

Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri

**Danmarks JordbrugsForskning
Forskningscenter Flakkebjerg
Afdeling for Plantebeskyttelse**



Projektet

**Litteratursammendrag om risikovurdering af udvikling af *Fusarium-*
og Phoma-råd i læggekartoffelpartier ved indlagring.**

Steen Lykke Nielsen, Mogens Nicolaisen og Annemarie Fejer Justesen.

Danmarks JordbrugsForskning, Forskningscenter Flakkebjerg, DK-4200 Slagelse.

Slutrapport

til

Kartoffelafgiftsfonden

2004

Litteratursammendrag om risikovurdering af udvikling af *Fusarium*- og *Phoma*-råd i læggekartoffelpartier ved indlagring.

Steen Lykke Nielsen, Mogens Nicolaisen og Annemarie Fejer Justesen.

Danmarks JordbrugsForskning, Forskningscenter Flakkebjerg, DK-4200 Slagelse.

Indhold

Sammendrag	s. 2.
Konklusion	s. 3.
Indledning	s. 4.
<i>Phoma</i>	s. 4.
<i>Fusarium</i>	s. 9.
Testmetoder til at bestemme latente infektioner af <i>Phoma</i> og <i>Fusarium</i>	s. 12.
Såringstests	s. 12.
Metode baseret på real-time PCR	s. 13.
Metode baseret på kunstig næse	s. 14.
Litteratur	s. 17.

Sammendrag

Fusarium- og *Phoma*-råd er sygdomme, som volder problemer i lagrede kartofler. Ifølge erhvervet er det et stigende problem i kartoffelavl. Der er derfor efterlyst en vurdering af, om der kan udvikles metoder til at undersøge kartoffelpartier for latent smitte af de to sygdomme inden indlagring.

Fusarium er et jordbårent patogen, som er tilstede i jord på indlagrede knolde. Smitten vedligeholdes med inficerede læggekartofler. Infektion sker altid gennem sår i knolde ved optagning, indlagring og opsortering. Infektionen fremmes af temperaturer på 16°C og høj luftfugtighed, hvilket er forhold, som anvendes til sårheling. Når svampen er etableret i knolden, vil *Fusarium*-tørråd udvikle sig ved 2-16°C.

Phoma er en udsædsbåren svamp. Nye knolde smittes af sporer frigivet fra inficerede moderknolde og fra stængler. Smitten findes som påhæftet kontamineret jord og som latent infektion under

overhuden. *Phoma* er en aggressiv sårparasit, som udvikler sig under ugunstige forhold for sårheling, dvs. lave temperaturer og tør luft.

Der er udviklet en skæringstest til at fastlægge omfanget af latent *Fusarium*-smitte i et kartoffelparti. Testen måler mængden af inokulum i den påhæftet jord på knoldene. Halvtreds knolde halveres og rystes, så snitfladerne kontamineres. Der opgøres antal knolde med tørråd efter 2 uger ved 15°C og høj RH. Der er ligeledes udviklet en sårings-test til at bestemme omfanget af latent smitte af *Phoma*. Knoldene såres med metalspidser, hvorved den vedhæftede jord indføres i sårene. Knoldene lagres ved 4°C i 6-9 uger og høj luftfugtighed, hvorefter antal *Phoma*-angrebne knolde opgøres. Metoden er tidskrævende.

Der er udviklet metoder til at ekstrahere svampe-DNA fra jord og påvise og kvantificere det med ”real-time”-PCR. Det vil tilsvarende være muligt for *Phoma* og *Fusarium*. Operationalisering af metoden vil kræve et stort forarbejde, bl.a. fastlæggelse af en sikker korrelation mellem mængde *Phoma*- og *Fusarium*-DNA påvist i jord fra knolde og forekomst af latent *Phoma*- og *Fusarium*-smitte påvist med de klassiske såringstests i de samme partier. Det vil kræve dobbeltanalyse af mange kartoffelpartier med forskellige latente infektionsniveauer. Når testen er operationel, vil prøveresultater kunne foreligge inden for få dage.

Elektroniske næser kan benyttes til at påvise angreb af patogener i lagrede kartofler. Der måles knoldenes udskillelse af flygtige organiske forbindelser, som ændres kvalitativt og kvantitativt, når patogener mataboliserer angrebet knoldvæv i forhold til sunde knolde. Der er udarbejdet profiler for knolde angrebet af *Fusarium*. En elektronisk næse kan næppe påvise latent smitte, men kan løbende overvåge, om et angreb er under udvikling.

Det konkluderes, at der allerede findes metoder til at påvise latent smitte af de to sygdomme vha. såringstests. Det vurderes, at det antageligt vil være muligt at udvikle en test baseret på ”real-time” PCR, men at det vil kræve et meget stort udviklingsarbejde. Anvendelse af kunstige næser vurderes til ikke at være velegnet til at påvise latent smitte.

Konklusion

Det konkluderes, at der allerede findes standardiserede metoder til at påvise latent smitte af de to sygdomme vha. tests, hvor knoldene såres og inficeres med den påhæftede jord, hvorefter knoldene opbevares under forhold, som er optimale for udvikling af *Phoma*- eller *Fusarium*-råd. Begge tests bygger på en visuel opgørelse af forekomst af svampene på knoldoverflader. Hvis der er behov for

en hurtig metode til at kunne skelne *Phoma* og *Fusarium* fra hinanden, vil der relativt hurtigt kunne udvikles metoder baseret på PCR eller serologi.

Det vurderes endvidere, at det antageligt vil være muligt at udvikle en test baseret på ”real-time” PCR, men at det vil kræve et meget stort udviklingsarbejde, specielt for at udarbejde en sikker korrelation mellem mængde *Phoma*- og *Fusarium*-DNA påvist i jord fra knolde og forekomst af latent smitte, påvist med de klassiske såringstests, i de samme partier.

Anvendelse af kunstige næser vurderes til ikke at være velegnet til at påvise latent smitte, fordi latent forekommende *Phoma* og *Fusarium* udvikler sig meget langsomt, hvilket betyder, at ændringer i koncentrationen af udsendte flygtige organiske forbindelser fra de angrebne knolde, i forhold til sunde knolde, vil være meget vanskelige eller umulige at påvise.

Indledning

Ved det årlige møde i Forsøgsudvalget for Kartoffler i 2000 og 2001 anførte repræsentanter for kartoffelerhvervet problemer med lagersygdomme og specifikt problemer med *Phoma*- og *Fusarium*-råd. Konkret blev fremsat forslag om at undersøge, hvordan man bestemmer risiko/skadetærskler for *Fusarium* i læggekartofler og om der kan udvikles en standardmetode til at måle forekomst af latente angreb af *Phoma*- og *Fusarium*-råd. På den baggrund bevilgede Kartoffelafgiftsfonden i 2003 midler til at få udarbejdet en litteraturudredning om emnet med det formål at tilvejebringe en faglig baggrund for at kunne udarbejde en ansøgning til et forskningsprojekt om at kunne måle forekomsten af *Fusarium* og *Phoma* i kartoffelpartier samt at kunne risikovurdere/bestemme skadetærskler for disse.

Phoma.

Systematik.

To varieteter af *Phoma exigua* angriber kartofler, nemlig *P. exigua* var. *foveata*, som er den varietet, som giver *Phoma*-råd i kartoffelknolde, og som er den almindeligst forekommende og langt den alvorligste, mens *P. exigua* var. *exigua* primært inficerer stængler. Begge *Phoma*-arter er svage parasitter. (Boyd 1972, Wilson & Dashwood 1974, Olofsson 1976 og Umærus 1976, Hide 1981, Logan 1981). Der eksisterer betragtelige forskelle i patogenitet mellem isolater af *P. exigua* var. *foveata* (Scheitza 1983).

Symptomer.

Phoma-angreb på knolde viser sig først som svagt indsunket væv, som efterhånden udvikler sig til mørke runde tommelfingeraftryksslignende rådpletter. Senere breder råddet sig til en større uregelmæssig indsunket parti. På overhuden udvikles der i lidt ældre angreb hyppigt pyknider, som ses som små ophøjede sorte prikker. I gennemskårede knolde ses angrebet som en sortbrun råd, der er skarpt afgrænset mod det sunde væv af en mørk smal hård zone. Phoma-angreb på stængler ses først på afmodnede stængler som forekomst af pyknider i form af små sorte pletter. Dette skiller bl.a. *Phoma* fra *Fusarium*, som aldrig ses på kartoffeltoppen. (Boyd 1972, Wilson & Dashwood 1974, Olofsson 1976 og Umærus 1976, Logan 1981).

Udvikling af angreb på lager.

Det er entydigt påvist, at den vigtigste faktor for udvikling af *Phoma*-råd på lager er sårning af knoldene kombineret med dårlig sårheling. Dette behandles udførligt senere.

Smitteveje.

Den vigtigste spredning af *Phoma* sker med smittede læggeknolde og vedhæftet smittet jord på knoldene (Boyd 1972, Olofsson 1976 og Umærus 1976). Adams et al. (1980b) fandt et positivt sammenhæng mellem antal *Phoma*-smittede læggeknolde og det efterfølgende smittetryk i jorden. Bång, U. (1986; 1989c) fandt en positiv korrelation mellem mængde smittede moderknolde og efterfølgende mængde smittede døtreknolde, mens Malcolmson & Gray (1968a) ikke kunne påvise dette sammenhæng. Carnegie et al. (1978) viste, at læggeknolde, som fik påført *Phoma*-inficeret jord lige inden lægning, udviklende signifikant mere *Phoma*-lagerråd i døtreknoldene end kontrol uden smitte. Walker & Wade (1976) fandt at vask af læggeknolde kun fjernede en lille procentdel af overfladeinokulum.

Smitte af døtreknolde sker dels direkte fra moderknolden gennem jorden og dels fra sporer fra pyknider på stængler, som regner ned i jorden. Spredningsafstanden fra moderknolden er meget lille. Bång, U. (1989b) målte den til 0-10 cm med hurtigt faldende koncentrationsgradient. Smitte fra stængler er vigtig, idet høst af afmodnede planter gav meget lille smitte af døtreknolde i forhold til høst fra afmodnede stængler, hvor der er udviklet pyknider (Walker & Wade 1976). Fjernelse af toppen umiddelbart efter nedvisning reducerer ligeledes infektionen af knoldene, som stiger med antal dage mellem nedvisning og fjernelse af toppen (Copeland & Logan 1976). Logan (1976) målte, at sporer af *Phoma* blev spredt op til 1,2 m fra inficerede planter, antageligt ved regnsplash.

Overlevelse af *Phoma* i jord.

Phoma overlever dårligt i jord. Forsøg med inokulering af forskellige jordtyper med pyknidosporer viste en konstant reduktion af spiredygtige sporer. Sporerne overlevede bedre under tørre end under fugtige forhold. Jorden er derfor ikke et vigtigt reservoir for smitte af nye knolde (Adams 1979). Carnegie et al. 1978) fandt, at *Phoma* kunne overleve i 16 måneder ved 5 °C i tør jord skrabet af knolde. Logan (1974) fandt, at der kan overleve tilstrækkeligt inokulum i jord fra én sæson til den næste til at give et højt angreb af både knolde og stængler i en efterfølgende kartoffelafgrøde. Adams & Todd (1974) fandt derimod, at *Phoma*-smitte forsvinder hurtigt og højst holde én sæson efter en kartoffelafgrøde. De viste desuden, at *Phoma* også danner pyknider på skivekamille (*Chamomilla suaveolens*), skovhanekro (*Galeopsis bifida*), ferskenpileurt (*Polygonum persicaria*), alm. Fuglegræs (*Stellaria media*) og byg. Andre værter end kartoffel vurderes til at have minimal betydning for *Phoma*-smitten (Boyd 1972). Adams et al. (1980a) viste at smitteniveauet i jord var positive relateret til efterfølgende angrebsgrad på lager, men at jordens smitte havde meget mindre betydning i såring og sårheling af knolde. Lapwood et al. (1979) konkludere, at forudsigelse af *Phoma*-lagerråd ikke er muligt på baggrund af forekomst af inokulum på døtreknolde eller i jord. Råddets omfang afhænger alene af omfanget af såring af knoldene og effektiviteten af sårhelingsperioden og lagringstemperaturen. Det kan konkluderes, at *Phoma* primært er en udsædsbåren sygdom. Kun ved meget anstrengte sædskifter kan jordsmitte have en hvis betydning.

Udvikling af *Phoma*-råd på lager.

Phoma er en svag parasit, som har svært ved at etablere sig i usåret væv. *Phoma* kan dog inficere knolde gennem korkporer (lenticeller), øjne og direkte gennem overhuden (peridermen) og etablere sig som en latent infektion lige under peridermen. *Phoma* er derimod en meget aggressiv sårparasit og der er påvist entydige sammenhæng mellem omfang af såring og udvikling af *Phoma*-råd under lagring. (Malcolmson & Gray 1968b, Boyd 1972, Todd & Adam 1974, Olofsson 1976, Umærus 1976, Adams 1980 og Hide et al. 1981). Forskellige former for såring afviger fra hinanden i deres modtagelighed for infektion af *Phoma*. Modtageligheden er ikke simpelt relateret til sårets dybde eller volumen. Mest modtagelige er sår, hvor vævet er knust (Adams 1980). Der er endvidere blevet påvist et entydigt sammenhæng mellem udviklingen af *Phoma*-lagerråd, og temperaturen, luftfugtigheden og længden af sårhelingsperioden inden. Jo mere optimale forhold der gives for en hurtig sårheling, jo mindre *Phoma*-lagerråd udvikles der (Malcolmson & Gray

1968b, Langton 1971, Boyd 1972, Kahn 1974, Olofsson 1976, Umærus 1976, Henriksen 1977, Adams & Griffith 1978 & 1983, Adams et al. 1980, Hide 1981, Croke & Logan 1982, Hide & Cayley 1983, Bång, U. 1987 og Carnegie et al. 1988). Til en optimal sårheling anbefales 2 uger ved 15 °C og RH over 70. Derimod giver lave temperaturer på 4-5°C og tør luft optimale forhold for udvikling af *Phoma*.

Knoldes varierende modtagelighed for *Phoma*-infektion.

Der er generelt fundet, at knolde er meget modtagelige for *Phoma*-smitte på et tidligt vækststadium. Modtageligheden falder til et minimum ved høsten for igen at stige under lagringen (Boyd 1972, Olofsson 1976, Fox & Dashwood 1979, Jønsson & Bång 1979, Seppänen 1982, Scheitza 1983 og Bång, H. 1984c).

Sortsresistens.

Der eksistere signifikante forskelle i sorters modtagelighed over for *Phoma*-råd, men ingen sorter er resistente. (Langton 1972, Copeland & Logan 1974, Bång, H. 1976a, Jellis 1978, Scheitza & Hoffmann 1986 og Fischl 1991, Der kan skelnes mellem sorternes resistens mod mekaniske skader, mod indtrængning af *Phoma*, en etableringsresistens og en udbredelsesresistens. Det er de sidste to, som indgår i praktiske målinger af sorters resistens. Etableringsresistens indtræder tidsmæssigt før udbredelsesresistens. Etableringsresistens udtrykker hvor let *Phoma* etableres ved overfladisk såring af knolden. Udbredelsesresistens udtrykker hvor hurtigt *Phoma*-råd spreder sig sideværts og i dybden i knolde, som er tilføjet dybe sår og meget inokulum. Der er målt forskelle mellem sorter for begge resistenstyper, men der er ikke fundet korrelation mellem forekomst af de to typer (Bång, H. 1984a & b). Carnegie et al. (1989) bemærker ligeledes, at man får forskellige resultater af resistenstest afhængigt af hvilke metoder, man benytter. Walker & Wade (1976) skelner mellem tre typer resistens-respons, som virker ved temperaturer over 10 °C: Retardering af sårinfektion, stop af sårinfektion og afvisning af sårinfektion. Bång, H. (1984d) fandt, at sårheling sker hurtigere i mere resistente sorter end i modtagelige, og at dette forhold kan medvirke til at forklare sortsforskelle i modtagelighed. Pietkiewi & Jellis (1975) og Scheitza (1983) fandt, at knoldens marv-væv er mere modtageligt for *Phoma*-infektion end cortex-vævet, og at navleenden er mere modtagelig end rosenenden. Olofsson (1976) nævner, at *Phoma*-råd udvikles lettere i tidlige end i sene sorter.

Indflydelse af dyrkningsmæssige faktorer og klimaet.

Der er påvist et sammenhæng mellem tidspunktet for nedvisning og det efterfølgende omfang af *Phoma*-råd, der udvikles efter såring af knoldene, således at jo senere der nedvisnes, jo mere *Phoma*-råd udvikles der (Fox & Dashwood 1975 & 1979 og Bång, U. 1989a.). Hovedårsagen er et stigende inokulumniveau i jorden, som stammer fra pyknidedannelsen på stænglerne. Tilsvarende sammenhæng er fundet mellem tidspunktet for optagning af knoldene i forhold til nedvisningen. Copeland & Logan (1976) og Carnegie et al. (1988) fandt, at forekomsten af *Phoma*-råd på kølelager efter såring af knoldene var lavest, når knoldene blev høstet samme dag som nedvisningen og den steg med antal dage fra nedvisning til høst. Det er endvidere påvist, at når man forlænger vækstperioden ved at høste senere, udvikles der mere *Phoma*-råd efter såring på lageret end ved tidligere høst (Adams & Griffith 1978 og Bång, U. 1989b). Toptrækning giver mindre efterfølgende *Phoma*-angreb end andre former for nedvisning herunder kemisk og naturlig visning (Fox & Dashwood 1975 og Bång, U. 1989a). Derimod kunne det ikke påvises, at to-trins optagning i forhold til et-trinsoptagning havde nogen indflydelse på *Phoma*-råduviklingen på lageret. Forskellige gødskningsniveauer havde ingen indflydelse på forekomsten af *Phoma*-råd. (Logan et al. 1987).

Bång, U. (1989b) fandt, at der blev udviklet mere *Phoma* på lageret i vandede end i uvandede kartofler. Bång, U. (1989c & 1992) fandt, at regn og lave temperaturer ved høst fremmer angreb af *Phoma* på lageret, mens varmt og tørt vejr ved høst virker modsat. Bång kunne påvise, at temperaturen og nedbøren i en 40 dages periode før høst havde signifikant indflydelse på udviklingen af *Phoma*-råd i de lagrede knolde.

Kemisk bekæmpelse af *Phoma*.

Flere forskellige syntetiske fungicider har en effekt mod *Phoma*. Det omfatter benomyl, thiabendazol, imazalil og prochloraz (Bång, H. 1976b, Vestman 1976, Logan et al. 1977, Hide & Cayley 1983 og Bång, U. 1992). Endvidere har gasning med 2-aminobutan givet en god bekæmpelseeffekt (Graham et al. 1973 & 1975 og Hamilton 1985). En æterisk olie: Carovone, udvundet af kommen har ligeledes vist en signifikant reducerende effekt på *Phoma* (Gorris & Smid 1995). Behandling af knoldene lige før forspiring og lægning giver ingen effekt, mens behandling umiddelbart efter høst og efter sortering giver en god effekt (Bång, H. 1976b og Logan et al. 1977). Bång, U. (1992) viste, at fungicidbehandling af læggeknolde under forårssorteringen reducerede forekomsten af *Phoma*-råd i læggeknoldene, men det havde ingen indflydelse på forekomsten af *Phoma*-råd i døtreknoldene.

Indflydelse af *Phoma* på top og udbytte.

Logan (1974) fandt, at under gode vækstbetingelser for kartoffelafgrøden havde hverken knold- eller jordbåren *Phoma*-smitte indflydelse på toppenes udvikling eller udbyttet. Malcolmsen & Gray (1968) fandt ligeledes, at *Phoma* ingen indflydelse havde på udbyttet, med mindre der blev anvendt meget kraftigt inokulum, hvorimod Seppänen (1983a) fandt, at *Phoma*-inficerede læggeknolde gav en udbyttenedgang på 10%.

Fusarium

Systematik.

Adskillige arter af *Fusarium* forårsager tørråd i kartoffelknolde. I Europa er *Fusarium solani* var. *coeruleum* den hyppigst forekommende. *F. avenaceum* forekommer dog også ret tit (Boyd 1972, Olofsson 1976, Umærus 1976, Nielsen 1981 og Seppänen 1983b). Der er forskelle i *Fusarium*-arternes aggressivitet og måden, de inficerer knoldene på (Granzow 1978, Nielsen 1981 og Seppänen 1983b). De tørråd-dannende *Fusarium*-isolater er kun patogene over for kartoffel, selv om flere af *Fusarium*-arterne har et bredere værtsspektrum. *F. solani* var. *coeruleum* anses udelukkende at have kartoffel som værtsplante, og den angriber udelukkende knoldene og ikke andre organer som f.eks. stængler hos kartoffel (Nielsen 1981).

Symptomer

Symptomerne varierer lidt efter hvilken *Fusarium*-art, der er tale om. Knolde angrebet af *F. solani* var. *coeruleum* udvikler symptomer i form af en mørkebrun indsunken plet med uregelmæssige indskrumpede koncentriske ringe omkring infektionsstedet. Der dannes hyppigt lysfarvede myceliepuder på plettens overside. Tørrådets grænse mod det sunde væv er ikke skarp, som ved *Phoma*-infektion, og der dannes hyppigt et hulrum under pletten (Boyd 1972, Olofsson 1976, Umærus 1976 og Nielsen 1981).

Udvikling af angreb på lager.

Såring af knoldene er en nødvendig forudsætning for, at der udvikles *Fusarium*-tørråd under lagringen. Dette behandles udførligt senere.

Smitteveje.

Fusarium spredes med inficerede læggeknolde og kontamineret jorden. Der forekommer *Fusarium* i kartoffeljorde, og *Fusarium* kan overleve i kartoffelfrie perioder mindst 5-7 år. En forudsætning, for at *Fusarium-tørråd* udvikles, er, at der sker en såring af knoldene. *Fusarium-råd* ses aldrig før efter optagningen. (Small 1944, Boyd 1972, Olofsson 1976, Umærus 1976, Nielsen 1981, Bång, U. 1989c & 1992 og Secor & Gudmestad 1999). Der er påvist en positiv korrelation mellem infektionsgraden af *Fusarium* i moderknolde og den efterfølgende udvikling af *Fusarium-råd* i døtreknoldene under lagring, hvilket viser, at der sker en smitte fra læggeknolde til døtreknolde (Small 1944, Boyd 1970, Adam & Lapwood 1983 og Bång, U. 1989c). Der er endvidere påvist smitte via kontaminerede lagerrum, redskaber m.v. (Small 1944 og Jeger et al. 1996). De tørråddannende *Fusarium*-isolater anses ikke at have andre værtplanter (Nielsen 1981).

Overlevelse af *Fusarium* i jord.

Fusarium kan overleve op til 7 år i jorde uden værtsplanter i form af hvilesporer (klamydosporer) og levende mycelium kan påvises op til to år efter en kartoffelafgrøde. Jordens pH har ingen betydning. (Small 1944 og Umærus 1976). Det kan derfor anses som sikkert, at der altid er inokulum tilstede i kartoffeljorde. *Fusarium* er således mindre udsædsbåren og mere jordbåren end *Phoma*.

Udvikling af *Fusarium-råd* på lager.

Fusarium kan ikke inficere knolde hvis overhud (periderm) og korkporer (lenticeller) er intakte (Nielsen 1981). Først ved såring af overhuden kan der ske en infektion. Inokulationen med *Fusarium* fremmes af høj luftfugtighed og høj temperatur. Lui & Kushalappa (2002) viste, at infektionen var mindst ved 4 °C og en periode på 3 timer med høj RH i forhold til længere inokulationsperioder og højere temperaturer. Det samme gælder den efterfølgende udvikling af tørråd under lagringen. Tørråd udvikles hurtigst ved temperaturer på 15-20 °C, men efter etableringen i knolden hæmmer temperaturer i intervallet 4 –12 °C ikke udviklingen af tørråd ret meget. En hurtig tørring af knoldoverfladerne, for at sænke den relative luftfugtighed før temperaturen hæves, for at fremme sårhelingen, er derfor et vigtigt punkt. RH skal under 70%, før den begynder at hæmme råddannelsen (Olofsson 1976, Umærus 1976, Nielsen 1981 og Zott & Janke 1983).

Knoldes varierende modtagelighed for *Fusarium*-infektion.

Kartoffelknolde har varierende modtagelighed for *Fusarium*-infektion i løbet af året.

Modtageligheden falder i løbet af vækstsæsonen med knoldenes modning til et minimum ved nedvisning og høst, hvorefter den stiger igen i løbet af lagringsperioden for at nå sit maksimum under spiringen (Boyd 1972, Wirsema 1977, Jönsson & Bång 1979, Nielsen 1981, Seppänen 1982 og Bång, H. 1984c). Det anbefales derfor først at høste knoldene, når de er afmodnede og undgå sortering sent i lagringsperioden.

Sortsresistens.

Der er påvist signifikante forskelle i kartoffelsorters resistens over for *Fusarium*-råd, men ingen sorter er immune (Bång, H. 1976a, Förster 1978, Nielsen 1981, Adams & Lapwood 1983, Bång, H. 1984a & 1984b, og Bjor 1987). Det er ikke som hos *Phoma* muligt at opdele resistensen mod *Fusarium* i resistens mod etablering og mod udbredelse i knolden (Bång, H. 1984b).

Indflydelse af dyrkningsmæssige faktorer og klimaet.

Der er ikke påvist sammenhæng mellem tilførsel af kvælstof og den efterfølgende udvikling af *Fusarium*-råd (Jönsson & Bång 1979) og tilsvarende gælder for jordens pH (Small 1944 og Umærus 1976). Knoldenes tørstofindhold ser heller ikke ud til at have nogen klar betydning (Olofsson 1976 og Jönsson & Bång 1979). Klimaet spiller ind, således at det generelt kan siges, at varme og tørre forhold i vækstperioden og under høsten fremmer angreb af *Fusarium* (Boyd 1972 og Umærus 1976).

Bekæmpelse af *Fusarium*.

Bejdsning af læggeknolde med fungicider som benomyl og thiabendazol har en reducerende virkning mod *Fusarium*-råd (Bång, H. 1976b, Bång, U. 1989c & 1992 og Secor & Gudmestad 1999). Bång, U. (1992) fandt dog, at bejdsning af læggeknolde ved forårssortering kun reducerede omfanget af *Fusarium*-råd i moderknoldene, men ingen statistisk sikker indflydelse havde på forekomsten af *Fusarium*-råd i døtreknoldene.

Ranganna et al. (1995 & 1997) har vist, at belysning af knolde med ultraviolet lys kan reducere udviklingen af *Fusarium*-råd. Behandlingen skal foretages umiddelbart efter inokuleringen for at have god effekt og hele knoldens overflade skal belyses. Stevens et al. (1999) viste på sødkartofler, at UV-belysning af knoldene øger deres resistens mod indtrængning af *Fusarium*.

Dypning af knolde inficeret med *Fusarium* i 57,5 °C varmt vand i 20-30 minutter gav en god bekæmpelse af *Fusarium*. Varmebehandlingen havde ingen indflydelse på stivelseskvaliteten, men hæmmede spiringen (Ranganna et al. 1998).

Indflydelse af *Fusarium* på top og udbytte.

Fusarium angriber kun knolde, og infektionen sker først efter såring under optagningen eller efterfølgende behandlinger, hvorfor *Fusarium* ingen indflydelse har på kartoffeltoppens udvikling og vækst eller på udbyttet.

Testmetoder til at bestemme latente infektioner af *Phoma* og *Fusarium*.

Metoder til at bestemme latente *Phoma*-infektioner i kartoffelknolde baseret på såringstest.

Der er udviklet forskellige såringstest, som går ud på at beskadige knolden og inficere såret med den jord, som sidder på knoldens overflade (Logan 1967, Hide et al 1977, Adams et al. 1980 og Bång, U. 1989a).

Som eksempel kan nævnes ”knack-testen”, hvor hver knold i den udtagne prøve beskadiges ved at bore 4 huller ind i knolden mellem navle og rosenenden med et stålbor. Derved bliver jorden med evt. smitte på knoldoverfladen ført ind i sårene og kan udvikle *Phoma*-råd. De sårede knolde samles i beholdere, som placeres i plastposer, der lukkes og lagres ved 4 °C i 6-9 uger. Herefter halveres knoldene og bedømmes for forekomst af *Phoma*-råd. Sygdomsfrekvensen udregnes som antal knolde med *Phoma*-råd uanset hvor mange af de 4 huller pr. knold, der er udviklet *Phoma* i, i forhold til det totale antal knolde (Bång, U. 1976).

Adams et al. (1985) undersøgte hvor mange prøver af 50 knolde, der skulle udtages af et parti kartofler for at opnå en varians på < 1% af resultaterne af en prognose for forekomst af *Phoma*-råd på baggrund af en standard beskadigelsestest omfattende 4 snit og 4 stød pr. knold. Resultatet var, at det er nødvendigt at udsætte 15-20 prøver af 50 knolde for standardbeskadigelsestesten, for at opnå den ønskede sikkerhed.

Metoder til at bestemme latente *Fusarium*-infektioner i kartoffelknolde baseret på såringstest.

Der er udviklet forskellige såringstest, som går ud på at beskadige knolden og inficere såret med den jord, som sidder på knoldens overflade. Som eksempler kan nævnes skæringstesten (Nielsen & Johnson 1972, Meijers 1975, Bång, U. 1976, og Förster 1978) hvor 50 knolde halveres og kommes i

en papirpose, hvor de blandes godt for at få jord fra knoldenes ydre overført til snitfladen. Posen lukkes og stiles ved 15 °C og 95-97% RH i 2 uger. Ved opgørelsen skræbes den skårne overflade ren, og de angrebne knolde opgøres i 6 klasser efter hvor stort et areal *Fusarium*-angrebet dækker. Der udregnes et *Fusarium*-index.

Bång, U. (1976) omtaler en "stress-test", hvor der umiddelbart efter høst udtages et parti knolde, som rulles hårdhændet et bestemt antal gange i rene poser og derefter indlægges ved +4 °C og 100% RH.. Efter 10 dage øges temperaturen til 25 °C og 100% RH i 2 uger, hvorefter knoldene halveres og opgøres som antal knolde med tørråd ud af det totale antal knolde. Denne metode anses ikke så sikker som de ovenfor omtalte såringstest, idet stress-testen ikke kun måler latent smitte, men også sortens tolerance over for mekanisk skade.

Metode til at bestemme latente infektioner af *Phoma* og *Fusarium* baseret på kvantitativ "real-time" PCR.

Det er i dag muligt at ekstrahere svampe-DNA fra jord og vha. PCR-metoden at påvise forekomst af specifikke svampe som *Phoma* og *Fusarium* (Cullen et al. 2002, Lees et al. 2002). Det er endvidere muligt vha. "real-time" PCR at kvantificere mængden af svampe-DNA i jorden (Cullen et al. 2001, Filion et al. 2003). Det er således teoretisk muligt at afvaske jord fra en prøve af kartoffelknolde fra et parti lagrede kartofler og undersøge, om der er *Phoma* og/eller *Fusarium* tilstede og endvidere kvantificere mængden af specifikt svampe-DNA. For at en sådan metode, til at påvise latent *Phoma* og *Fusarium*, bliver operationel, vil det imidlertid kræve en betydelig indsats. Der skal udarbejdes en sikker korrelation mellem mængde *Phoma*- og *Fusarium*-DNA påvist i jord fra knolde og forekomst af latent *Phoma*- og *Fusarium*-smitte påvist med de klassiske såringstests i de samme partier. Det vil kræve dobbeltanalyse af mange kartoffelpartier med forskellige latente infektionsniveauer. Med mindre man er tilfreds med at kunne sammenligne et givent antal kartoffelpartier og vælge det med lavest *Phoma*- og *Fusarium*-smitte. Den prøveudtagningsmetode, der skal anvendes, og fastsættelse af hvor mange individuelle prøver, der skal foretages DNA-ekstraktioner fra, vil være væsentlig mere kompliceret end den, der anvendes i såringstest, og vil kræve involvering af en biostatistiker til at fastsætte disse. Det vil endvidere for *Phoma* kræve, at der er en enkel korrelation mellem forekomst af latent smitte etableret i knoldene under peridermen og mængde pyknidesporer i den tilhæftede jord på knoldenes overflade, da det er den sidste del, der bliver kvantificeret med den beskrevne metode. Hvis der ikke eksisterer et enkelt sammenhæng mellem forekomst af indre og ydre latent *Phoma*, vil det blive nødvendigt at indarbejde to

uafhængige tests. Kvantificering af svampe-DNA med "real time" PCR-metoden opererer i størrelsestrin som dobbelt eller halvt så meget DNA i forhold til andre prøver. Det skal derfor afklares, om metoden er tilstrækkelig anvendelig til at fastlægge procent latent *Phoma*- og *Fusarium*-råd. Der foreligger metoder til at ekstrahere svampe-DNA direkte fra jord (f.eks. Bell et al. 1999, Cullen et al. 2001, Cullen et al. 2002, Lees et al. 2002, Filion et al. 2003). Der er publiceret "primere" til at påvise *Fusarium solani* var. *coeruleum* (Zaccardelli et al 1999) og *P. exigua* var. *foveata* (MacDonald et al. 2000) med almindelig PCR. Til brug til "real-time"-PCR vil det imidlertid blive nødvendigt at designe nye primere, bl.a. fordi der skal benyttes et kort PCR-produkt.

Testmetoder til at bestemme angreb af patogener i kartoffellagre baseret på måling af gasformige flygtige organiske forbindelser.

Knolde er levende og udskiller metaboliske flygtige organiske forbindelser under lagringen, og de kan opsamles med forskellige metoder og påvises med gaskromatografi og massespektrometri. Koncentrationen og den tidsmæssige forekomst af hver enkelte kemiske forbindelse varierer i løbet af lagringsperioden. Tilsvarende sker der relative forskydninger i sammensætningen af flere organiske forbindelser. Variationen skyldes ændringer i knoldenes metabolisme i løbet af lagringsperioden (Filmer & Land 1978, Lyew et al. 1999 og de Lacy Costello et al. 2001). Når knoldene angribes af patogener svampe og bakterier, sker der en emission af flygtige organiske forbindelser, som skyldes patogenernes metabolisering af knoldvævet. Ved at måle forekomsten af sådanne metabolitter skulle det i princippet være muligt at påvise, om et specifikt patogen er til stede, og om det er aktivt. Påvisning af et specifikt patogen kan ske på baggrund af, at patogenet udskiller en specifik kemisk forbindelse eller at det relative forhold mellem f.eks. fem forskellige gasformige metabolitter er specifikt for patogenet. En anden mere enkel indfaldsvinkel er at måle ændringer af sammensætningen af flygtige organiske forbindelser i forhold til den, der kendes fra lagrede knolde, som vides ikke at være angrebet af patogener. Andre problemstillinger er, hvor hurtigt et begyndende angreb kan påvises, og om det kan lokaliseres til specifikke bokse eller storkasser på lageret. Monitorering af generel åndingsaktivitet, f.eks. CO₂-udskillelse, er for grov, fordi forandringer, ud over angreb af patogener, kan skyldes normale fysiologiske processer som f.eks. modning og spiring.

I praksis kan man benytte en elektronisk næse til at påvise angreb af patogener i lagrede kartoffelknolde. Der foreligger en del forskningsresultater herom. Først må man udarbejde en profil

over udvalgte flygtige organiske forbindelser, som sunde knolde udskiller over tid i lagringsperioden. Det omfatter en kvalitativ profil, som angiver hvilke forskellige flygtige organiske forbindelser, som optræder i løbet af lagringsperioden. De forskellige flygtige organiske forbindelser skyldes metaboliske ændringer i knoldene i de forskellige stadier, knoldene gennemløber under lagringen som f.eks. modning og spiring. Det omfatter desuden en kvantitativ profil, idet der sker kvantitative forskydninger i sammensætningen af de forskellige flygtige organiske forbindelser og i den totale udskillelse af flygtige organiske forbindelser. For knolde angrebet af patogener søger man efter flygtige organiske forbindelser, som er specifikke for det enkelte patogen, dvs. forskelle i den kvalitative profil i forhold til sunde knolde eller kvantitative ændringer i profilen. Ændringer i både den kvalitative og den kvantitative profil skyldes, at patogener metaboliserer knoldvævet, og der sker en emission af flygtige organiske forbindelser. To forskellige patogener, som nedbryder samme knoldvæv, vil have samme kvalitative profil af flygtige organiske forbindelser, men de kvantitative profiler vil kunne afvige fra hinanden, fordi de udskiller forskellige koncentrationer af de samme metaboliske enzymer, eller fordi deres aktivitetsniveauer er forskellige. En simpel måling af total åndingsaktivitet kan være for grov, fordi forandringer, ud over angreb af patogener, kan skyldes naturlige fysiologiske processer i knoldene, som f.eks. modning og spiring (Ouelette et al. 1990). Ratti et al. (1995) kunne dog påvise 200% højere CO₂-udskillelse fra knolde, fire dage efter at de var blevet angrebet af bakterien *Erwinia carotovora*, og denne forskel holdt sig i 15 dage.

Andre problemstillinger mht. brug af elektroniske næser er hvor hurtigt et angreb kan påvises, og om det kan stedfæstes til bestemte bokse eller storkasser på lageret. Hvor hurtigt et begyndende angreb kan påvises, vil afhænge af startkoncentrationen af patogenet, vækstbetingelser for patogenet, måleudstyrets detektionsgrænse og at profilen for den flygtige organiske forbindelse ikke kan stamme fra eksterne kilder som f.eks. sortérenheden. Endvidere spiller omkostninger til målinger og udstyr også ind (Varns & Glynn 1979 og Lyew et al. 2001).

Brug af elektroniske næser til at påvise flygtige organiske forbindelser er en veludviklet og velkendt teknik. Man beklæder kvartskrystaller med specifikke belægninger, som adsorberer specifikke flygtige organiske forbindelser. Kvartskrystaller har en egenfrekvens, som er kendt. Når der adsorberes en flygtige organiske forbindelse på overfladen, reduceres frekvensen proportionalt med mængde adsorberet stof. Ved at fremstille en overflade på krystallen, som udelukkende adsorberer en specifik forbindelse, vil det være muligt kvalitativt og kvantitativt at måle den specifikke flygtige organiske forbindelses profil. Ved at kombinere en række forskellige belægninger på krystaller, vil

det være muligt at måle en kvalitativ og kvantitativ profil for mange flygtige organiske forbindelser over tid, og sammenligne profilen med en kendt standard for sunde kartoffelknolde over tid.

Metodik til at regenerere adsorberende belægninger, så de nulstilles til nye målinger, er også velkendt.

Forskning i brug af elektroniske næser til at påvise kartoffellagerpatogener har især koncentreret sig om patogene bakterier. de Lacy Costello et al. (1999) sammenlignede profilen af flygtige organiske forbindelser fra tre patogene bakterier og fandt ikke nogen kvalitativ profil, som kunne skelne de tre bakterier fra hinanden, men de Lacy Costello et al. fandt, at det vha. bakteriernes kvantitative profiler var muligt at skelne dem specifikt fra sunde knolde. Varns & Glynn (1979), Ouellette et al. (1990), og Ratti et al. (1995) påviste specifikke profiler for flygtige organiske forbindelser fra *Erwinia carotovora* i forhold til sunde knolde. Waterer & Pritchard (1984a) og Ratti et al. (1995) fandt, at den totalt afgivne mængde flygtige organiske forbindelser fra *E. carotovora*-angrebne knolde var signifikant højere end fra sunde knolde. Lyew et al. (2001) undersøgte *E. carotovora* og kunne påvise forskelle i den kvalitative profil mellem sunde og bakterieinficerede knolde i løbet af 24 timer. Forskelle i den totale kvantitative produktion af flygtige organiske forbindelser kunne først påvises efter 48-60 timer. Waterer & Pritchard (1984b; 1985) sammenlignede profilen af flygtige organiske forbindelser fra knolde angrebet af ringråd (*Corynebacterium sepedonicum*) og blødråd (*E. carotovora*) og fandt en række fælles flygtige organiske forbindelser og én flygtige organiske forbindelser specifik for ringråd og to specifikke for blødråd. Der foreligger dog også resultater for *Fusarium*. de Lacy Costello et al (2001) undersøgte bl.a. *Fusarium solani* var. *coeruleum* og fandt specifikke flygtige organiske forbindelser, der adskilte *F.solani* var. *coeruleum* fra både *Phytophthora infestans* og sunde knolde foruden en signifikant højere afgivelse af flygtige organiske forbindelser fra de patogen-angrebne knolde i forhold til sund kontrol. Ouellette et al. (1990) fandt en specifik profil af flygtige organiske forbindelser for *Fusarium roseum* sammenlignet med profiler for *E. carotovora* og sunde knolde. Varns & Glynn (1979) påpeger en forskel mellem patogene bakterier og *Fusarium*, idet patogene bakterier som f.eks. *E. carotovora* meget hurtigt udvikler et angreb og derfor kan påvises med en kvantitativ profil af flygtige organiske forbindelser, mens *Fusarium* og *Phoma* udvikler sig langsomt, hvilket nødvendiggør påvisning vha. en kvalitativ profil, dvs. påvisning af mindst én specifik flygtige organiske forbindelse. de Lacy Costello et al. (2000) anvendte en gas-sensor, som kunne påvise én knold med blødråd (*E. carotovora*) i 100 kg sunde knolde og én knold med latent blødråd i 10 kg sunde

knolde. Med denne sensor kunne de Lacy Costello et al. (2000) følge udviklingen af blødråd i én knold placeret blandt 10 kg sunde knolde lagret ved 4°C og 85% RH.

Lyew et al. (1999) viste, at det vha. "multiple point sampling" af luftprøver i et lager var muligt at måle en rumlig variation i distributionen af flygtige organiske forbindelser.

Litteratur

- Adams, M.J. 1979. Factors affecting survival of *Phoma exigua* var *foveata* in soil. *Transactions of the British mycological Society* 73, 91-97.
- Adams, M.J. 1980. The significance of tuber damage and inoculum concentration of *Phoma exigua* var *foveata* in the development of gangrene in stored potato tubers. *Annals of applied Biology* 95, 31-40.
- Adams, J.W. & Todd, J.M. 1974. Observations on the relative occurrence of *Phoma exigua* var. *foveata* on weed hosts and potatoes. *Potato Research* 17, 349-350.
- Adams, M.J. & Griffith, R.L. 1978. The effect of harvest date and duration of wound healing conditions on the susceptibility of damaged potato tubers to infection by *Phoma exigua* (gangrene). *Annals of applied Biology* 88, 51-55.
- Adams, M.J. & Griffith, R.L. 1983. The effect of temperature before and after inoculation with of *Phoma exigua* var. *foveata* on the development of gangrene in potato tubers. *Plant pathology* 32, 325-333.
- Adams, M.J. & Lapwood, D.H. 1983. Transmission of *Fusarium solani* var. *coeruleum* and *F. sulphureum* from seed potatoes to progeny tubers in the field. *Annals of applied Biology* 103, 411-417.
- Adams, M.J., Hide, G.A. & Lapwood, D.H. 1985. Sampling potatoes for the incidence of tuber diseases and levels of inoculum. *Annals of applied Biology* 107, 189-203.
- Adams, M.J., Legg, P.R., Lapwood, D.H. & Hide, G.A. 1980. Relationships between disease levels on seed tubers, on crops during growth and in stored potatoes. 4. Gangrene and soft rot. *Potato Research* 23, 277-289.
- Bjor, T. 1987. Laboratory screening for resistance to gangrene and to *Fusarium* dry rot in potato. *Potato Research* 30, 517-524.
- Bell, K.S., Roberts, J., Verrall, S., Cullen, D.W., Williams, N.A., Harrison, J.G., Toth, I.K., Cooke, D.E.L., Duncan, J.M. & Claxton, J.R. 1999. Detection and quantification of *Spongospora subterranean* f.sp. *subterranean* in soils and on tubers using specific PCR primers. *European Journal of Plant Pathology* 105, 905-915.
- Boyd, A.E.W. 1970. Transmission of dry rot (*Fusarium caeruleum*) by seed tubers and by soil. *Proceedings of the 4th Triennial Conference of the E.A.P.R., Brest 8-13 September 1969*, 192-193.
- Boyd, A.E.W. 1972. Potato storage diseases. *Revue of Plant Pathology* 51, 297-321.
- Bång, H. 1976a. Mottagelighet för phomaröta och fusariumröta i potatissorter odlade i Sverige. *Växtskyddsnotiser* 40, 16-21.
- Bång, H. 1976b. Kemisk bekämpning av fusarium- och phomaröta. *Växtskyddsnotiser* 40, 29-35.
- Bång, H. 1984a. Mottagelighet för phoma- och fusariumröta i svenskt sortmaterial. *Växtskyddsrapporter. Jordbruk* 27, 1-23.
- Bång, H. 1984b. Jämförande studier av olika resistensmetoder för phoma-röta och fusarium-röta. *Växtskyddsrapporter. Jordbruk* 27, 51-67.

- Bång, H. 1984c. Variationer i mottaglighet för phoma- och fusariumröta under upptagnings- och lagringsperioden. Växtskyddsrapporter. Jordbruk 27, 24-40.
- Bång, H. 1984d. Variationer i motståndskraft mot phoma-röta under såråläkningsperioden relaterad till fysiologiska och morfologiska förändringar. Växtskyddsrapporter. Jordbruk 27, 41-50.
- Bång, U. 1976. Testmetoder för bestämning av Phoma- och Fusarium-infektioner i potatis. Växtskyddsnotiser 40, 22-28.
- Bång, U. 1986. Effects of planting potato tubers attacked by *Phoma exigua* var *foveata* on yield and contamination of progeny tubers. *Potato Research* 29, 321-331.
- Bång, U. 1987. Tvåstegsupptagningens inverkan på potatisens infektionsgrad av fomaröta och stjälkbakterios – en orienterande undersökning. Växtskyddsnotiser 51, 164-169.
- Bång, U. 1989a. Effect of haulm treatment and harvest time on incidence of tuber rots of potato (*Solanum tuberosum* L.) after standard wounding and on frequency of stem lesions caused by *Phoma foveata* Foister. *Potato Research* 32, 101-112.
- Bång, U. 1989b. Effect of harvest time and soil water tension on levels of contamination by *Phoma foveata* Foister in soil and on tubers and stems of potato (*Solanum tuberosum* L.). Växtskyddsrapporter. Avhandlingar 18, II. 1-19.
- Bång, U. 1989c. Relationship between levels of *Phoma foveata* Foister and *Fusarium solani* var. *coeruleum* (Sacc.) Booth infection in seed and in progeny tubers of potato (*Solanum tuberosum* L.) and effects of chemical seed treatment. Växtskyddsrapporter. Avhandlingar 18, IV.1-20.
- Bång, U. 1992. Influence of seed tuber infestation, chemical seed treatment, and pre-harvest climate on incidence of gangrene and dry rot of potato (*Solanum tuberosum* L.). *Potato Research* 35, 3-15.
- Carnegie, S.F., Adam, J.W. & Symonds, C. 1978. Persistence of *Phoma exigua* var *foveata* and *Polyscytalum pustulans* in dry soils from potato stores in relation to reinfection of stocks derived from stem cuttings. *Annals of applied Biology* 90, 179-186.
- Carnegie, S.F., Hide, G.A., Ruthven, A.D., Lindsay, D.A. & Adams, M.J. 1988. Control of potato gangrene by thiabendazole in relation to time of harvest after haulm destruction and site of production. *Annals of applied Biology* 113, 471-481.
- Carnegie, S.F., Gans, P.T., Jellis, G.J., Little, G., Logan, C & Wastie, R.L. 1989. The susceptibility of potato cultivars to gangrene in laboratory tests in relation to origin of tubers, damage, method of inoculation and test centre. *Potato Research* 32, 301-309.
- Copeland, R.B. & Logan, C. 1974. A comparison of methods for testing tubers for gangrene resistance. *Potato Research* 17, 350-351.
- Copeland, R.B. & Logan, C. 1976. The effect of interval from haulm destruction to harvest on the gangrene potential of tubers in storage. *Potato Research* 19, 203-213.
- Croke, F. & Logan, C. 1982. The effect of humidity on potato gangrene development in naturally contaminated tubers. *Plant Pathology* 31, 61-64.
- Cullen, D.W., Lees, A.K., Toth, I.K. & Duncan, J.M. 2001. Conventional PCR and real-time quantitative PCR detection of *Helminthosporium solani* in soil and on potato tubers. *European Journal of Plant Pathology* 107, 387-398.
- Cullen, D.W., Lees, A.K., Toth, I.K. & Duncan, J.M. 2002. Detection of *Colletotrichum coccodes* from soil and potato tubers by conventional and quantitative real-time PCR. *Plant Pathology* 51, 281-292.
- Filion, M., St-Arnaud, M. & Jabaji-Hare, S.H. 2003. Direct quantification of fungal DNA from soil substrate using real-time PCR. *Journal of Microbiological Methods* 53, 67-76.
- Filmer, A.A.E. & Land, D.G. 1978. The accumulation of volatile substances in a large modern potato store. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 29, 219-224.

- Fischl, G. 1991. Differences in susceptibility of some potato varieties to *Phoma exigua* var. *foveata* Foist in laboratory test. *Acta Phytopatologica et Entomologica Hungarica* 26, 295-301.
- Fox, R.A. & Dashwood, E.P. 1975. The effects of timing and method of haulm destruction and interval to harvest on the incidence of gangrene (*Phoma exigua* var. *foveata*) in stored potato tubers. Abstracts of the Conference Papers. 6th Triennial Conference of E.A.P.R., Wageningen, The Netherlands 15-19 September 1975, 88-89.
- Fox, R.A. & Dashwood, E.P. 1979. Inter- and intra-seasonal variations in inoculum levels and incidence of potato gangrene (*Phoma exigua* var. *foveata*). *Potato Research* 22, 209-221.
- Förster, H. 1978. Bestimmung des Grades des Fusarium-befalls an gelagerten Kartoffeln. Tag.-Ber., Akad. Landwirtsch.-Wiss. DDR, Berlin 157, 113-119.
- Gorris, L.G.M., & Smid, E.J. 1995. Crop protection using natural antifungal compounds. *Pesticide Outlook* 6, October 1995, 20-24.
- Graham, D.C, Hamilton, G.A., Nash, M.J. & Lennard, J.L. 1973. Fumigation of bulk-stored potatoes with 2-aminobutane for control of gangrene, skin spot and silver scurf diseases. *Potato Research* 16, 234-243.
- Graham, D.C, Hamilton, G.A., Quinn, C.E. & Ruthven, A.D. 1975. Control of potato gangrene by fumigation of tubers with 2-aminobutane after periods of storage. *Potato Research* 18, 410-415.
- Granzow, H. 1978. Histologisch-zytologische Untersuchungen zum Infektions- und Krankheitsverlauf der Fusarium-Trockenfäule der kartoffelknolle (*Fusarium sulphureum* Schlect. und *F. solani* (Mart.) Sacc. Var. *coeruleum* (Sacc.) Booth). Tag.-Ber., Akad. Landwirtsch.-Wiss. DDR, Berlin 157, 71-79.
- Hamilton, G.A. 1985. Fumigation of potatoes with 2-aminobutane for control of gangrene and skin spot. *Bulletin EPPO/EPPO Bulletin* 15, 25-28.
- Henriksen, J.B. 1977. Assessment of rotcausing tuber diseases by colonization indices for the establishment. *Potato Research* 20, 267.
- Hide, G.A. 1981. Fungus diseases on potato seed tubers planted in England and Wales, 1963-76. *Annals of applied Biology* 98, 377-393.
- Hide, G.A. & Philippa, R.L. 1974. Predicting disease potential and post-harvest disease from assessments during growth. *Potato Research* 17, 353.
- Hide, G.A. & Cayley, G.R. 1983. Effects of delaying fungicide treatment on the incidence of gangrene in stored potato tubers. *Annals of applied Biology* 102, 107-115.
- Hide, G.A., Griffith, R.L & Adams, M.J. 1977. Methods of measuring the prevalence of *Phoma exigua* on potatoes and in soil. *Annals of applied Biology* 87, 7-15.
- Jeger, M.J., Hide, G.A., van der Boogert, P.H.J.F., Termorshuizen, A.J. & van Baarlen, P. 1996. Pathology and control of soil-borne fungal pathogens of potato. *Potato Research* 39, 437-469.
- Jellis, G.J. 1978. Determining the susceptibility of potato clones to gangrene (*Phoma exigua* var. *foveata*). *Potato Research* 21, 135-143.
- Jönsson, U. & Bång, H. 1979. Mottagelighet för torra rötter i potatis. Förändringar under vegetationsperioden. *Växtskyddsnotiser* 43, 54-57.
- Khan, A.A. 1974. Time of infection of *Phoma exigua* var. *foveata* causing potato gangrene. *Indian Phytopathology* 27, 340-341.
- De Lacy Costello, B.P.J., Ewen, R.J., Gunson, H.E., Ratcliff, N.M. & Spencer-Phillips, P.T.N. 2000. The development of a sensor system for the early detection of soft rot in stored potato tubers. *Meas. Sci. Technol.* 11, 1685-1691.
- De Lacy Costello, B.P.J., Evans, P., Ewen, R.J., Gunson, H.E., Ratcliff, N.M. & Spencer-Phillips, P.T.N. 1999. Identification of volatiles generated by potato tubers (*Solanum tuberosum* cv:

- Maris Piper) infected by *Erwinia carotovora*, *Bacillus polymyxa* and *Arthrobacter* sp. *Plant Pathology* 48, 345-351.
- De Lacy Costello, B.P.J., Evans, P., Ewen, R.J., Gunson, H.E., Jones, P.R.H., Ratcliff, N.M. & Spencer-Phillips, P.T.N. 2001. Gas chromatography-mass spectrometry analyses of volatile organic compounds from potato tubers inoculated with *Phytophthora infestans* or *Fusarium coeruleum*. *Plant Pathology* 50, 489-496.
- Langton, F.A. 1971. The effects of temperature on the development of gangrene following laboratory inoculation of potato tubers with *Phoma exigua* var. *foveata*. *Physiological Plant Pathology* 1, 477-487.
- Langton, F.A. 1972. The reliability of a laboratory test for assessing gangrene susceptibility. *Potato Research* 15, 266-268.
- Lapwood, D.H., Bell, F., Harris, R.I., Hide, G.A. & Adams, M.J. 1979. Possibilities of forecasting potato storage diseases from tests on seed tuber and crop samples. *Plant Pathology* 28, 181-190.
- Lees, A.K., Cullen, D.W., Sullivan, L. & Nicolson, M.J. 2002. Development of conventional and quantitative real-time PCR assays for the detection and identification of *Rhizoctonia solani* AG-3 in potato and soil. *Plant Pathology* 51, 293-302.
- Logan, C. 1967. The control of potato gangrene by tuber disinfection. *Record of Agricultural Research (Ministry of Agriculture Northern Ireland)* 16: 25-28.
- Logan, C. 1974. The effect of soil- and tuber-borne inoculum on the incidence of potato gangrene. *Annals of applied Biology* 78, 251-259.
- Logan, C. 1976. The spread of *Phoma exigua* within the potato crop. *Annals of applied Biology* 82, 169-174.
- Logan, C. 1981. Gangrene. In Hooker, W.J. (Editor). *Compendium of potato diseases*. The American Phytopathological Society, 57-58.
- Logan, C., Copeland, R.B. & Little, G. 1977. Potato tuber disinfection in Northern Ireland. *Papers on Symposium: Problems of Pest and Disease Control on Northern Britain*, 41.
- Logan, C., Hossain, M. & Little, G. 1987. The effect of various levels of nitrogen, phosphate and potash and climatic factors on the incidence of potato black leg and gangrene. *Record of Agricultural Research/ Northern Ireland. Department of Agriculture* 35, 17-22.
- Lui, L.H. & Kusalappa, A.C. 2002. Response surface models to predict potato tuber infection by *Fusarium sambucinum* from duration of wetness and temperature, and dry rot lesion expansion from storage time and temperature. *International Journal of Food Microbiology* 76, 19-25.
- Lyew, D., Gariépy, Y., Raghaven, G.S.V. & Kusalappa, A.C. 2001. Changes in volatile production during an infection of potatoes by *Erwinia carotovora*. *Food Research International* 34, 807-813.
- Lyew, D., Gariépy, Y., Ratti, C., Raghaven, G.S.V. & Kusalappa, A.C. 1999. An apparatus to sample volatiles in a commercial potato storage facility. *Applied Engineering in Agriculture* 15, 243-247.
- MacDonald, J.E.; White, G.P.; Cote, M.J. 2000. Differentiation of *Phoma foveata* from *P. exigua* using a RAPD generated PCR-RFLP marker. *European Journal of Plant Pathology* 106, 67-75.
- Malcolmson, J.F. & Gray, E.G. 1968a. Factors affecting the occurrence of gangrene (*Phoma exigua*) in potatoes. *Annals of applied Biology* 62, 77-87.
- Malcolmson, J.F. & Gray, E.G. 1968b. The incidence of gangrene of potatoes caused by *Phoma exigua* in relation to handling and storage. *Annals of applied Biology* 62, 89-101.

- Meijers, C.P. 1975. Occurrence of dry rot after grading. Abstracts of Conference Papers. 6th Triennial Conference of E.A.P.R., Wageningen, The Netherlands 15-19 September 1975, 113-114.
- Meijers, C.P. 1987. Invloed van de bewaarcondities op de aantasting van aardappelen door micro-organismen. Landbouwkundig Tijdschrift 87/6, 147-153.
- Nielsen, L.W. 1981. Fusarium dry rots. In Hooker, W.J. (Editor). Compendium of potato diseases. The American Phytopathological Society, 58-60.
- Nielsen, L.W. & Johnson, J.T. 1972. Seed potato contamination with fusarial propagules and their removal by washing. American Potato Journal 49, 391-396.
- Olofsson, J. 1976. Vigtiga sjukdomme i potatislager. Växtskyddsnotiser 40, 40-55.
- Ouellette, E., Raghavan, G.S.V., Reeleder, R.D & Greenhalgh, R. 1990. Volatile monitoring technique for disease detection in stored potatoes. Journal of Food Processing and Preservation 14, 279-300.
- Pietkiewicz, J.B. & Jellis, G.J. 1975. Laboratory testing for the resistance of potato tubers to gangrene (*Phoma exigua* var. *foveata*). Phytopathologische Zeitschrift 83, 289-295.
- Ranganna, B., Raghavan, G.S.V. & Kusalappa, A.C. 1995. Effect of ultraviolet radiation on control of diseases for short-term storage of potatoes (*Solanum tuberosum* L.). Proceedings of the International Conference Harvest and Postharvest Technologies for Fresh Fruits and Vegetables, 20-25 February 1995, Guanajoato, Mexico. (Eds. Kushwaha, L., Serwatowski, R. & Brook, R.), 293-301.
- Ranganna, B., Kusalappa, A.C. & Raghavan, G.S.V. 1997. Ultraviolet irradiance to control dry rot and soft rot of potato in storage. Canadian Journal of Plant Pathology 19, 30-35.
- Ranganna, B., Raghavan, G.S.V. & Kusalappa, A.C. 1998. Hot water dipping to enhance storability of potatoes. Postharvest Biology and Technology 13, 215-223.
- Ratti, C., Gariépy, Y. & Raghavan, G.S.V. 1995. Collection and analysis of headspace volatiles for disease detection in stored potatoes. Proceedings of the International Conference Harvest and Postharvest Technologies for Fresh Fruits and Vegetables, 20-25 February 1995, Guanajoato, Mexico. (Eds. Kushwaha, L., Serwatowski, R. & Brook, R.), 255-261.
- Scheitza, R. 1983. Biologische Grundlagen zur Prüfung von Kartoffelsorten auf Resistenz gegen *Phoma exigua* var. *foveata*. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz 90, 650-661.
- Scheitza, R. & Hoffmann, G.M. 1986. Resistenzverhalten von Kartoffelsorten gegen *Phoma*-Knollen-Fäule (Erreger: *Phoma exigua* var. *foveata*). Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz 93, 278-284.
- Secor, G.A. & Gudmestad, N.C. 1999. Managing fungal diseases of potato. Canadian Journal of Plant Pathology 21, 213-221.
- Seppänen, E. 1980. Studies on potato gangrene in Finland. Annales Agriculturae Fenniae 19, 173-179.
- Seppänen, E. 1982. Fusariums of the potato in Finland IV. Variation of tuber resistance to storage diseases before and after harvesting. Annales Agriculturae Fenniae 21, 123-130.
- Seppänen, E. 1983a. Fusariums of the potato in Finland VII. Yield decrease caused by pathogens of potato dry rots and gangrene. Annales Agriculturae Fenniae 22, 110-114.
- Seppänen, E. 1983b. Fusariums of the potato in Finland VIII. Occurrence of the pathogens causing potato dry rot and gangrene. Annales Agriculturae Fenniae 22, 115-119.
- Small, T. 1944. Dry rot of potato (*Fusarium caeruleum* (Lib.) Sacc.). Investigation on the sources and time of infection. Annals of applied Biology 31, 290-295.

- Stevens, C., Khan, V.A., Lu, J.Y., Wilson, C.L., Chalutz, E, Droby, S., Kabwe, M.K., Haung, Z., Adeyeye, O, Pusey, L.P. & Tang, A.Y.A. 1999. Induced resistance of sweetpotato to *Fusarium* root by UV-C hormesis. *Crop Protection* 18, 463-470.
- Todd, J.M. & Adam, J.W. 1974. Varietal resistance tests for potato gangrene and their interpretation. *Potato Research* 17, 351.
- Umærus, V. 1976. Röttsvamparnas biologi och förudsättningar för resistensförädling. *Växtskyddsnotiser* 40, 9-15.
- Varns, J.L. & Glynn, M.T. 1979. Detection of disease in stored potatoes by volatile monitoring. *American Potato Journal* 56, 185-197.
- Vestman, G. 1976. Försög med bekämpning av phomaröta i potatis. *Växtskyddsnotiser* 40, 36-39.
- Walker, R.R. & Wade, G-C. 1976. Epidemiology of potato gangrene in Tasmania. *Australian Journal of Botany* 24, 337-347.
- Waterer, D.R. & Pritchard, M.K. 1984a. Monitoring of volatiles: A technique for detection of soft rot (*Erwinia carotovora*) in potato tubers. *Canadian Journal of Plant Pathology* 6, 165-171.
- Waterer, D.R. & Pritchard, M.K. 1984b. Volatile monitoring as a technique for differentiating between *E. carotovora* and *C. seppedonicum* infections in stored potatoes. *American Potato Journal* 61, 345-353.
- Waterer, D.R. & Pritchard, M.K. 1985. Production of volatile metabolites in potatoes infected by *Erwinia carotovora* var. *carotovora* and *Erwinia carotovora* var. *atroseptica*. *Canadian Journal of Plant Pathology* 7, 47-51.
- Wilson, H.M. & Dashwood, E.P. 1974. Histology of potato gangrene (*Phoma exigua* var. *foveata*). *Potato Research* 17, 351.
- Wirsema, H.T. 1977. Laboratory testing for the resistance of potato tubers to dry rot (*Fusarium coeruleum*). *Potato Research* 20, 268-269.
- Zaccardelli, M., Vitale, S., Luongo, L. & Corazza, L. 1999. Molecular characterization of *Fusarium solani* from potato. *Journal of Plant Pathology* 81, 240.
- Zott, A. & Janke, C. 1983. Wechselwirkungen zwischen *Phoma exigua* var. *foveata* (Foister) Boerema und anderen Trockenfäuleerregern der Kartoffel. *Archives der Phytopathologie und Pflanzenschutz*, Berlin 19, 15-28.