., Denholm, I. & Devonshire, A. L. (2002). *Temporal and spatial dynamics of insecticide resistance in Myzus persicae (Hemiptera : Aphididae)*. Pest Management Science, 58 (9): 895-907.
- Foster, S. P., Cox, D., Oliphant, L., Mitchinson, S. & Denholm, I. (2008). *Correlated responses to neonicotinoid insecticides in clones of the peach-potato aphid, Myzus persicae (Hemiptera: Aphididae)*. Pest Management Science, 64 (11): 1111-1114.

- Dixon, A. F. G. (1987). *The way of life of aphids: host specificity, speciation and distribution*. in *Aphids, Their Biology, Natural Enemies and Control (2A)*, ed. by Minks AK and Harrewijn P. Elsevier, Amsterdam. 197–207
- Gassmann, A. J., Carriere, Y. & Tabashnik, B. E. (2009). *Fitness Costs of Insect Resistance to *Bacillus thuringiensis**. *Annual Review of Entomology*, 54: 147-163.
- Georghiou, G. P. (1986). *The magnitude of the resistance problem*.
- Hovsvang, T. (2003). *Insektsmidler i Norge en historisk oversikt*. Grønn kunnskap 7: 24-27.
- IRAC. (2012). *Susceptibility Test Methods Series*. Lokalisert 20.04.2014 på World Wide Web: http://www.iraconline.org/content/uploads/Method_019-_v3.2_May12_aphid.pdf.
- Jacobson, A. L. & Kennedy, G. G. (2014). *Electrical penetration graph studies to investigate the effects of cyantraniliprole on feeding behavior of *Myzus persicae* (Hemiptera: Aphididae) on *Capsicum annuum**. *Pest Management Science*, 70 (5): 836-840.
- Johansen, N. S. (2015a). *Kryssresistens*. Lokalisert 22.04.2015 på World Wide Web: www.bioforsk.no/resistens.
- Johansen, N. S. (2015b). *Plantevernmiddelresistens hos skadedyr*. *BioforskTEMA*, 10 (1): s. 2. Lokalisert 06.05.2015 på World Wide Web: http://www.bioforsk.no/ikbViewer/Content/117065/TEMA_10-1_PVMRes_v06_sendt%20Peder%20Lombn%C3%A6s%2026%20jan%202015.pdf
- Kliot, A. & Ghanim, M. (2012). *Fitness costs associated with insecticide resistance*. *Pest Management Science*, 68 (11): 1431-1437.
- Koo, H. N., An, J. J., Park, S. E., Kim, J. I. & Kim, G. H. (2014). *Regional susceptibilities to 12 insecticides of melon and cotton aphid, *Aphis gossypii* (Hemiptera: Aphididae) and a point mutation associated with imidacloprid resistance*. *Crop Protection*, 55: 91-97.
- Leroy, P. D., Sabri, A., Heuskin, S., Thonart, P., Lognay, G., Verheggen, F. J., Francis, F., Brostaux, Y., Felton, G. W. & Haubruge, E. (2011). *Microorganisms from aphid honeydew attract and enhance the efficacy of natural enemies*. *Nature Communications*, 2.
- Melander A. L. (1914). *Can insects become resistant to sprays?* *Journal of Economic Entomology*, 7: 167-173.
- Merkuri, J., Cara, M., Cota, E., Hasani, M. & Tome, E. (2012). *Virus Diseases of Potatoes - Intensity of Spreading, Vectors and Pesticide Control*. V Balkan Symposium on Vegetables and Potatoes, 960: 347-350.

- Moores, G. D., Devine, G. J. & Devonshire, A. L. (1994). *Insecticide-Insensitive Acetylcholinesterase Can Enhance Esterase-Based Resistance in Myzus-Persicae and Myzus-Nicotianae*. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 49 (2): 114-120.
- Morita, M., Ueda, T., Yoneda, T., Koyanagi, T. & Haga, T. (2007). *Flonicamid, a novel insecticide with a rapid inhibitory effect on aphid feeding*. *Pest Management Science*, 63 (10): 969-973.
- Morita, M., Yoneda, T. & Akiyoshi, N. (2014). Research and development of a novel insecticide, flonicamid. *Journal of Pesticide Science*, 39 (3-4): 179-180.
- Mota-Sanchez, D., S., Bills P. S. & Whalon M. E. (2002). *Arthropod resistance to pesticides: Status and overview*. *Pesticides in agriculture and the environment*. Marcel Dekker. Inc., NY.
- Nauen, R. & Elbert, A. (1997). Apparent tolerance of a field-collected strain of *Myzus nicotianae* to imidacloprid due to strong antifeeding responses. *Pesticide Science*, 49 (3): 252-258.
- Nauen, R., Elbert, A., McCaffery, A., Slater, R. & Sparks, T. C. (2012). *IRAC: Insecticide Resistance and Mode of Action Classification of Insecticides*, second ed. Wiley-VCH, Weinheim.
- Nordhus, E. G. M. (2005). *Molecular methods in species identification of Liriomyza spp. and the study of insecticide resistance in Liriomyza spp., Bemisia tabaci and Myzus persicae.*, The Norwegian Crop Research Institute. Department of Entomology and Nematology.
- Panini, M., Dradi, D., Marani, G., Butturini, A. & Mazzoni, E. (2014). Detecting the presence of target-site resistance to neonicotinoids and pyrethroids in Italian populations of *Myzus persicae*. *Pest Management Science*, 70 (6): 931-938.
- Prokinova, E. (2005). *Field Crops Health Condition - Present Situation*. 7th Scientific and Technical Seminar on Seed and Seedlings: Czech University of Life Sciences (CULS).
- Puinean, A. M., Foster, S. P., Oliphant, L., Denholm, I., Field, L. M., Millar, N. S., Williamson, M. S. & Bass, C. (2010). Amplification of a Cytochrome P450 Gene Is Associated with Resistance to Neonicotinoid Insecticides in the Aphid *Myzus persicae*. *Plos Genetics*, 6 (6).
- Sato, D., Akashi, H., Sugimoto, M., Tomita, M. & Soga, T. (2013). *Metabolomic profiling of the response of susceptible and resistant soybean strains to foxglove aphid, Aulacorthum solani Kaltenschach*. *Journal of Chromatography B-Analytical Technologies in the Biomedical and Life Sciences*, 925: 95-103.
- Silva, A. X., Jander, G., Samaniego, H., Ramsey, J. S. & Figueroa, C. C. (2012). *Insecticide Resistance Mechanisms in the Green Peach Aphid Myzus persicae (Hemiptera: Aphididae) I: A Transcriptomic Survey*. *Plos One*, 7 (6).

- Simon-Delso, N., Amaral-Rogers, V., Belzunces, L. P., Bonmatin, J. M., Chagnon, M., Downs, C., Furlan, L., Gibbons, D. W., Giorio, C., Girolami, V., et al. (2015). Systemic insecticides (neonicotinoids and fipronil): trends, uses, mode of action and metabolites. *Environmental Science and Pollution Research*, 22 (1): 5-34.
- Sparks, T. C. & Nauen, R. (2014). *IRAC: Mode of action classification and insecticide resistance management*. Elsevier.
- Stenseth, C. (1998). Skadedys på veksthusplanter - Midder og insekt. *Landbruksforlaget*: 59 s.
- Sundbye, A. (2009). *Potetbladlus (Macrosiphum euphorbiae)*. Plantevernleksikonet. Tilgjengelig fra: Lokalisert 10.05.2014 på World Wide Web:
http://leksikon.bioforsk.no/vieworganism.php?organismId=1_861&showMacroOrganism=false.
- Sundbye, A. (2011a). *Agurkbladlus (Aphis gossypii)*. Plantevernleksikonet. Tilgjengelig fra: Lokalisert 10.05.2014 på World Wide Web:
http://leksikon.bioforsk.no/vieworganism.php?organismId=1_815&showMacroOrganism=false.
- Sundbye, A. (2011b). *Grønnflekkt veksthusbladlus (Aulacorthum solani)*. Plantevernleksikonet. Tilgjengelig fra: Lokalisert 10.05.2014 på World Wide Web:
http://leksikon.bioforsk.no/vieworganism.php?organismId=1_136&showMacroOrganism=false.
- Rotteveel, T., Jørgensen, L. og Heimbach U. (2011). Resistance management in Europe: a preliminary proposal for the determination of a minimum number of active substances necessary to manage resistance. *EPPO Bulletin*, 41: 432-438.
- Verbeek, M., Piron, P. G. M., Dulleman, A. M., Cuperus, C. & van der Vlugt, R. A. A. (2010). Determination of aphid transmission efficiencies for N, NTN and Wilga strains of Potato virus Y. *Annals of Applied Biology*, 156 (1): 39-49.
- Wennergren, U. & Stark, J. (2000). Modeling long-term effects of pesticides on populations: Beyond just counting dead animals. *Ecological Applications*, 10 (1): 295-302.
- WHO. (1957). *Insecticide resistance and vector control*. Seventeenth Report of the WHO. Expert Committee on Insecticides. *WHO Tech. Rept. Ser.* 279 s.
- Wright, R. J. (2011). *Insecticide Mode of Action Classification for Nebraska Field Crops*. University of Nebraska Lincoln.



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Postboks 5003
NO-1432 Ås
67 23 00 00
www.nmbu.no