

EU-lande i fælles front mod kartoffelskimmel

Hvis der er rådne kartofler i den nyindkøbte pose, har kartoflerne med stor sandsynlighed kartoffelskimmel – en alvorlig plantesygdom, som skyldes angreb af mikroorganismen, *Phytophthora infestans*. En ny type kartoffelskimmel har bredt sig i Europa, og det giver nye smitteveje og øget pres mod resistente kartoffelsorter. Hvis udbyttetab og sprøjtemiddelforbrug skal begrænses, er det nødvendigt at følge og forstå ændringer i den måde kartoffelskimmel opfører sig på og at udvikle nye resistente kartoffelsorter. Et fælles EU-projekt ved navn Eucablight samler trådene.

Af Jens Grønbech Hansen og Poul Lassen, Danmarks JordbrugsForskning, Afd. for Jordbrugsproduktion og Miljø, Bent J. Nielsen og Lars Bødker, Afd. for Plantebeskyttelse og Skadedyr, Hanne Grethe Kirk, Landbrugets Kartoffelfond og Inga C. Bach, Planteforskning.dk.

Da kartofflen blev indført til Europa i 1500-tallet, undgik man tilsyneladende at få kartoffelskimmel med, og i en lang årrække kunne europæiske bønder derfor dyrke kartofler uden at bekymre sig om denne plantesygdom. I begyndelsen af 1800-tallet blev der indført inficerede kartoffelknolde til Europa, og kartoffelskimmel bredte sig epidemisk til de europæiske kartoffelmarker. Det gik hårdt ud over store dele af Europas befolkning. Især i Irland blev det fatalt. Her var den fattige landbefolkning helt afhængig af kartofler som basiskost, og da høsten fejlede, udbrød der en voldsom hungersnød (The Irish Potato Famine).

Begrænsning af skimmel med kemiske midler

I dag kan de skader, som forårsages af kartoffelskimmel begrænses med sprøjtemidler. De kemiske midler, som kartoffelavlere har til rådighed, kan ikke slå den sygdomsfremkaldende mikroorganisme *Phytophthora infestans* ihjel, men nye infektioner kan forhindres. For at undgå skimmelangreb skal der sprøjtes forebyggende, når der er risiko for infektion.

Skimmel kan forveksles med andre kartoffelsygdomme, som enten har begrænset betydning eller skal behandles med et andet sprøjtemiddel. Derfor er det vigtigt at kende symptomerne. Se figur 1.

Der kommer kartoffelskimmel hvert år i Danmark, men det varierer fra år til år, hvor tidligt på sæsonen *P. infestans* etablerer sig. Kartoffelavlere og konsulenter landet over holder derfor udkig efter årets første skimmelangreb. Skimmelen opformerer, når vejret er både varmt og fugtigt.



Figur 1. Bladet til venstre har bladpletsyge (*Alternaria solani*) med små, skarpt afgrænsede pletter. Bladet til højre har skimmel (*Phytophthora infestans*) med store, diffuse pletter med hvid kant, som består af sporer. Bemærk, at der er to pletter på samme småblad. Hvis disse to pletter skyldes infektion med forskellige paringstyper, vil der kunne dannes oosporer i bladet.

Det til tider ustadige danske sommervejr betyder, at der kan være lange perioder med "skimmelvejr". Løbende målinger af luftfugtighed og temperatur på en række lokaliteter sammenholdes med vejrudsigten, og der udsendes varsling om skimmelvejr via hjemmesiden <http://www.planteinfo.dk>. På trods af varslingsystemer, som hjælper kartoffelavlere

til kun at sprøjte, når det er nødvendigt, bliver en dansk kartoffelmark sprøjtet i gennemsnit syv gange i løbet af en sommer. For at opnå bedst mulig beskyttelse med mindst muligt sprøjtemiddel er der udført markforsøg, hvor bl.a. dosis og sprøjteintervaller er optimeret. Se figur 2.

Ny skimmelse i Europa

Kønnet formering af den sygdomsfremkaldende organisme *Phytophthora infestans* kræver, at to forskellige parringstyper er til stede. Se faktaboks. I ca. 135 år (1845 - 1980) fandtes kun én parringstype (A1) i Europa, og *P. infestans* kunne kun gennemføre den ukønnede del af sin livscyklus.

I begyndelsen af 1980'erne kom der en ny population (bestand) af *P. infestans* til Europa. Denne population indeholdt både parringstype A1 og A2. Dermed fik *P. infestans* mulighed for kønnet formering, og det gav både



Figur 2. Afprøvning af forskellige sprøjtemidler til bekæmpelse af kartoffelskimmel.

Faktabox.

Kartoffelskimmel forårsages af en mikroorganisme ved navn *Phytophthora infestans*. Umiddelbart ligner infektioner på kartoffelblade et svampeangreb, men den sygdomsfremkaldende organisme (patogen) er ikke en svamp.

Slægtskab

Phytophthora infestans tilhører en gruppe organismer, som betegnes oomyceter eller ægsporesvampe. Tidligere var oomyceter klassificeret som svampe, men nærmere analyse afslørede store forskelle mellem oomyceter og ægte svampe. For eksempel består oomyceters cellevægge fortrinsvis af cellulose, mens ægte svampes cellevægge består af kitin. Desuden er oomyceter diploide (to kromosomsæt) i den vegetative form (den mycelielignende vækst) i modsætning til svampe, hvis mycelium består af haploide (ét kromosomsæt) celler.

P. infestans er tættere beslægtet med brunalger end med de ægte svampe, og oomyceterne regnes nu for at høre til et rige (Chromista) for sig selv. Chromista er tilsyneladende en uafhængig evolutionær linie, som udspringer fra den samme fælles forfader som planter, svampe og dyr. Læs om Chromista her: <http://www.ucmp.berkeley.edu/chromista/chromista.html>.

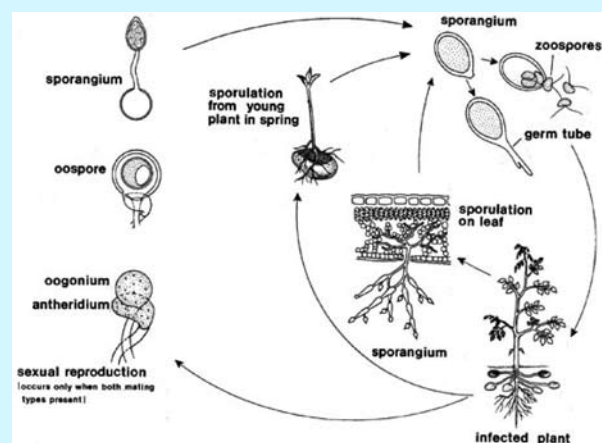
Livscyklus

P. infestans kan formere sig ved både kønnet og ukønnet formering, men det er den ukønnede formering, der er årsag til epidemisk sygdomsudvikling. *P. infestans* danner store mængder smitstof i form af sporangier, som sidder som små citroner på forgrenede træer (*sporangiophorer*) på undersiden af inficerede blade.

Sporangierne er følsomme for solens ultraviolette stråler og dannes fortrinsvis om natten. En lummervarm sommernat, måske med en tordenbyge giver optimale betingelser for dannelse af sporangier, men frigørelsen sker først, når luftfugtigheden falder. Sporangierne kan spredes med vinden, og selvom mange går til grunde under transporten, overlever enkelte sporangier transport over lange afstande (op til 60 km). Chancen for over-

levelse er dog langt større hvis de spredes med vanddråber fra plante til plante. Hvert sporangium frigør 5-7 zoosporer, som kan inficere bladet i løbet af 4 timer, men kun hvis de befinder sig i en dråbe vand.

Den ukønnede livscyklus kan i varmt vejr fuldføres på kun fire dage, hvorefter næste generation af sporangier dannes. I fugtigt vejr skylles sporangierne af bladene og trænger ned i jorden til knoldene, hvor de kan inficere de nydannede knolde.



Der findes ikke hankøn og hunkøn af *P. infestans*, men der findes to parringstyper, A1 og A2. For at der kan ske kønnet formering skal det samme blad inficeres med begge parringstyper. Når de inficerede områder på bladet vokser sammen kan der dannes oosporer.

Der dannes langt færre oosporer end sporangier, og oosporer spiller derfor ikke samme rolle for udvikling af en epidemi. Til gengæld er oosporer langt mindre følsomme for lys og udtørring end sporangierne. De har tykke cellevægge og kan overleve i op til fire år i jorden uden værtsplanter.

Der findes enkelte isolater af *P. infestans*, som er selvfrugtbare og i stand til at danne oosporer uden en anden parringstype, men der er endnu ikke fundet selvfrugtbare isolater i Danmark.

øget tilpasningsevne og nye muligheder for spredningen af smitte.

Ved kønnet forering kombineres generne fra to individer af *P. infestans*. Det giver større genetisk variation end ved ukønnet forering og dermed også en bedre evne til at tilpasse sig til resistente kartoffelsorter og til at udvikle tolerance overfor bestemte sprøjtemidler.

Ved ukønnet forering dannes store mængder smitstof i form af sporangier (Se figur 3), og spredning af dem kan føre til en epidemisk sygdomsudvikling. Når sporangierne lander i frit vand på bladene frigøres 5-7 zoosporer, som inficerer planten. Sporangierne overlever kun få timer i solskinsvejr, og op til nogle uger i jorden. Ved ukønnet forering er *P. infestans* derfor afhængig af, at smitten overføres til næste sæson via inficerede knolde.

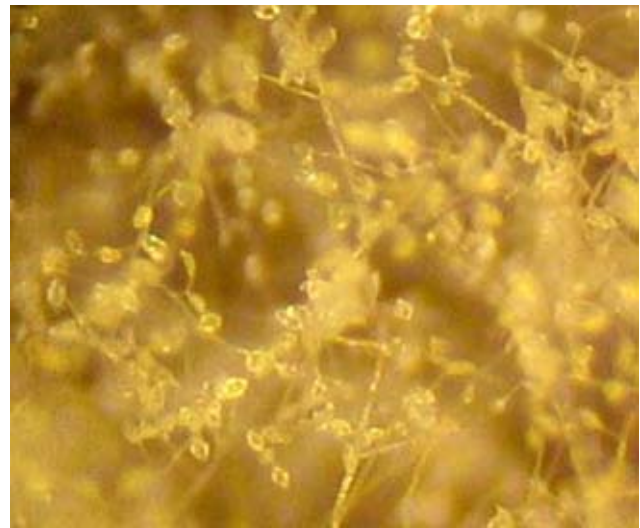
Ved kønnet forering dannes hvilelegemer (oosporer), som kan overleve i jorden i op til fire år, selv om der ikke dyrkes kartofler på den pågældende mark. Næste gang der dyrkes kartofler på samme mark kan oosporerne inficere kartoffelplanterne allerede under fremspiring. Oosporerne er ikke ligeså talrige som sporangierne og spiller ikke samme rolle for udvikling af en epidemi. Til gengæld har introduktion af en ny parringstype medført, at kartoffelplanter nu også kan smittes fra inficeret jord.

Betydningen af jordsmitte har i siden midten af 1990'erne været et omdiskuteret emne i europæisk kartoffelproduktion, men nye data tyder på, at problemet er stigende. I Danmark har man set symptomer på jordsmitte siden 1997, men denne smitte har været meget lidt udbredt og har kun sjældent ført til epidemiske angreb udenfor de forholdsvis få marker, hvori den er fundet.

Infektioner fra oosporer fremkommer primært i marker, hvor der dyrkes kartofler oftere end anbefalet, og når oosporerne samtidig har favorable betingelser under og lige efter fremspiring af planterne. Derfor har der ikke været udbredte angreb forårsaget af jordsmitte i alle årene siden 1997. I 2005 har der imidlertid været flere marker med tidlige infektioner, hvilket er karakteristisk for jordsmitte. Denne udvikling har været ventet, da det stemmer overens med tilsvarende observationer fra Holland og Sverige, og fordi der i 2003 blev målt en ca. 1:1 fordeling af krydsningstyperne A1 og A2 i danske kartoffelmarker. Se figur 4. Den gradvise stigning i antallet af marker med tidlige angreb ved favorable betingelser tyder på, at der er ved at ske en opbygning af jordsmitte i et stigende antal marker.

Primære smitekilder og epidemisk sygdomsudvikling

Selvom risikoen for jordsmitte er øget, er inficerede planter, der overlever til næste sæson, formentlig stadig den vigtigste primære smitekilde. Læggekartofler bliver kontrolleret og certificeret af Plantedirektoratet for at sikre, at de er fri for skimmel og en række andre sygdomme. Alligevel er der udbrud af kartoffelskimmel i Danmark hvert år. Smitten kan komme fra overvintrede spildplanter, affaldskartofler eller fra andre værtsplanter, f.eks. tomat eller natskygge, som



Figur 3. Skimmelmycelium med citronformede, glasklare sporangier. Hvert sporangium indeholder 5-7 ukønnede zoosporer. Det er sporangierne, som spredes med vind og regnplask.

vokser vildt.

Marker med tidlige danske kartofler kan også være smitekilde. Plastikdækning fremmer kartofflernes vækst i det tidlige forår, men det lune og fugtige mikroklima under et lag plastik giver også optimale betingelser for *P. infestans*. Smitten kan også spredes fra økologisk dyrkede kartoffelmarker. Her er der ikke mulighed for kemisk bekæmpelse, så dyrkning af modtagelige sorter kan resultere i et betydeligt smittetryk og øget behov for kemisk bekæmpelse i konventionelt dyrkede kartoffelmarker i nærheden. Smittespredningen reduceres, hvis angrebne toppe fjernes eller nedvisnes, f.eks. vha. gasbrænding.

Også private køkkenhaver kan fungere som primære og sekundære smitekilder. Ikke alle hobbydyrkere køber certificerede læggekartofler, men sætter i stedet en rest kartofler, som kan være inficerede. Mange er heller ikke klar over vigtigheden af at have et godt sædskifte og at fjerne af kartoffeltoppene, så snart der er skimmelangreb.

Epidemisk udvikling af kartoffelskimmel skyldes spredning af sporangier med vind eller regnplask fra primært inficerede planter. Ved de rette betingelser – varme, høj luftfugtighed og en modtagelig plante – kan næste generation spredes fra den første infektion efter kun fire dage. I en ubeskyttet mark kan *P. infestans* forårsage en total nedvisning af hele marken i løbet af to-tre uger.

Sporangier fra inficerede blade og stængler vaskes med regnvand ned i jorden, hvor de kan inficere nydannede knolde. Ved økologisk kartoffelproduktion, såvel professionel som hobbyavl, er det en fordel at benytte tidlige sorter samt at forspire læggekartoflerne. Så kan knoldene bedre nå at udvikle sig, før toppen får skimmel.

Skimmelresistente sorter

Dyrkning af skimmelresistente kartoffelsorter er den optima-

le løsning for både landmænd, forbrugere og miljø. Gamle sorter som Asparges og Bintje, er meget modtagelige for skimmel, men de dyrkes stadig, fordi de er blandt de mest værdsatte sorter. Der er mange nye sorter med god resistens på markedet – også spisesorter med god kulinarisk kvalitet, men det kan tage adskillige år at udskifte populære sorter til andre sorter.

En kartoffelsorts resistens mod skimmel beregnes normalt ud fra sygdomsudviklingen i en ubehandlet mark, hvor der også dyrkes referencesorter med kendte resistensegenskaber. Gamle og nye sorters resistens kan beskrives ud fra kurverne over sygdomsudvikling. Se figur 5. For spisesorterne er sygdomsudviklingen tidligst i Asparges, lidt senere i Bintje og Folva og senest i Sava. Sava bruges meget i økologisk kartoffelavl, dels fordi den har en relativ god skimmelresistens på blade stængler, men specielt fordi den har en god resistens mod infektion af knoldene

Nøje kendskab til de enkelte sorters resistens kan bl.a. anvendes, når det skal besluttes, hvornår der skal sprøjtes mod skimmel, hvilket middel og hvor høj dosis, der skal bruges. Fire af sorterne i figur 5 skal behandles relativt intensivt og med stort set samme strategi. For stivelsessorten Kuras kan man reducere sprøjtemiddelforbruget ved at reducere dosis eller ved at sprøjte med længere intervaller. Den nye ungarske spisesort Sarpo Mira kan tilsyneladende dyrkes med et minimalt behov for skimmelbekæmpelse.

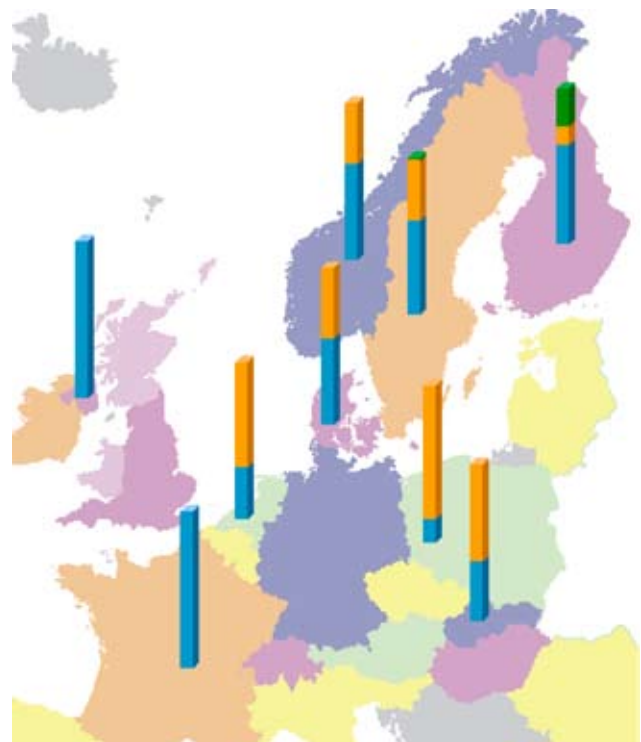
Der har været fokus på skimmelresistens i mange år, og der er nu mange sorter med en rimelig grad af resistens overfor kartoffelskimmel på markedet. *P. infestans* kan dog forholdsvis hurtigt tilpasse sig resistente sorter. Derfor kan en sort, der før var resistent, pludselig angribes af skimmel.

Udvikling af nye resistente kartoffelsorter er helt essentiel, og en effektiv udnyttelse af resistens er i dag den vigtigste faktor for nedsættelse af pesticidforbruget i kartofler. Det er nødvendigt at have et overblik over niveauet, typen og stabiliteten af resistens i eksisterende sorter og forædlingsmateriale. For at kunne forudsige stabiliteten af resistens er det vigtigt at forstå samspillet mellem *P. infestans* og dens vært (kartoffelplanten), og hvordan populationer af *P. infestans* udvikler sig i Europa.

Data samles i international database

I de enkelte EU-lande er der i mange år blevet indsamlet data om kartoffelskimmel, men tidligere var det vanskeligt at sammenligne resultaterne mellem landene, fordi der ikke blev benyttet de samme metoder til forsøg, dataindsamling og analyse.

Danmarks JordbrugsForskning og LKF Vandel deltager i et EU-projekt, hvor der er udviklet et fælles system til indsamling, lagring og visning af resultater. Første skridt har været at udvikle harmoniserede protokoller for udførelse af forsøg, indsamling af data og analyse af data. Data fra 24 europæiske forskningsinstitutioner og virksomheder samles i en database og data offentliggøres på <http://>



Figur 4. Forekomst af forskellige parringstyper af *P. infestans*. (Blå = A1, Orange = A2, Grøn = selvferil). Parringstype A2 har bredt sig til det meste af Europa. I Danmark, Norge og Sverige er fordelingen mellem A1 og A2 ca. 40:60. I Frankrig og Irland er parringstype A2 sjælden.

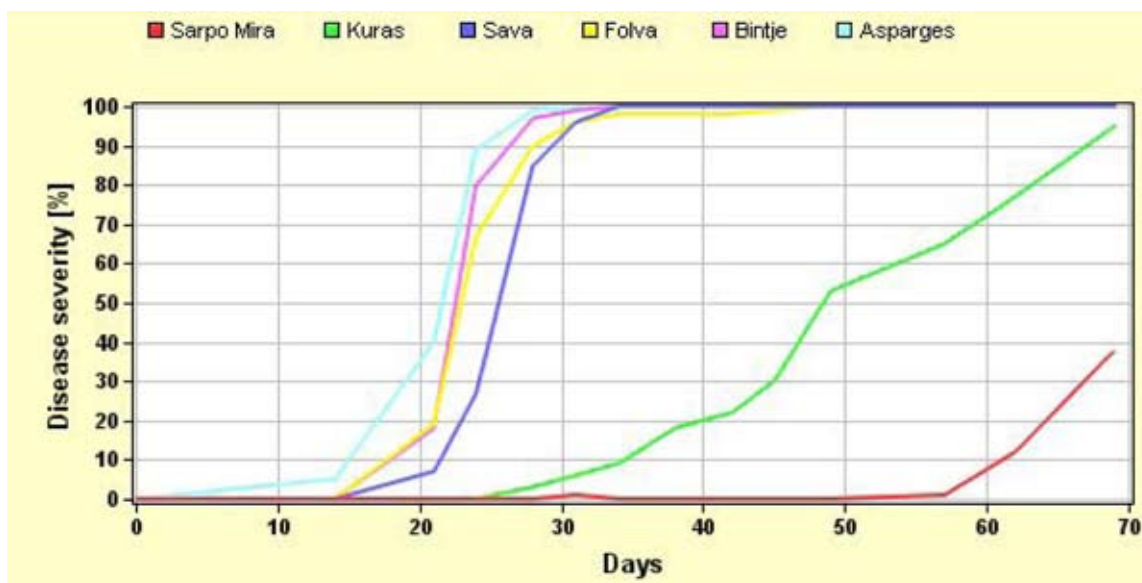
www.eucabligh.org. Her findes også de standardiserede protokoller. Både databasesystemet og web-sitet er udviklet af Danmarks JordbrugsForskning, Forskningscenter Foulum.

For *P. infestans* registreres en lang række genetiske og fænotypiske (observerbare) egenskaber. De genetiske analyser omfatter DNA test som svarer til de analyser, man bruger i husdyrforædlingen, faderskabssager og i efterforskning af forbrydelser.

Undersøgelserne af observerbare egenskaber omfatter test for parringstype (A1 eller A2) og skimmelens følsomhed overfor visse sprøjtemidler. For kartoffelsorterne registreres resultater fra forsøg i marken eller i laboratoriet. Hele kartoffelparceller, enkelte planter eller knolde smittes med skimmel, og man registrerer udviklingen af skimmel i de sorter man vil teste. Ved at sammenligne med kontrolsorter, hvor resistensen er velkendt, kan man beskrive typen og niveauet af resistens.

Anvendelse af data

De samlede data på <http://www.eucabligh.org> vil give en fantastisk mulighed for at dykke dybere i forståelsen det biologiske samspil mellem patogenet og den vært, som det lever i samspil med. Forstår vi dette samspil, kan vi bedre udvikle nye resistente sorter, og vi kan udvikle



Figur 5. Dynamisk dannet graf fra eucabligh t hjemmesiden. Sygdomsudvikling af udvalgte sorter fra forsøg ved Flakkebjerg, 2004. Asparges, Bintje, Folva og Sava er spisekartofler. Kuras er en stivelses-sort og Sarpo Mira er en ny lovende Ungarsk sort, som bl.a. bruges i forædlingen.

optimale integrerede bekæmpelsesstrategier, så der kun anvendes et minimum af kemikalier i vores miljø. F.eks. vil nøje kendskab til kartoffelsorternes resistens (f.eks. type, niveau og stabilitet) vil blive brugt både i forædlingen af nye resistente sorter, og når behovet for bekæmpelse skal vurderes.

Beskrivelserne af de europæiske *P. infestans* populationer vil blive brugt til at undersøge om der er forskellige bestande af skimmel i Europa, hvordan de er forskellige, om der sker evolution (udvikling) og migration (udvandring) fra et område til et andet. Vi kan undersøge fordelingen af parringstyper i Europa og dermed forudsige risikoen for kønnet formering og de mulige følger heraf.

Styrken i at samle data fra mange lande er, at vi nu kan analysere stabiliteten af resistens over tid og geografisk. Hvis en sort viser vigende resistens i et af vores nabolande, kunne det tyde på, at lokale populationer af *P. infestans* har tilpasset sig til de resistensgener, som findes i sorten. Dermed er vi forvarslet om, at noget tilsvarende kan ske i Danmark også.

Du kan finde meget mere information på <http://www.eucabligh t.org>, og du kan lave flere tusinde figurer dynamisk, som giver forståelse og sammenhænge mellem de indsamlede informationer. Lige nu arbejder vi meget intenst på at udvikle værktøjer til at analysere og vise resultaterne, og en del resultater kan derfor kun ses på den lukkede del af hjemmesiden. I løbet af januar 2006, vil mere og mere materiale blive flyttet over på den åbne del af hjemmesiden.

Finansiering

Varslingssystemet er udviklet af Danmarks Jordbrugs-forskning i samarbejde med Landscentret med støtte fra Miljøstyrelsen. Dosisrespons- og sprøjteintervalforsøg blev støttet af Kartoffel-afgiftsfonden. Eucabligh t-projektet støttes via EU's 5. rammeprogram.