

Til Miljøstyrelsen

Levering på bestillingen "Faglig redegørelse vedr. ferskenbladlus, som skadedyr i dansk roproduktion"

Miljøstyrelsen har i en bestilling dateret d. 10. september 2019 bedt DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug – om en faglig redegørelse vedrørende ferskenbladlus, som skadedyr i dansk roproduktion, herunder livscyklus, udbredning og forekomst i Danmark, resistens samt mulighed for monitorering eller prognoser for angreb.

Besvarelsen i form af vedlagte notat er udarbejdet af lektor Michael Kristensen og seniorforsker Henrik Skovgård fra Institut for Agroøkologi ved Aarhus Universitet. Seniorforsker Annie Enkegaard fra Institut for Agroøkologi ved Aarhus Universitet har været fagfællebedømmer, og notatet er revideret i lyset af hendes kommentarer.

Besvarelsen er første gang indsendt d. 6. december, men med forkert angivelse af kvirent. Dette er ændret i nærværende følgebrev.

Besvarelsen er udarbejdet som led i "Rammeaftale om forskningsbaseret myndighedsbetjening mellem Miljø- og Fødevareministeriet og Aarhus Universitet" under ID 1.25 i "Ydelsesaftale Planteproduktion 2019-2022".

Venlig hilsen

Lene Hegelund
Specialkonsulent, DCA-centerenheden



Udredning om ferskenbladlus som skadedyr i dansk roeproduktion

Af Michael Kristensen, Henrik Skovgård, Institut for Agroøkologi, Aarhus Universitet.

Udredningen er bestilt som led i forskningsbaseret myndighedsbetjening ved DCA, Aarhus Universitet.

TITEL PÅ BESTILLINGEN: Faglig redegørelse vedr. ferskenbladlus, som skadedyr i dansk roeproduktion

KORT BESKRIVELSE AF OPGAVEN: Der ønskes en faglig redegørelse vedr. ferskenbladlus, som skadedyr i dansk roeproduktion, herunder livscyklus, udbredelse og forekomst i Danmark, forekomst af pyrethroidresistens, samt. evt. mulighed for monitorering eller prognoser for angreb osv.

REKVIRENT: Miljøstyrelsen

Indholdsfortegnelse

Sammendrag

1. Introduktion
2. Ferskenbladlusens biologi
 - a. Udbredelse
 - b. Ferskenbladlusens udseende
 - c. Livscyklus
 - d. Skade på afgrøder
 - e. Virus gulsot i roer
 - f. Spredning af ferskenbladlus
 - g. Populationsdynamik
3. Monitorering
 - a. Generelt
 - b. Direkte monitorering af ferskenbladlus
 - c. Indirekte monitorering
 - d. Varsling ved simuleringsmodeller
4. Kemisk bekæmpelse og insekticidresistens
 - a. Bekæmpelse og resistens
 - b. Carbamat-resistens hos ferskenbladlus
 - c. Pyrethroid-resistens hos ferskenbladlus
 - d. Neonikotinoid-resistens hos ferskenbladlus
 - e. Monitorering af og status for resistens
5. Konklusion

Sammendrag

Ferskenbladlusen er almindelig udbredt i hele landet. Den formerer sig hovedsagelig ukønnet og er et væsentlig skadedyr, som forårsager tab i landbruget over hele verden primært som vektor for en række virus. Ferskenbladlusens betydning som skadedyr i produktionen af sukkerroer har været ubetydelig, siden man i 1990'erne begyndte at bejdse roefrø med neonikotinoide. Vi vurderer at ferskenbladlusen igen vil blive et betydeligt skadedyr, som overfører virusgulsot til bederoer, hvis den i fremtiden ikke kan bekæmpes effektivt.

Bekæmpelsen af ferskenbladlus har i mange afgrøder næsten udelukkende været baseret på anvendelse af kemiske insekticider og den intensive anvendelse af insekticider har ført til udvikling af insekticidresistens. Der er rapporter om udbredt resistens hos ferskenbladlus overfor mange forskellige insektmidler i Europa, men vi kender ikke status for dette i Danmark herunder hvilke resistens-fænotyper der findes, hvordan er de sammensat og hvad den genetiske baggrund er. I bederoer har der tidligere været fundet resistens hos danske ferskenbladlus overfor organofosfater, carbamater og pyrethroider. Med vores nuværende kendskab er det en dårlig strategi at anvende pyrethroider til bekæmpelse af ferskenbladlus i Danmark, hvorimod andre godkendte midler mod bladlus formodes at have en god effekt. Der er behov for at kendskabet til insekticid resistens hos ferskenbladlusen i Danmark øges.

Monitering- og varsling af ferskenbladlus er et altafgørende redskab til forebyggelse og bekæmpelse, så udbyttetab undgås eller minimeres. Monitering baseret på direkte inspektion af ferskenbladlus på planter eller indirekte metoder som gule fangbakker giver ikke pålidelige forudsigelser om risikoen for og omfanget af en infektion med virusgulsot i en kommende vækstsæson. Mange usikkerhedsfaktorer er involverede, lige fra simple usikkerheder ved prøvetagning til de vejr-mæssige forhold vil have stor betydning. Derimod vil brug af en robust varslingsmodel efter tilpasninger til danske forhold med hensyn til ferskenbladlusens biologi, overvintring og dyrkning af bederoer generelt kunne bidrage til et varslingsystem af virusgulsot i bederoer. Før en sådan model for varsling er operativ vil det dog kræve yderligere forskning i ferskenbladlusens biologi med henblik på at få afdækket flere faktorer såsom overvintringssteder og spredningspotentiale under danske forhold.

Emigrerende vingede ferskenbladlus fra roekuler, der ikke er fjernet inden foråret, menes stadig at være den væsentligste kilde til primær infektion med virusgulsot i bederoemarken i Danmark. Betydningen af vingede ferskenbladlus fra andre overvintringslokaliteter er dog ikke kendt, dvs. det er uvist om der er andre mulige vinterværter/lokaliteter, hvor bladlusen kan overleve holocyklisk eller anholocyklisk. Ligeledes er det væsentligt at afklare om der i Danmark eksisterer en "grøn bro" hvor overvintrende og virusgulsot inficerede ferskenbladlus i vinterraps bringer virus ind i marker med bederoer om foråret.

1. Introduktion

Ferskenbladlusen, *Myzus (Nectarosiphon) persicae* Sulzer (Hemiptera: Aphididae), er en kosmopolitisk art og et af de mest økonomisk vigtige skadedyr på verdensplan (van Emden og Harrington, 2007). En række faktorer har gjort ferskenbladlusen til et meget væsentligt skadedyr, såsom udbredelse, forskellige skadelige mekanismer på forskellige værtsplanter, livscyklus, spredningsevne og evne til at udvikle insekticidresistens.

Ferskenbladlusen er polyfag, og der kendes over 40 værtsarter fra 40 forskellige plantefamilier, inklusive mange økonomisk vigtige afgrøder (Blackman og Eastop, 2000). Den skader afgrøden direkte ved at suge plantesaft, ved transmission af plantevirus og produktion af honningdug. Skadernes økonomiske betydning varierer afhængigt af afgrøden, men i mange tilfælde stammer den primære skade fra ferskenbladlusens meget høje effektivitet som vektor for virus; den er i stand til overfører mindst 100 forskellige plantevirus (Blackman og Eastop, 2000).

I sukkerroer har ferskenbladlusen indtil 1990erne været betragtet som et meget væsentlig skadedyr, idet den overfører virusgulsot til roer, hvilket kan føre til betydelige udbyttetab. Ferskenbladlusens betydning som skadedyr i produktionen af sukkerroer har været ubetydelig, siden man i 1990erne begyndte at bejdse frø med neonicotinoider, en gruppe af kemiske insekticider (Hauer et al. 2017).

2. Ferskenbladlusen biologi

a. Udbredelse

Ferskenbladlusen menes at have sit udspring i Asien, men findes i dag spredt til tropiske og subtropiske så vel som til tempererede dele af verden, herunder Danmark og de andre nordiske lande (Blackman og Eastop, 2000; Capinera, 2001; van Emden og Harrington, 2007). I Danmark er ferskenbladlusen almindelig og udbredt i hele landet (Heie, 2004).

b. Ferskenbladlusens udseende

De uvingede hunner (fundatrix) der om foråret udvikles fra overvintrende æg er gulgrønne, buttede af udsende og ca. 2,5 mm lange (Blackman and Eastop, 2000; Heie, 2004).

De voksne uvingede vivipare hunner på sommerværter er mere ovale og har en mindre kropslængde på ca. 1,2-2,1 mm. Samtidig er de farvemæssigt meget variable fra hvidlige, gulgrønne, grågrønne, mørkegrønne, lyserøde til røde og for nogle bestemte former (*M. persicae* var. *nicotianae*) næsten helt sorte. Farvemønstret er genetisk bestemt og påvirket af værtsplanten (Blackman and Eastop, 2000; Heie, 2004).

De voksne vivipare vingede individer er grønlig og kendes især på deres karakteristiske mørke hoved samt mørke plet på bagkroppens øvre del (Blackman and Eastop, 2000; Heie, 2004).

c. Livscyklus

Ferskenbladlusen tilhører en gruppe af bladlus, der er *heteroecious*, hvilke betyder at den alternerer imellem to vidt forskellige værtsplanter, hvor primærværten, herefter kaldet vinterværten, ofte er en træagtig plante og sekundærværten, herefter kaldet sommerværten, er en urteagtig plante (Dixon, 1985). Ferskenbladlusen udviser i Danmark anholocykli dvs. de overvintrer som ukønnede partenogenetiske (levendefødende) hunner og nymfer på beskyttede steder som f. eks. overdækkede roekuler, væksthuse og andre opvarmede- eller beskyttede steder. Holocykli forekommer dog i Danmark, hvor ferskenbladlusen overvintrer i æg-stadiet på fersken. Ferskenbladlusen har talrige urteagtige planter, heriblandt bederoer som sommerværter. Nedenfor gives en kort gennemgang af sommer- og vinterværter samt anholocykli og holocykli for ferskenbladlusen.

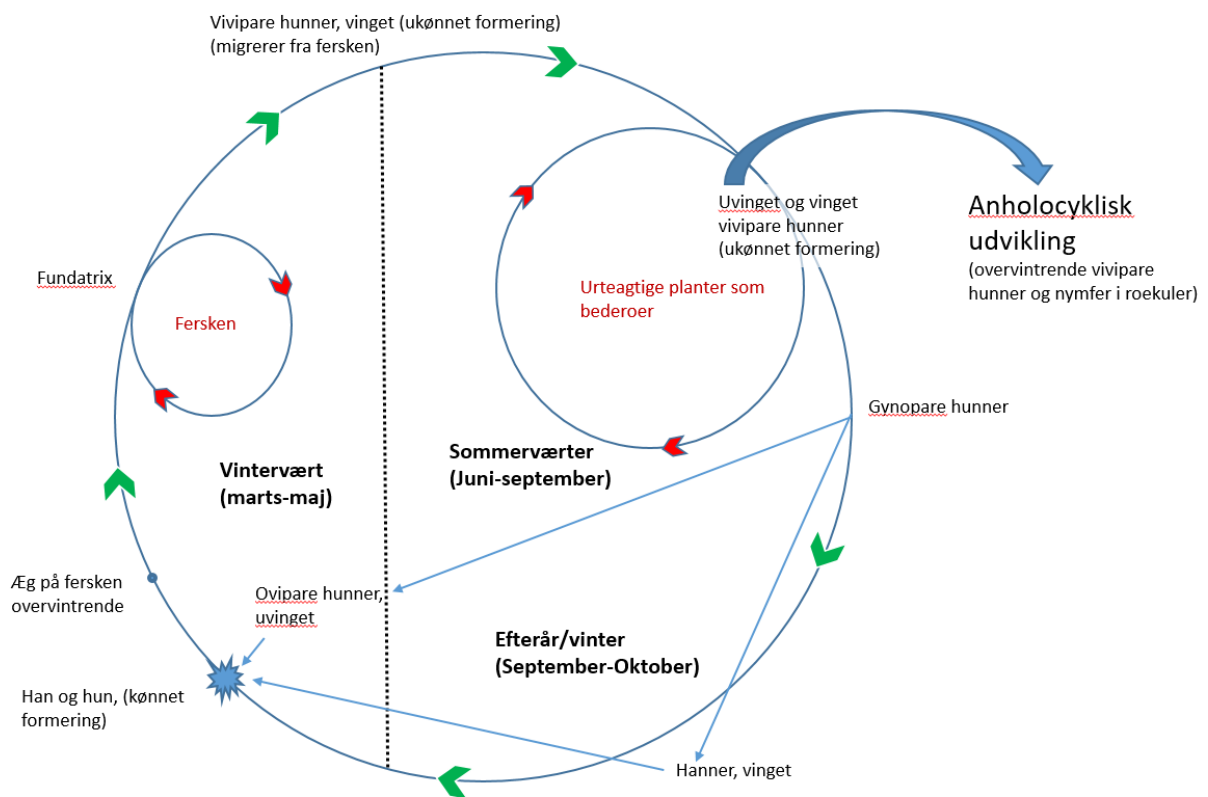


Fig. Henrik Skovgård

Figur 1 Årshjul for holocyklisk udvikling, *Myzus Persicae*.

Vintervært

Vinterværten for ferskenbladlus er fersken, *Prunus persicae* (L.) Batsch (Rosales: Rosaceae) samt forskellige varieteter af fersken såsom nektarin, *P. persica* var. *nucipersica*. I Nordamerika menes ferskenbladlusen også at have *P. nigra* og muligvis *P. tenella*, *P. nana*, *P. serotina* og *P. americana* samt forskellige hybrider af fersken som deres vintervært (van Emden et al., 1969). Ferskent træer findes herhjemme, men mest som pryddplanter i parker, planteskoler og blandt haveejere. Selvom Heie (2004) omtaler at ferskenbladlusen overvintrer på fersken skal dette udsagn ses i relation til hvor almindelig fersken er herhjemme og derfor må overvintring på fersken være af begrænset omfang.

Sommervært

Når det gælder ferskenbladlusens sommervært er den udpræget polyfag, hvilke indbefatter, at den har mindst 40 forskellige familier som mulige værter (Blackman og Eastop, 2000). Blandt disse kan nævnes tulipan (*Tulipa*), asparges (*Asparagus*), nellike (*Dianthus*), kål (*Brassica*), stokrose (*Althaea*), natskygge (*Solanum*, herunder kartoffel, *S. tuberosum*), spinat (*Spinacia*) og amarant (*Amaranthus*) (Heie, 2004). I amarant familien findes bederoen *Beta vulgaris* L. (Caryophyllales: Amaranthaceae) og varieteter som sukkerroe (*B. vulgaris* var. *altissima*), der på verdensplan og i Danmark er en økonomisk vigtig afgrøde på grund af knoldrøddernes høje sukkerindhold.

Anholocyklisk udvikling

I Danmark overvintrer ferskenbladlusen overvejende i opvarmede væksthuse samt udenfor i roekuler. I disse ofte relative lune kuler vil ferskenbladlusen gennem vinteren kunne opretholde små populationer. Ferskenbladlusen vil endda under milde vintre have gode muligheder for at opformere sig i roekulerne på de fremspirende småblade af roer (Hansen, 1990 a, b).

Om foråret, typisk i maj måned, dannes i roekulen vivipare vingede individer som emigrerer og koloniserer sommerværter. Især hvis vinteren har været meget mild, kan der være tale om et betydeligt antal vingede ferskenbladlus, som forlader roekulen. I forbindelse med virusgulsot vil mange af disse migrerende vingede ferskenbladlus være bærere af virus. Undersøgelser har vist at helt op til 70-80% af de migrerende vingede ferskenbladlus, der forlader en kule med bladbede var bærer af virusgulsot (Heathcote og Cockbain, 1966).

I de senere år og især i Storbritannien har der været stor bevågenhed på anholocyklisk overvintringsmulighed for ferskenbladlus i vinterraps (Qi et al., 2004). De hjemlige lune sensommer- og efterår har betydet tidlig såning af vinterraps. Dette har givet basis for forekomst og opformering af ferskenbladlus i den fremspirende vinterraps (Nielsen og Jensen, 2005). Følges dette op med en mild vinter og kun få sammenhængende dage med frost, vil der kunne dannes en "grøn bro", som det ses i Storbritannien, af overlevende og virusinficerede ferskenbladlus. Vingede bladlus vil tidligt på foråret kunne bære virusgulsot ind i fremspirende bederoer. Hvorvidt en "grøn bro" er et realistisk scenario for ferskenbladlus ved dyrkning af vinterraps i Danmark i dag, er uvis. Normalt vil temperaturen i vintermånederne november-februar komme under de nul grader i længere perioder, hvilke betyder, at både nymfer og voksne individer af bladlusen ikke vil overleve (Heie, 1990).

Vi vurderer derfor at emigrerende vingede ferskenbladlus fra roekuler, der ikke er fjernet inden foråret, stadig er den væsentligste kilde til primær infektion med virusgulsot i bederoemarken i Danmark.

Holocyklisk udvikling:

Æg af ferskenbladlus klækker i det tidlige forår (april-maj), lige før ferskentæernes knopper brydes. Efterfølgende vil de unge ferskenbladlus (fundatrices) gennemløbe tre nymfestadier inden det vivipare voksenstadium. Bladlusen producerer flere ukønnede partenogenetiske generationer på

fersken; antallet af disse generationer er bestemt af temperaturen. På et tidspunkt i foråret, bestemt af en voksende populationstæthed og dermed konkurrence samt faldende næringsværdi af ferskenblade, dannes der vivipare vingede individer. Disse vingede bladlus forlader vinterværten ved 13-14 °C for herefter at kolonisere et stort udvalg af forskellige urteagtige sommerværter (Broadbent et al., 1949; van Emden et al., 1969). Henover sommeren vil ferskenbladlusen formere sig ukønnet og bestemt af temperaturen, værtsplanten og de generelle vejrforhold kan disse ferskenbladlus gennemløbe ca. 8-10 generationer (Davis et al., 2006). Under gode betingelser er udviklingstiden fra nyfødt nymfe til voksen bladlus 10-12 dage. Under optimale betingelser kan en uvinget vivipar hun producere imellem 30-80 afkom i sin levetid. Maksimum reproduktion indtræder omkring 25-28 °C med en nettoreproduktionsrate (R_0) på 21 hunlige afkom samt en endelig vækstrate (λ) på omkring 1,25 og med en fordoblingstid (D) på 3-5 dage (Davis et al., 2006). Ved højere temperaturer (35-40 °C) falder reproduktionsraten brat, og normalt vil dette føre til et sammenbrud af bladluskolonierne.

I sensommeren og det tidlige efterår, hvor væksten af mange af de urteagtige planter standser, vil ferskenbladlusen begynde at producere gynopare vingede individer. Tidspunktet for produktion af disse vingede individer er bestemt af især dagslængde, hvor 12-14 timer med lys initierer deres dannelse. Derudover vil faldende temperaturer i efteråret medvirke til produktionen af vingede gynopare individer (Schöll et al., 1958, van Emden et al., 1969). De gynopare vingede bladlus søger imod vinterværten og her danner de ophav til uvingede hunlige individer (ovipare). De hanlige vingede individer dannes senere på efteråret af tilbageblevne gynopare individer på sommerværter. Disse hanner flyver sandsynligvis tiltrukket af de hunlige kønshormoner mod nærtstående ferskentræer, hvor hunnerne opholder sig. Kønnen forplantning finder efterfølgende sted, hvorefter de parrede hunner lægger æg i bark og knopskæl. En hun lægger 4-13 æg, der alle går i en diapause og kræver en længere kuldeperiode for at kunne klække det følgende forår. Æggene, som er i diapause, er særdeles kuldetolerante og kan klare temperaturer ned til -30 °C. Det ikke usædvanligt, at et ferskentræ kan have 4.000-20.000 overvintrende æg af ferskenbladlus (van Emden et al., 1969).

Den nedre tærskelværdi for temperatur og dermed udvikling af nyklækkede ferskenbladlus er ca. 4 °C, men forsøg har vist, at udviklingen kan foregå selv ned til omkring 0 °C (Liu og Meng, 1999). Udviklingstiden fra nyklækket fundatrix til voksen bladlus er typisk 8-10 dage ved en temperatur omkring 10-11 °C (van Emden et al., 1969). Flere generationer af ferskenbladlus kan derfor produceres i løbet af forårs månederne, såfremt forholdene er optimale.

d. Skade på afgrøder

Ferskenbladlusen opfattes de fleste steder i verden som et alvorligt skadedyr, dels fordi den ved høje populationstætheder optager store mængder phloemsaft og derved dræner værtsplanten for vigtige næringsstoffer og salte, men også fordi bladlusene udskiller store mængder overskydende kulhydrater i form af honningdug. Honningdug danner grobund for vækst på plantens blade af saprofytiske svampe, der reducerer dens mulighed for optimal fotosyntese (van Emden og Harrington, 2007).

Den væsentligste årsag til, at ferskenbladlusen betragtes som et økonomisk betydende skadedyr, er at de kan overføre mere end 100 forskellige slags plantevirus (van Emden et al., 1969; Blackman og Eastop, 2000). De overfører bl.a. kartoffelbladlulevirus og kartoffelvirus i læggekartofler samt virusgulsot i bederoer, som er nogle af de vigtigste virussygdomme i afgrøder i Danmark.

I dag og på landsplan skønnes udbyttetabet pga. bladlusoverført virusgulsot i bederoer at være lavt og sandsynligvis under 10% (Nielsen og Jensen, 2005). Det relative lave udbyttetab skyldes, at de fleste frø anvendt til udsæd af bederoer er bejdset med et systemisk insektmiddel (Gaucho WS 70, imidacloprid), der effektivt mindsker smittetrykket i år med tidlig indflyvning og høj forekomst af vingede ferskenbladlus. Hvis indflyvning først starter sidst i juli eller senere har det normalt lille udbyttmæssig betydning, da planterne er livskraftige og har opbygget en stor modstandskraft (Hansen, 1990 b).

Visse producenter i Jylland af især foderroer undlader i dag at bejdse udsæd, idet de ikke ønsker restriktioner på hvilke afgrøder der kan dyrkes i de efterfølgende år. Foderroer har betydelig mindre værdi end sukkerroer og et udbyttetab pga. virusgulsot vil således være mindre betydningsfuldt i foderroer end i højværdiafgrøden sukkerroe. Dette bevirker, at forekomst og dermed udbyttetab pga. virusgulsot på nuværende tidspunkt må forventes at være højere i Jylland end for områder som Sydsjælland, Falster og Lolland, hvor der primært dyrkes sukkerroer, og hvor vi skønner at alle frø bejdes med insekticid.

e. Virusgulsot i roer

Herhjemme findes to typer af virusgulsot; mild virusgulsot (BMYV) og almindelig virusgulsot (BYV). Den førstnævnte type er den mest udbredte og går under betegnelsen *persistent* type hvorimod BYV er *semipersistent*. De to betegnelser henfører til, hvor længe en vektor for virusset forbliver infektiv – denne periode er kortere for semipersistente end for persistente virustyper. Det er uhyre vanskeligt at skelne symptomerne på angrebne planter af disse to sygdomme, hvor selv blandingsinfektioner forekommer (Nielsen og Jensen, 2005; van Emden og Harrington, 2007).

Karakteristisk for BMYV er, at ferskenbladlus, der optager virus fra en inficeret plante er vektor for virus hele livet. Normalt tager det 24-48 timer fra en bladlus optager virus første gang til den permanent kan overføre virus til nye planter. Den relative lange latenstid i bladlusen skyldes, at det tager tid for virus at bevæge sig fra bladlusens tarm og frem til dens spytkirtel. Når først virus findes i spytkirtlen, vil risikoen for overførsel under fødesøgning på en ny plante være høj. En opholdstid på omkring 24 timer på en plante menes at være tilstrækkelig at bladlusen kan overføre virus til en ny plante (Nielsen og Jensen, 2005; van Emden og Harrington, 2007).

Ved almindelig virusgulsot BYV vil få sekunders fødeoptag på en inficeret plante være tilstrækkeligt til, at virus kan optages og indlejres i bladlusens yderste munddele. Den lille mængde af virus, der forekommer i spidsen af munddelene, er tilstrækkeligt inokulum til, at bladlusen kan inficere en ny roeplante (Uzest et al., 2010). Virus, der optages og aflejres i munddelene, går dog hurtigt til grunde – ofte inden for få timer; herfra begrebet *semipersistent*. Som en følge heraf menes bladlus kun at

være kortvarige smittebærere af BYV, og typisk vil virus kun kunne spredes over relative korte afstande. Udover ferskenbladlus vil mange andre bladlusarter såsom bedebbladlus (*Aphis fabae* Scopoli (Hemiptera: Aphididae) kunne overføre almindelig virusgulrot (Nielsen og Jensen, 2005; van Emden og Harrington, 2007).

Når først virus er inde i planten, vil det vaskulære system herunder phloemvævet angribes. Det er samtidig her, at ferskenbladlusen og andre bladlusarter indsætter deres stilet for optagelse af næringsstoffer. Inkubationstiden fra en plante er blevet inficeret med virusgulrot, og til den udviser symptomer på sygdommen, varierer. Unge planter udviser symptomer på sygdommen allerede efter ca. 12-14 dage, men ved ældre planter kan der gå op til 50 dage, før de første symptomer på sygdommen bliver synlige (Nielsen og Jensen, 2005). Alle bladlus, der efterfølgende indtager føde via phloemvævet fra disse planter, vil potentielt kunne inficeres og afhængig af virustype bringe smitten videre til andre planter.

Udbyttetab ved dyrkning af f.eks. bederoer pga. virusgulrot kan ligge imellem 30-40%, hvis der ikke foretages nogen form for bekæmpelse af ferskenbladlus, og især hvis virusgulrot overføres til unge planter tidligt på foråret (Hull, 1975; Hansen, 1990 a, b; Nielsen og Jensen, 2005). Når planterne har virus i vævet, kan der ikke behandles imod sygdommen. Det er derfor vigtigt at have styr på forekomst og antal af vingede ferskenbladlus i det tidlige forår og helst før såning af bederoer.

Der er kun tale om horisontal transmission af virusgulrot dvs. fra syge planter via ferskenbladlus og herfra videre til raske plante. Overførsel af virus fra bladlusmoder til dens afkom (vertikal transmission) er ikke registreret for denne plantesygdom (Duffus, 1977).

f. Spredning af ferskenbladlus

Når vingede ferskenbladlus forlader overvintringsstederne herunder roekulerne på lune forårsdage, typisk ved 13-14 °C samt svag vind (maj-juni), vil de starte med at flyve op imod vinden. Der er generel enighed, at de vingede bladlus er som "luft-plankton", og at de ikke er i stand til at retningsbestemme deres flyvning i nogen væsentlig grad (Cocu et al., 2005).

Store ensartede områder med f.eks. bederoer er selvsagt sandsynlige mål for disse emigrerende vingede individer fra især roekuler. Derfor er der i nogle geografiske områder som for eksempel Lolland, Falster samt Syd- og Vestsjælland, hvor den væsentligste hjemlige dyrkning af sukkerroer foregår, altid nyetablerede marker med roeplanter at finde for emigrerende ferskenbladlus.

Det er bemærkelsesværdigt, at hvis der skabes et tæt bladdække tidligt på året ved gode vækstbetingelser for de unge planter eller ved at øge plantetætheden, så reduceres antallet af vingede ferskenbladlus, der vælger at lande og dermed mindskes også graden af smitte med virusgulrot (van der Werf, 1988). Sandsynligvis tiltrækkes de vingede ferskenbladlus mere af de enkeltstående planter end af et sammenhængende bladdække.

En vinget ferskenbladlus, der lander på en bederoeplante, vil hurtigt søge om på undersiden af et ungt blad og her stikke sin stilet ind i plantevævet for at afgøre, om det er en egnet vært. Finder bladlusen værten egnet, vil den forblive på planten i 1-2 døgn og samtidig føde nogle få nymfer (van Emden et al., 1969). Herefter vil den igen forlade planten til fordel for en ny plante i samme mark eller en hel ny mark i nærheden. De producerede nymfer vil hurtigt vokse op og blive til uvingede voksne, der ved ukønnet formering fortsætter med at producere nye ferskenbladlus. Samtidig produceres der løbende vingede individer, som vil migrere og opsøge nye værtsplanter (den sekundære infektion).

Som allerede beskrevet er migration af overvintrende ferskenbladlus fra roekuler samt denne efterfølgende "hoppen" fra plante og til plante imellem marker og inden for en mark den primære årsag til virusgulsot i nyetablerede bederoemarker i Danmark. Angreb af virusgulsot i en roemark fremstår som spredte gullige uregelmæssige øer som en indikation på tilfældige nedslag af vingede bladlus samt bladlus, der har "hoppet" rundt til nye planter i marken. Ofte ses flest roeplanter inficeret med virusgulsot nær roekuler.

Vingede ferskenbladlus, der forlader ferskentræer i foråret, er ikke inficerede med virusgulsot, men eftersom mange af de vilde planter (sommerværter) menes latent at have virusgulsot (Heathcote og Cockbain, 1966), kan det tænkes, at disse vingede individer hurtigt bliver inficerede og dermed årsag til transmission af virus. For år med et stort antal migrerende ferskenbladlus fra fersken kan man forestille sig, at disse individer kan bidrage til et øget smittetryk af virusgulsot i bederoer. Det vides dog ikke om fersken udgør nogen væsentlig kilde for forårsmigrationen af ferskenbladlus herhjemme.

Under efterårets optag af roer og hermed etablering af roekuler for lagring vil individer af ferskenbladlusen følge med roerne og dermed er grundlaget lagt for virusoverførsel til den næste vækstsæson. Dels via roekoldene, der er inficerede med virusgulsot, og dels via de overvintrende ferskenbladlus.

Migrerende vingede vivipare ferskenbladlus, der lader sig transportere via varme og fugtige luftstrømme (jetstrømme) fra det nordlige- eller sydlige Europa, kan bringe et stort antal individer til landet. Normalt vil disse migrationer af ferskenbladlus forekomme i sensommeren og dermed være uden reel betydning for udbyttet af bederoeproduktionen (Nielsen og Jensen, 2005). Derimod kan det tænkes, at migrerende bladlus fra Sydeuropa, med deres forskellige grader af genetiske ophav og resistens over for bekæmpelsesmidler vil kunne påvirke resistensudviklingen (Bass et al. 2014; Hauer et al. 2017).

g. Populationsdynamik

Ferskenbladlusens populationsdynamik henover en vækstsæson er styret af mange faktorer, hvor konkurrencemæssige (intraspecifikke) forhold spiller ind: ændringer i plantens næringsværdi, gradvis ældning af unge planter og voksende populationstæthed. Derudover indvirker naturlige fjender som mariehøns, guldøjer, svirrefluer, snyltehvepse og forskellige sygdomme med en altafgørende og dominerende rolle for selve populationsreguleringen, hvor populationskollapset der kan observeres fra midt juli og frem i overvejende grad skyldes disse naturlige fjender. Dertil kommer, at

ferskenbladlusen i sensommeren øger produktionen af vingede afkom, hvorved emigration ligeledes influerer på populationskollapset (van Emden et al., 1969; Karley et al., 2003).

Anholocyklisk

På populationsniveau ved man kun lidt om, hvad der foregår i en roekule eller et andet overvintringssted i vintermånederne, men temperaturen spiller en afgørende rolle for, om ferskenbladlusen har mulighed at overleve samt opformer sig. Derudover kan det ikke udelukkes, at de naturlige fjender her spiller en langt vigtigere rolle i regulering af bladlusen end tidligere antaget.

En mild vinter betyder normalt en kraftig opformering af ferskenbladlus i roekuler. Dette viser sig tidligt på foråret ved tilstedeværelsen af mange vingede individer. Eftersom mange af disse vingede individer er inficerede med virusgulsot (Heathcote og Cockbain, 1966) og bladlusene samtidig er tidligt fremme, vil det primære smittetryk over for unge bederoeplanter være høj (Hansen, 1990 a, b). Modsat, hvis vinteren er lang og med hård frost, vil overlevelsen være lille og kun få emigrerende vingede og virusgulsot-inficerede individer forventes om foråret. I så fald vil de ferskenbladlus, som udvikles på fersken i forårs månederne måske være bestemmende for forekomst og smittetryk med virusgulsot i bederoer. På nuværende tidspunkt er dette dog spekulation og bør undersøges nærmere.

Holocyklisk

Ved den holocykliske udvikling (dvs. værtskifte mellem vintervært og sommervært) vil kolonisering af egnede ferskentæer i efteråret og produktionen af æg til overvintring bero på flere faktorer: antallet af emigrerende gynopare individer, der ankommer til fersken, er bestemt af forholdene på de forskellige sommerværter; om de aldrende blade på fersken har den rette næringsmæssige værdi for opbygning af et højt antal gynopare og senere ovipare individer; påvirkning fra de naturlige fjender; og ikke mindst påvirkning fra vejrforholdene (van Emden et al., 1969).

Tidligt løvfald af fersken grundet lave temperaturer og generelt dårlig vejr betyder høj dødelighed af de gynopare og ovipare individer og dermed en lille produktion af overvintrende æg. Selvom æg af ferskenbladlus er ekstremt kuldetolerante, vil dårlig vejr i foråret (kulde, regn og blæst), når æggene klækker til fundatrices, betyde stor dødelighed. I undersøgelser af overlevelsen af nyklækkede fundatrices, lå dødeligheden på > 40% og for enkelte undersøgelser endda nær de 100% (van Emden et al., 1969). År med enten høj dødelighed under kolonisering af fersken eller i foråret, når de overvintrende æg klækker, vil normalt resultere i markant færre emigrerende vingede vivipare individer end år, hvor udviklingsbetingelser har været optimale (van Emden et al., 1969). Det er dog muligt for ferskenbladlusen at kompensere for en tidlig høj forårsdødelighed, hvis vejret ændrer sig, og temperaturen stiger, idet de overlevende fundatrices vil kunne øge deres reproduktionsrate. Det er derfor en uhyre vanskelig opgave at forudsige populationsstørrelsen af vingede ferskenbladlus, der forlader fersken i foråret for at flyve ud og kolonisere sommerværter, heriblandt afgrøder som bederoer.

I de tidsmæssige populationsændringer (fænologi) udviser ferskenbladlusen et maksimum i antal individer i maj/juni måned på fersken, hvorefter der ses et drastisk fald pga. nedsat fekunditet og en

voksende emigration af vingede individer til sommerværter. På sommerværterne vil populations-tætheden atter bygges op og under normale forhold antage et maksimum midt juli måned, efterfulgt af endnu et kraftigt fald. Dette forårsaget af nedsat næringsværdi i sommerværterne og de naturlige fjender. Har ferskenbladlus mulighed for at kolonisere efterafgrøder vil man kunne se endnu en populationsstigning og et fald sidst på efteråret, når bladlusen danner vingede gynopare individer, der søger fersken for overvintring (Cocu et al., 2005).

3. Monitoring

a. Generelt

Monitoring- og varsling af sygdomme og skadedyr i landbrugs- og gartneriafgrøder er et altafgørende redskab til forebyggelse og bekæmpelse, så udbyttetab undgås eller minimeres. Monitoringsmetoder, der anvendes for at fastslå tilstedeværelsen af disse skadegørere og om en bekæmpelse er nødvendig, vil afhænge af mange faktorer, herunder alvorligheden af den pågældende sygdom eller skadedyr og planternes tolerance/modstandskraft.

Især er det vanskeligt at få valide data for populationstæthed udtrykt som f.eks. antal bladlus pr. plante, da prøvetagning af ferskenbladlus er arbejdskrævende og forbundet med høje omkostninger. Derfor er mange monitoringsmetoder baseret på relative mål for forekomst og aktivitet. Dertil kommer, at det med en fordoblingstid for ferskenbladlus på omkring 3-4 dage ved optimale temperaturer kan det være vanskeligt at opfange de hurtige forskydninger i individantal. Derudover skal der tages højde for de overlappende generationer, bladlusens polymorfe biologi med forskellige typer af individer på samme plante og ikke mindst påvirkningen og kompleksiteten af de mange interne- og eksterne faktorer.

I forbindelse med virusgulsot i bederoer, hvor ferskenbladlus er den væsentligste kilde til overførsel af virus og spredning af sygdommen, er den hjemlige skadetærskel, at hvis der observeres én ferskenbladlus, vil dette udløse anbefaling om bekæmpelse. Den lave tærskel beror også på at ferskenbladlus er ekstremt vanskelige at spotte på roeplanter og at de optræder meget spredte (Nielsen og Jensen, 2005). Der skal samtidig reageres hurtigt for at hindre sygdommen i at spredes via bladlusene – her har profylaktiske metoder f.eks. brug af systemiske insekticider været en effektiv løsning. For angreb af bedebladlus, der normalt forårsager direkte skade på bederoer ved deres fødeoptagelse, er der derimod en væsentligt højere skadetærskel, dvs. mange bedebladlus pr. plante, før bekæmpelse anbefales, hvorved der gives tid og mulighed for at fastlægge bekæmpelsesmetoden. Med et længere tidsperspektiv kan man også vælge andre metoder (såfremt de eksisterer) end de kemiske f.eks. biologisk bekæmpelse ved brug af snyltehvepse (Karley et al., 2003).

Set i et historisk lys og før indtoget af de computerstyrede simuleringsmodeller i 1990'erne monitorerede man herhjemme og i udlandet for ferskenbladlus i bederoer ved direkte inspektion af planter i udvalgte marker eller indirekte ved brug af f.eks. farvede fangbakker. Brug af disse metoder betød, at man kunne komme med anbefalinger til producenterne om nødvendigheden af bekæmpelse og derved mindske risikoen for udbrud af virusgulsot. Metoderne var og er stadig tidskrævende, og anbefalingerne, der fulgte, var ofte forbundet med stor usikkerhed, f.eks. kunne et stort udbrud af

virusgulsot i 1974 i Storbritannien på grund af gunstige overvintringsbetingelse for ferskenbladlus ikke forudsiges ved brug af disse simple metoder (Harrington et al., 1989; Qui et al., 2004). Derudover var det begrænset, hvor effektive de gængse bekæmpelsesmidler var til at bekæmpe ferskenbladlus, der typisk opholder sig på bladundersider.

Omkring 1990 kom de første effektive computerstyrede varslingsmodeller. Disse modeller inddrog bl.a. populationsdynamiske elementer som ferskenbladlusens udviklingstid, fekunditet, overlevelse, vækstrate, migration og naturlige fjender i relation til abiotiske faktorer som vind, temperatur og fugtighed. Især i Storbritannien var man langt med udviklingen af disse varslingsmodeller, hvor man kunne udregne en sandsynlighed for, om en vækstsæson ville blive et stort eller lille år for ferskenbladlus (baseret på stor eller lille vinteroverlevelse), og dermed om vektortrykket af vingede virusinficerede emigranter, der forlod vinterværten eller sommerværter, ville udgøre et økonomisk problem for producenterne (Harrington et al., 1989; Werker et al., 1998; Qi et al., 2004). Efterfølgende kunne det varsles, at opmærksomheden skulle rettes på ferskenbladlus.

Ingen varslingsmodel er dog bedre end de data, den fodres med, dvs. monitoring af ferskenbladlus i felten og deres prævalens med hensyn til hvor stor en procentdel, der er bærer af virusgulsot, er afgørende information (blandt mange andre) for validiteten af en modelforudsigelse. Forudgående monitoring af ferskenbladlus er derfor forudsætningen for en valid model.

b. Direkte monitoring af ferskenbladlus i bederoemark

Metoden er simpel, idet der tilfældigt i marken udvælges et antal planter, som hver undersøges for, om der på undersiden af udvalgte blade sidder vingede ferskenbladlus eller deres afkom. Alternativt vil man kunne optage udvalgte planter og bringe disse til et laboratorium for nærmere undersøgelse af bladlus. Monitoringen udføres i månederne april-juni, hvor planterne er meget modtagelige over for virusgulsot. Findes bare én ferskenbladlus, er dette normalt nok til at udløse en anbefaling om at foretage en bekæmpelse.

Metodens styrke ligger i, at der prøvetages direkte på planter, hvilket giver et øjeblikkeligt svar, om der er bladlus. Samtidig er det muligt at følge populationsudviklingen af bladlus over tid i marken og dermed indirekte sygdommens spredning. Den direkte og ikke-destruktive metode har dog flere indbyggede ulemper, idet der er stor usikkerhed forbundet med at lokalisere de grønne ferskenbladlus i en verden af grønne blade. Der er en risiko for at komme for sent i gang med prøvetagning, hvilket kan betyde, at vingede bladlus allerede har koloniseret store dele af marken og dermed overført virus til planterne. Mange planter skal prøvetages for at øge sikkerheden, hvilke er tidskrævende og omkostningstungt. Metodens troværdighed og præcision afhænger yderligere af personen, der observerer, og samtidig indbefatter metoden stor usikkerhed, når det handler om "ingen kolonisation af ferskenbladlus". Prøvetages der f.eks. 50 planter i en mark, som tidligere anbefalet i Danmark, ud af samlet 90.000 planter pr. ha, og der ikke findes ferskenbladlus, vil spørgsmålet stadig være åbent, om andre planter i marken er koloniserede (Hansen, 1990 b).

c. Indirekte monitoring i bederoemarken

Fangbakker med sulfovand, der dræber de insekter, som lander i bakken, giver et mål for den relative forekomst af forskellige arter af vingede bladlus, der søger ind i en afgrøde. Dette er en hurtig og robust metode. Ved brug af fangbakker har man mulighed for at få et direkte mål for forekomsten af de første vingede ferskenbladlus og dermed for hurtigt at kunne udsende en anbefaling om bekæmpelse til producenterne. Metoden anvendes i dag i forbindelse med dyrkning af kartofler til læggekartofler, hvor de første vingede ferskenbladlus i en fangbakke udløser en anbefaling om bekæmpelse. Flere faktorer har dog indflydelse på fangstsuccesen, herunder vindhastighed, fældernes placering i marken og fældernes farve, hvor gul normalt tiltrækker rigtig mange bladlus og derfor er den farve, der normalt anvendes i forbindelse med registrering af bladlus. Udover gule fangbakker har man i Storbritannien ved Rothamsted Research anvendt sugefælder for at kunne automatisere registreringerne. Her er det muligt at fange bladlus i forskellige højder. Sådanne sugefælder øger især antallet af individer, og man har yderligere mulighed for at registrere fangsttidspunkt og analysere for virus.

Fangbakker skal tilses enten dagligt eller på ugebasis, men ofte vil det være på ugebasis på grund af arbejdsmæssige og økonomiske forhold. Derved er der risiko for, at indflyvning af virulente vingede ferskenbladlus ikke bliver opdaget i tide, og at anbefaling om bekæmpelse kommer for sent.

d. Varsling ved simuleringsmodeller

Som tidligere beskrevet må det stadig forventes at overvintring af ferskenbladlus i bl.a. roekuler er den primære årsag til udbrud af virusgulsot i fremspirende bederoer i forårsmåneder herhjemme. Overlevelse af uvingede voksne og deres nymfer i roekuler er bestemt af vintertemperaturen, hvor kolde vintre med mange sammenhængende dage under 0 °C vil betyde lille overlevelse. På denne baggrund udviklede Hansen (Hansen, 1990b) en varslingsmodel baseret på et risikoindeks for udflyvning af vingede ferskenbladlus fra overvintrende roekuler. Modellen indeholder en graddagssum beregnet ud fra temperaturer under -0.3 °C (december – april) samt middeltemperaturen for maj og juni. Vingede bladlus begynder først at flyve fra vintervært eller andre overvintringssteder på dage med en middeltemperatur omkring 13-14 °C (Broadbent et al., 1949; Davis et al., 2006). Et risikoindeks nær eller over de 100 indikerer mange emigrerende ferskenbladlus og dermed stor risiko for udbrud af virusgulsot. Varslingsmodellen kom så vidt vides ikke i anvendelse, idet monitoringssystemet og de ressourcer, der skulle afsættes for opbygning varslingsssystemet, udeblev. Oveni begyndte man at bejdse med neonikotinoidet imidacloprid, der betød en effektiv bekæmpelse af ferskenbladlus og derfor næsten ingen udbyttetab på grund af virusgulsot.

I Storbritannien, hvor sukkerroer ligeledes er en meget vigtig højeværdiafgrøde, blev der op igennem 1990'erne, trods brugen af bejdning med neonikotinoide, arbejdet med at udvikle en robust varslingsmodel til forudsigelse af forekomst af de første vingede ferskenbladlus i foråret og mængden af disse emigrerende virulente individer (Qui et al., 2004). I denne model indgik også gradsummen af dage med temperaturer under -0.3 °C og gennemsnitstemperaturen i april. Derudover blev der monitoreret for populationsstørrelsen af ferskenbladlus i efterårsmånederne året forinden samt deres prævalens af virusgulsot (persistent og semipersistent virus).

Frem til i dag har alt frø været bejdsset i forbindelse med sukkerroeproduktion, på nær nogle få procent, og derved har brugen af en varslingsmodel været mere af forskningsmæssig end anvendt interesse. Kørsler med den engelske model udviklet af Qui et al. (2004) viser dog, at hvis man ikke havde bejdsset roefrø ville 8-11 alvorlige epidemiske virusgulsot angreb have fundet sted efter Storbritannien oplevede den alvorlige epidemi i 1974 (Qui et al., 2004). Brug af varslingsmodeller giver ikke 100% sikkerhed for et udbrud af virusgulsot. Den engelske model angives at give imellem 60-70% sikkerhed for en forudsigtelse (Qui et al., 2004), men sammenholdt med andre oplysninger omkring ferskenbladlusen, hvilken sort af sukkerroe der anvendes, management generelt, osv. vil en model af denne art være af stor strategisk værdi og relativt let vil kunne implementeres til at fungere under danske forhold.

Udfordringen omkring varslingsmodeller i forhold til brugen af bejdsning af roefrø med imidacloprid (her tænkes ikke på andre kemiske midler) er, at selvom man i dag med relativ stor sikkerhed kan forudsige om forekomst af vingede og virulente ferskenbladlus i forårsmånederne bliver høj eller lille, så foreligger varslingen sent og ofte først i marts måned. Eftersom landmændene bestiller frø adskillige måneder tidligere vil en modelforudsigtelse om f.eks. lille forekomst af vingede ferskenbladlus ikke betyde noget i forhold til landmandens valg af bejdsede frø.

4. Kemisk bekæmpelse og insekticidresistens

a. Bekæmpelse og resistens

Bekæmpelsen af ferskenbladlus har i mange afgrøder næsten udelukkende været baseret på anvendelse af kemiske insekticider. Den intensive anvendelse af insekticider førte hurtigt til udvikling af insekticidresistens. De første tilfælde af resistens rapporteredes allerede i 1950'erne, og der er nu rapporteret resistens over for de fleste klasser af insekticider, herunder organofosfater, carbamater, pyrethroider, cyclodiener og neonikotinoide. Ferskenbladlusen er et af de mest insekticidresistente skadedyr i verden: i en international resistensdatabase er der beskrevet 469 tilfælde, hvor resistens er påvist over for 80 forskellige insekticider (www.pesticideresistance.org).

Den molekylære baggrund for insekticidresistens i ferskenbladlusen er godt beskrevet. Der er beskrevet syv resistensmekanismer: 1) forøget produktion af E4/FE4 esterase, som fører til resistens over for organofosfater, mono-methyl carbamater og i mindre grad pyrethroider; 2) mutation (S431F) af acetylcholinesterase-enzymet, som resulterer i resistens over for dimethyl-carbamater; 3) mutationer (L1014F, M918T) af natriumkanal-proteinet, som giver resistens overfor pyrethroider; 4) mutation (A302G) af GABA-kloridkanal, som giver resistens over for cyclodiener; 5) forøget produktion af P450 CYP6CY3 afgiftningsenzymet, som giver resistens overfor nikotin og krydsresistens over for neonikotinoide; 6) nedsat optagelse gennem kutikulaen, som giver resistens overfor neonikotinoide; og 7) mutation (R81T) af nikotin-acetylcholin-receptor, som giver resistens over for neonikotinoide (Bass et al. 2014).

Ved bekæmpelse af ferskenbladlus i Danmark var resistens et stort problem tidligt i 1980'erne, især i sukkerroer og foderroer. Ferskenbladlusen havde udviklet krydsresistens mod alle de dengang anvendte insekticider, men resistensen var ikke fuldstændig. Den var især baseret på forøget

produktion af esterase, hvilke blev undersøgt i perioden 1986-93 (Hansen, 2004). Den følsomme fraktion af ferskenbladluspopulationerne udgjorde omkring 20-30% gennem hele undersøgelsesperioden, den svagt resistente fraktion faldt til ca. 33%, mens den stærkt resistente fraktion forøgedes gennem undersøgelsesperioden – mest som følge af kontinuert brug af insekticider. Den voksende fraktion af de stærkt resistente ferskenbladlus var iøjnefaldende især på sukkerroer, sandsynligvis fordi man her sprøjtede betydeligt mere end i foderroerne (Hansen, 1994). De resistente bladlus måtte betale en pris ved at være mere følsomme over for lave temperaturer, så kolde vintre reducerede bestanden af resistente ferskenbladlus mere end bestanden af de ikke-resistente (Foster et al., 2006).

Fremkomsten af neonikotinoidet imidacloprid i 1990erne anvendt som bejdsemiddel ændrede fuldstændigt på dette billede (Hansen, 2004). I løbet af få år var ferskenbladlusen stort set elimineret som et økonomisk problem i de danske sukkerroemarkeder og har frem til i dag ikke udgjort noget reel risiko. Anvendes systemiske neonikotinoide til bejdsning af bederoefrø, vil ferskenbladlusen være et ubetydeligt skadedyr i forbindelse med roeproduktionen i Danmark. Hvis muligheden for bejdsning med et neonikotinoid ikke længere er tilstede enten ved et forbud eller ved udvikling af resistens i ferskenbladlus, formodes det, at ferskenbladlusen i løbet af kort tid igen vil blive et betydeligt skadedyr, som man herefter skal tage stilling til at bekæmpe.

Nedenstående gennemgås resistensforholdene i ferskenbladlus over for de insekticidklasser, som potentielt anses for værende relevante for nuværende i Danmark. Status for resistens over for de forskellige insekticidklasser i Danmark er beskrevet i afsnit e, nedenfor, "Monitering af og status for resistens".

b. Carbamat-resistens hos ferskenbladlus

Carbamater, som binder til acetylcholinesterase-enzymet i synapsen og derved lammer og dræber insekter, har været anvendt til bekæmpelse af ferskenbladlus siden 1970erne. Der har været resistens over for visse carbamater siden 1980erne. Denne resistens skyldtes primært krydsresistens til organofosfater, som har den samme virkemekanisme og har været anvendt siden slutningen af 1940erne (Devonshire og Moores, 1982). Krydsresistensmekanismen for organofosfater og carbamater skyldes høj produktion af esteraser, som binder og nedbryder insekticiderne, således at de ikke når frem til angrebspunktet (target site).

I en periode på omkring 20 år fra 1970 var høj resistens overfor organofosfater og carbamater baseret på høj produktion af esteraser, men dimethylcarbamater-insekticider, f.eks. pirimicarb, viste sig stadig at være meget effektive (Foster et al., 2002). I løbet af 1990erne blev der også selekteret for resistens overfor pirimicarb. Denne resistensmekanisme betegnes MACE (Modified AcetylCholinEsterase) og er en mutation af angrebspunktet i acetylcholinesterase, hvor insekticidet binder og forårsager omkring 100X resistens overfor pirimicarb (Moores et al., 1994). Denne resistensmekanisme er genetisk dominerende, og resistente ferskenbladlus kan identificeres ved et mikrotiterplade acetylcholinesterase inhiberings-assay (IRAC 2018).

Historisk er begge mekanismer kendt fra Danmark og undersøgelser af højt esterase-niveau har været gennemført i 1980-90erne af Hansen (2004) som nævnt ovenfor.

Konkluderende er begge disse resistensmekanismer vidt udbredt i Europa og er afgørende for carbamat-resistensens udbredelse. I den danske situation er vi kun interesseret i pirimicarb-resistens, og her er kun MACE interessant, hvis der skal monitoreres og varsles for resistens, idet der ikke anvendes andre midler inden for denne gruppe.

c. Pyrethroid-resistens hos ferskenbladlus

Pyrethroider, som binder til og åbner natriumkanal-proteinet i nervecellerne og derved lammer og dræber insekter, har været anvendt til bekæmpelse af ferskenbladlus siden 1980erne. Der har været resistens over for pyrethroider siden 1990erne. Den høje esterase-produktion, som forårsager organofosfat- og carbamat-resistens, giver også et mindre niveau af resistens overfor pyrethroider. Høj pyrethroid-resistens i ferskenbladlus skyldes mutationer i pyrethroidernes angrebepunkt i nervecellerne (Martinez-Torres et al., 1999). Mutationerne (L1014F, M918T) af natriumkanal-proteinet giver generelt resistens overfor pyrethroider med en vis variation i resistensniveau afhængig af det specifikke insekticid. L1014F-mutationen betegnes kdr (knockdown resistance) og forårsager ca. 35X resistens til deltamethrin og, hvis esterase-resistensmekanismen også er tilstede, øges denne 15 gange til >500X resistens (Martinez-Torres et al., 1999). M918T-mutationen (super-kdr) findes sammen med kdr-mutationen og er i andre skadedyrarter kendt for at give en markant forøgelse af pyrethroid-resistensen, men det er endnu ikke afklaret, i hvor høj grad de forøger pyrethroid-resistensen hos ferskenbladlusen (Anstead et al., 2005; Eleftherianos et al., 2008). Enkelte andre mutationer, M918L, L932F og F979S, er fundet associeret med pyrethroid-resistens hos europæiske ferskenbladlus (Criniti et al., 2008; Fontaine et al., 2011). Betydningen af disse er endnu ikke klarlagt, hvilket peger på, at der sandsynligvis findes mere variation i natriumkanal-proteinet, end vi kender til.

Disse kdr- og super-kdr pyrethroid-resistens-mutationer er vidt udbredt i Europa og er afgørende for udbredelsen af høj pyrethroid-resistens hos ferskenbladlus over hele kontinentet (Anstead et al., 2005; Criniti et al., 2008; Fenton et al., 2010; Fontaine et al., 2011; Roy et al., 2012; Panini et al., 2014, 2015; Voudouris et al., 2015). Mutationernes tilstedeværelse er også for nylig bekræftet fra Skandinavien, hvor de i Norge er fundet både på friland og i væksthuse (Johansen et al., 2017) og fra roermarker i Danmark (ikke publiceret, se afsnit e).

I de fleste pyrethroid-resistente skadedyrarter er det vist, at kdr- og super-kdr-mutationerne nedarves recessivt, dvs. der observeres ringe eller ingen resistens i heterozygoter (Davies et al., 2007). Dette gælder ikke for ferskenbladlus, hvor heterozygoter alle viser resistens over for pyrethroider (Eleftherianos et al., 2008; Fontaine et al., 2011).

d. Neonikotinoid-resistens hos ferskenbladlus

Neonikotinoide binder til nikotin-acetylcholin-receptoren i synapsen og lammer og dræber dermed insekter. De har været anvendt til bekæmpelse af ferskenbladlus siden 1990erne med stor succes (Hauer et al., 2017). Der har været resistens over for neonikotinoide i ferskenbladlus siden slutningen

af 2000erne. Resistens overfor neonicotinoider hos en klon indsamlet fra tobak i Grækenland er blevet kortlagt til en kombination af nedsat optagelse gennem kutikulaen og enzymatisk nedbrydning af et P450-enzym (CYP6CY3) (Puineau et al., 2010; Bass et al., 2013). Det lader dog ikke til, at denne mekanisme, som giver et moderat niveau af resistens, har relevans udover for *Myzus*-kloner tilpasset tobak.

En anden resistensmekanisme blev identificeret i en klon fra det sydlige Frankrig i 2009. Denne klon havde forhøjet niveau af CYP6CY3, men der blev også identificeret en mutation (R81T) i nikotinacetylcholinreceptoren (nAChR) (Bass et al., 2011; Slater et al., 2011). Denne mutation i neonicotinoideangrebepunkt har en stærk påvirkning af effektiviteten af neonicotinoider og forårsager krydsresistens til insekticidklasserne sulfoxaminer og butenolider (Bass et al., 2014). Det viste sig at nAChR R81T-mutationen var vidt udbredt i områder med ferskendirksomhed i Italien (Panini et al., 2014) og i mindre grad i Grækenland, men resistensen er stigende og udbreder sig mere (Voudouris et al., 2015, 2017).

Neonicotinoider har i de sidste mange år været meget effektive og meget anvendt til bekæmpelse af ferskenbladlus i hele Europa – og der har været stor frygt for, at mutationen skal sprede sig længere mod nord. Udviklingen af resistens er blevet fulgt af IRAC (Insecticide Resistance Action Committee), som årligt har udgivet status for R81T-mutationens udbredelse og anbefalinger vedr. resistensmanagement. Den seneste status er fra 2019, hvor ferskenbladlus med R81T-mutationen anføres at findes og spredes yderligere i frugtplantager i Frankrig, Spanien, Italien, Grækenland, Marokko og Tunesien. I de sidste par år er der også blevet fundet resistente kloner i flere drivhuse og markgrøntsager i det sydlige Europa og senest er ferskenbladlus med nAChR-R81T-mutationen fundet i Belgien i væksthusrøntsager (IRAC IRM Guideline, 2019).

e. Monitering af og status for resistens

Der er rapporter om udbredt resistens hos ferskenbladlus overfor mange forskellige insektmidler i Europa, men vi kender ikke status for dette i Danmark. I bederoer har der tidligere været fundet resistens hos ferskenbladlus over for organofosfater, carbamater og pyrethroider, men dette ligger tilbage i 1980-90erne.

Den seneste undersøgelse, vi kender til fra det nordlige Europa, omfatter nogle få populationer fra Danmark, Holland og Belgien indsamlet i 2016 (data kommer fra Nordic Beet Research og Bayer CropScience og er ikke publiceret). Resultaterne peger på, at det vil være en dårlig ide at anvende pyrethroider til bekæmpelse af ferskenbladlus i Danmark, hvorimod pirimicarb og imidacloprid formodes at have en god effekt.

For at danne sig et overblik over resistens skal man analysere en række populationer med bioassay. Der er udviklet standard-bioassay af Insecticide Resistance Action Committee (IRAC), som anvendes globalt og gør det muligt at sammenligne data over både tid og geografi. Metoderne "IRAC Susceptibility Test Method 1A, 1B, 19" analyserer for organofosfat-, carbamat-, pyrethroid- og neonicotinoide-resistens ved at teste effekten af insekticiderne på ferskenbladlus (IRAC, 2019).

Når man med et bioassay har beskrevet fænotyperne, kan det i forbindelse med resistens management være en fordel, at have et kendskab til de bagvedliggende resistensmekanismer, det vil sige resistens-genotypen. Der er ovenfor redegjort for en lang række punkt-mutationer, som kan monitoreres ved hjælp af molekylære analysemetoder (TaqMan, pyrosequencing, RFLP, PASA-PCRs, QSGG), og som varierer en del i pris og krav til laboratoriefaciliteter (Anstead et al., 2004; Criniti et al., 2008; Roy et al., 2012; Puinean et al., 2013; Panini et al., 2014; Voudouris et al., 2015; Puggioni et al., 2017).

Sammensætningen af de forskellige resistens-genotyper er meget afgørende for de resistens-fænotyper, der findes, og hvordan man skal implementere en resistenshandlingsplan (Feyereisen et al., 2015). For eksempel, hvis tilstedeværelsen af resistente genotyper er stabil, men deres frekvens er lav, indtil der anvendes insekticider, vil dette indikere, at de resistente individer har lavere fitness, dvs. klarer sig dårligere, når der ikke er insekticider tilstede (Fenton et al., 2010; van Emden et al., 2014). Det er også bemærkelsesværdigt for tempererede forhold, at resistente ferskenbladlus har større mortalitet om vinteren end følsomme individer (Foster et al., 2006), og der er også observeret forskelle i adfærd over for snyltehvepse mellem resistente og følsomme ferskenbladlus, hvor følsomme individer har en adfærd, der fremmer deres overlevelse (Foster et al., 2007). Hvilken betydning disse fitness-omkostninger ved resistens har for det generelle resistensniveau i Danmark, er uklart.

Vi har ikke kendskab til, hvilke resistens-fænotyper og -genotyper der findes i Danmark, og hvordan de er kombineret ud over den lille undersøgelse i 2016, som er nævnt oven for. Andre steder i Europa, hvor ferskenbladlusen er et mere betydende skadedyr, har man fulgt udviklingen. Der har for eksempel i Frankrig i 2000'erne været et markant skifte i sammensætningen af genotyper som var pyrethroid-resistente og pirimicarb-følsomme til pyrethroid-resistente og pirimicarb-resistente (Roy et al., 2012).

På et mere overordnet niveau har en større molekylærøkologisk analyse af kdr (pyrethroid-resistens) og R81T (pirimicarb-resistens) samt otte meget varierende mikrosatellit markører vist, at tilpasning til insekticider for ferskenbladlus på ethvert givet sted kan føre til svigt i bekæmpelsen af ferskenbladlus andre steder. Der er en meget stor spredningsevne af både skadedyr og resistensmekanismer, som gør bekæmpelsen af ferskenbladlus meget besværlig og kan kræve løbende beslutninger og ændring af bekæmpelsesstrategier (Monti et al., 2016).

5. Konklusion

Ferskenbladlusen er et væsentlig skadedyr, som forårsager tab i landbruget over hele verden primært som vektor for en række virus. Ferskenbladlusens betydning som skadedyr i produktionen af sukkerroer har været ubetydelig, siden man i 1990'erne begyndte at bejdse roefrø med neonikotinoide. Det vurderes at ferskenbladlusen igen vil blive et betydeligt skadedyr, som overfører virusgulrot til bederoer, hvis den ikke kan bekæmpes effektivt. Før ny viden fremkommer, er emigrerende vingede ferskenbladlus fra roekuler, der ikke er fjernet inden foråret, stadig den

væsentligste kilde til den primære infektion med virusgulsot i bederoemarker i Danmark. Betydningen af vingede ferskenbladlus fra andre overvintringslokaliteter er ikke kendt.

Monitering- og varsling af ferskenbladlus er et altafgørende redskab til forebyggelse og bekæmpelse, så udbyttetab undgås eller minimeres. En robust varslingsmodel efter tilpasninger til danske forhold med hensyn til ferskenbladlusens biologi, overvintring og dyrkning af bederoer generelt kunne bidrage til et varslingsystem af virusgulsot i bederoer. Før en sådan model for varsling er operativ vil det dog kræve yderligere forskning i ferskenbladlusens biologi med henblik på f.eks. at få afdækket overvintringssteder for ferskenbladlus i Danmark.

Den intensive anvendelse af insekticider til bekæmpelse af ferskenbladlus har ført til udvikling af insekticidresistens. Der er rapporter om udbredt resistens hos ferskenbladlus overfor mange forskellige insektmidler i Europa, men vi kender ikke status for dette i Danmark. Med vores nuværende kendskab ser det ud til at det vil være en dårlig ide at anvende pyrethroider til bekæmpelse af ferskenbladlus i Danmark, hvorimod andre godkendte midler mod bladlus formodes at have en god effekt.

Referencer

- Anstead JA, Williamson MS, Eleftherianos I, Denholm I (2004). High-throughput detection of knockdown resistance in *Myzus persicae* using allelic discriminating quantitative PCR. *Insect Biochem Mol Biol* 34: 871-877.
- Anstead JA, Williamson MS, Denholm I (2005). Evidence for multiple origins of identical insecticide resistance mutations in the aphid *Myzus persicae*. *Insect Biochem Mol Biol* 35: 249-256.
- Bass C, Puinean AM, Andrews MC, Culter P, Daniels M, Elias J, Paul VL, Crossthwaite AJ, Denholm I, Field LM, Foster SP, Lind R, Williamson MS, Slater R (2011). Mutation of a nicotinic acetylcholine receptor b subunit is associated with resistance to neonicotinoid insecticides in the aphid *Myzus persicae*. *BMC Neurosci* 12: 51.
- Bass C, Zimmer CT, Riveron JM, Wilding CS, Wondji CS, Kausmann M, Field LM, Williamson MS, Nauen R (2013). Gene amplification and microsatellite polymorphism underlie a recent insect host shift. *Proc Natl Acad Sci USA* 110: 19460-19465.
- Bass C, Puinean AM, Zimmer CT, Denholm I, Field LM, Foster SP, Gutbrod O, Nauen R, Slater R, Williamson MS (2014). The evolution of insecticide resistance in the peach potato aphid, *Myzus persicae*. *Insect Biochem Mol Biol* 51: 41-51.
- Blackman RL, Eastop VF (2000). *Aphids on the World's crops, an identification and information guide*, 2nd ed. John Wiley & Sons Ltd, Chichester, UK.

- Broadbent L, Cornford CE, Hull R, Tinsley TW (1949). Overwintering of aphids, especially *Myzus persicae* (Sulzer) in root clamps. *Ann Appl Biol* 36: 513-524.
- Capinera JL, (2001) Handbook of vegetable pests. Academic Press, San Diego, CA, 729 pp.
- Cocu N, Harrington R, Rounsevell DA, Worner SP, Hulle M (2005). Geographical location, climate and land use influences on the phenology and numbers of the aphid, *Myzus persicae*, in Europe. *J Biogeogr* 32: 615-632.
- Criniti A, Mazzoni E, Cassanelli S, Cravadi P, Tondelli A, Bizzaro D, Manicardi GC (2008). Biochemical and molecular diagnosis of insecticide resistance conferred by esterase, MACE, kdr and super-kdr based mechanisms in Italian strains of the peach potato aphid, *Myzus persicae* (Sulzer). *Pestic Biochem Physiol* 90: 168-174.
- Davies TGE, Field LM, Usherwood PNR, Williamson MS (2007). DDT, pyrethrins, pyrethroids and insect sodium channels. *IUBMB Life* 59: 151-162.
- Davis JA, Radcliffe EB, Ragsdale DW (2006). Effects of high and fluctuating temperatures on *Myzus persicae* (Hemiptera: Aphididae). *Environ Entomol* 35: 1461-1468.
- Devonshire AL, Moores GD (1982). A carboxylesterase with broad substrate specificity causes organophosphorus, carbamate and pyrethroid resistance in peach-potato aphids (*Myzus persicae*). *Pest Biochem Physiol* 18: 235-246.
- Dixon AFG (1985). Aphid ecology. Blackie, Glasgow & London, UK, 157 pp.
- Duffus JE (1977). Aphids, viruses, and the yellow plague. In: Aphids as virus vectors by Harris KE og Maramorosch K. Academic Press, London pp. 559.
- Eleftherianos I, Foster SP, Williamson MS, 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). *Bull Ent Res* 98: 183-191.
- Fenton B, Margaritopoulos JT, Malloch GL, Foster SP (2010). Micro-evolutionary change in relation to insecticide resistance in the peach-potato aphid, *Myzus persicae*. *Ecol Entomol* 35 (Suppl 1): 131-146.
- Feyereisen R, Dermauw W, Van Leeuwen T (2015). Genotype to phenotype, the molecular and physiological dimensions of resistance in arthropods. *Pestic Biochem Physiol* 121: 61-77.
- Fontaine S, Caddoux L, Brazier C, Bertho C, Bertolla P, Micoud A, Roy L (2011). Uncommon associations in target resistance among French populations of *Myzus persicae* from oilseed rape crops. *Pest Manag Sci* 67: 881-885.

- Foster SP, Denholm I, Devonshire AL (2002). Field-simulator studies of insecticide resistance to dimethylcarbamates and pyrethroids conferred by metabolic and target site-based mechanisms in peach-potato aphids, *Myzus persicae* (Hemiptera: Aphididae). *Pest Manag Sci* 58: 811-816.
- Foster SP, Harrington R, Devonshire AL, Denholm I, Devine GJ, Kenward MG, Bale JS (2006). Comparative survival of insecticide-susceptible and resistant peach-potato aphid, *Myzus persicae* (Sulzer) (Hemiptera: Aphididae) in low temperature field trials. *Bull Ent Res* 86: 17-27.
- Foster SP, Tomiczek M, Thompson R, Denholm I, Poppy G, Kraaijeveld AR, Powell W (2007). Behavioural side-effects of insecticide resistance in aphids increase their vulnerability to parasitoid attack. *Anim Behav* 74: 621-632.
- Hansen LM (1990a). Ferskenbladlus I bederoer. Grøn Viden, Landbrugsministeriet, Statens Planteavlfsforsøg. 52: 1-6.
- Hansen LM (1990b). Overwintering of peach-potato aphid and severity of attacks in sugar beet in relation to winter and spring temperature. *J Appl Ent* 110: 194-197.
- Hansen LM (1994). Insekticidresistente ferskenbladlus. Statens Planteavlfsforsøg rapport 7: 187-191.
- Hansen LM (2004). Insekticidresistens – status. *Mark*. Januar 2004: 46.
- Harrington R, Dewar AM, George B (1989). Forecasting the incidence of virus yellows in sugar beet in England. *Ann Appl Biol* 114: 459-469.
- Hauer M, Hansen AL, Manderyck B, Olsson Å, Raaijmakers E, Hanse B, Stockfisch N, Märländer B (2017). Neonicotinoids in sugar beet cultivation in Central and Northern Europe: Efficacy and environmental impact of neonicotinoid seed treatments and alternative measures. *Crop Protec* 93: 132-142.
- Heathcote GD og Cockbain AJ (1966). Aphids from mangold clamps and their importance as vectors of beet virus. *Ann Appl Biol* 57: 321-336.
- Heie OE (1990). Aphids in Denmark in the spring following the mild winter 1988-89. *Ent Medd* 57:173-175.
- Heie OE, (2004). Bladlus 1 og 2, Danmarks Fauna, Danmarks Naturhistoriske Forening, København. Bind 87.
- Hull R (1975). Virus yellows in 1974. *British Sugar Beet Review* 42: 16-17.
- IRAC (2018). Major mechanisms of insecticide resistance in green peach aphid *Myzus persicae* Sulzer (poster July 2018). <https://www.irc-online.org/pests/myzus-persicae/> Visited 25-09-2019.
- IRAC (2019). Test methods. <https://www.irc-online.org/pests/myzus-persicae/> Visited 23-10-2019.

- IRAC IRM Guideline (2019). Resistance management guideline for controlling R81T target site resistant *Myzus persicae* populations, IRAC SPWG, 2019. <https://www.irc-online.org/pests/myzus-persicae/> Visited 25-09-2019.
- Johansen NS, Asalf B, Eikemo H, Ficke A, Herrero M, Le VH, Netland J, Ringselle B, Schjøll AF Stensvand A, Strømeng GM (2017). Plantevernmiddelresistens i norske jord- og hagebrukskulturer. NIBIO Rapport Vol 3, no. 150.
- Karley AJ, Pitchford JW, Douglas AE, Parker WE, Howard JJ (2003). The cause and processes of the mid-summer population crash of the potato aphids *Macrosiphum euphorbiae* and *Myzus persicae* (Hemiptera: Aphididae). Bull Ent Res 93: 425-437.
- Liu SS og Meng XD (1999) Modelling development time of *Myzus persicae* (Hemiptera: Aphididae) at constant and natural temperatures. Bull Ent Res 89: 53-63.
- Martinez-Torres D, Foster SP, Field LM, Devonshire AL, Williamson MS (1999). A sodium channel point mutation is associated with resistance to DDT and pyrethroid insecticides in the peach-potato aphid, *Myzus persicae* (Sulzer) (Hemiptera: Aphididae). Insect Mol Biol 8: 339-346.
- Monti V, Loxdale HD, Cesari M, Frattini M, Panini M, Mazzoni E, Manicardi GC (2016). Ecological genetics of Italian peach-potato aphid (*Myzus persicae*) populations in relation to geography, dispersal and insecticide resistance as studied using microsatellite and resistance markers. Agri Forest Entomol 18: 376-389.
- Moores GD, Devine GJ, Devonshire AL (1994). Insecticide-insensitive acetylcholinesterase can enhance esterase-based resistance in *Myzus persicae* and *Myzus nicotianae*. Pest Biochem Physiol 49: 114-120.
- Nielsen GC og Jensen JP (2005). Markens sygdomme og skadedyr. Dalum Landbrugsskoles Forlag. 343 pp.
- 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 Manag Sci 70: 931-938.
- Panini M, Anaclerio M, Puggioni V, Stagnati L, Nauen R, Mazzoni E (2015). Presence and impact of allelic variations of two alternative s-kdr mutations, M918T and M918L, in the voltage-gated sodium channels of the green peach aphid *Myzus persicae*. Pest Manag Sci 71:878-884.
- Puggioni V, Chiesa O, Panini M, Mazzoni E (2017). Qualitative Sybr Green real-time detection of single nucleotide polymorphisms responsible for target-site resistance in insect pests: the example of *Myzus persicae* and *Musca domestica*. Bull Ent Res 107: 96-105.

- Puinean AM, Foster SP, Oliphant L, Denholm I, Field LM, Millar NS, Williamson MS, Bass C (2010). Amplification of a cytochrome P450 gene is associated with resistance to neonicotinoid insecticides in the aphid *Myzus persicae*. *PLoS Genet* 6: e1000999.
- Puinean AM, Elias J, Slater R, Warren A, Field LM, Williamson MS, Bass C (2013). Development of a high-throughput real-time PCR assay for the detection of the R81T mutation in the nicotinic acetylcholine receptor of neonicotinoid-resistant *Myzus persicae*. *Pest Manag Sci* 69: 195-199.
- Qui A, Dewar AM, Harrington R (2004). Decision making in controlling virus yellows of sugar beet in the UK. *Pest Manag Sci* 60: 727-732.
- Roy L, Fontaine S, Caddoux L, Micoud A, Simon JC (2012). Dramatic changes in the genotypic frequencies of target insecticide resistance in French populations of *Myzus persicae* (Hemiptera: Aphididae) over the last decade. *J Econ Entomol* 106: 1838-1847.
- Schöll SE og Daiber CC (1958). Notes on the occurrence of holocyclic over-wintering of the green peach aphid in South Africa. *J Entomol Soc S Africa* 21: 315-322.
- Slater R, Paul VL, Andrews M, Garbay M, Camblin P (2011). Identifying the presence of neonicotinoid resistant peach-potato aphid (*Myzus persicae*) in the peach growing regions of southern France and northern Spain. *Pest Manag Sci* 68: 634-638.
- Uzest MD, Gargani A, Dombrovsky C, Cazevieille DC, Blanc S (2010). The “acrostyle”: A newly described anatomical structure in aphid stylets. *Arthropod Structure and Development* 39: 221–229.
- van Emden HF, Eastop VF, Hughes RD, Way MJ (1969). The Ecology of *Myzus persicae*. *Ann Rev Entomol* 14: 197-270.
- van Emden HF, Harrington R (2007). *Aphids as Crop Pests*. CABI, 717 p
- van Emden HF, Foster SP, Field LM (2014). Poor survival on an artificial diet of two genotypes of the aphid *Myzus persicae*: a fitness cost of insecticide resistance? *Agri For Entomol* 16: 335-340.
- van der Werf W (1988). Yellowing viruses in sugar beet: epidemiology and damage. PhD thesis. Wageningen Agricultural University, the Netherlands pp. 153.
- Voudouris CC, Kati AN, Sadikoglou E, Williamson MS, Skouras PJ, Dimotsiou O, Georgiou S, Fenton B, Skavdis G, Margaritopoulos JT (2015). Insecticide resistance status of *Myzus persicae* in Greece: long-term surveys and new diagnostics for resistance mechanisms. *Pest Manag Sci* 72: 671-683.
- Voudouris CC, Williamson MS, Skouras PJ, Kati AN, Sahinoglou AJ, Margaritopoulos JT (2017). Evolution of imidacloprid resistance in *Myzus persicae* in Greece and susceptibility data for spirotetramat. *Pest Manag Sci* 73: 1804-1812.

Werker AR, Dewar AM, Harrington R (1998). Modelling the incidence of virus yellows in sugar beet in the UK in relation to numbers of migrating *Myzus persicae*. J Appl Ecol 35: 811-818.