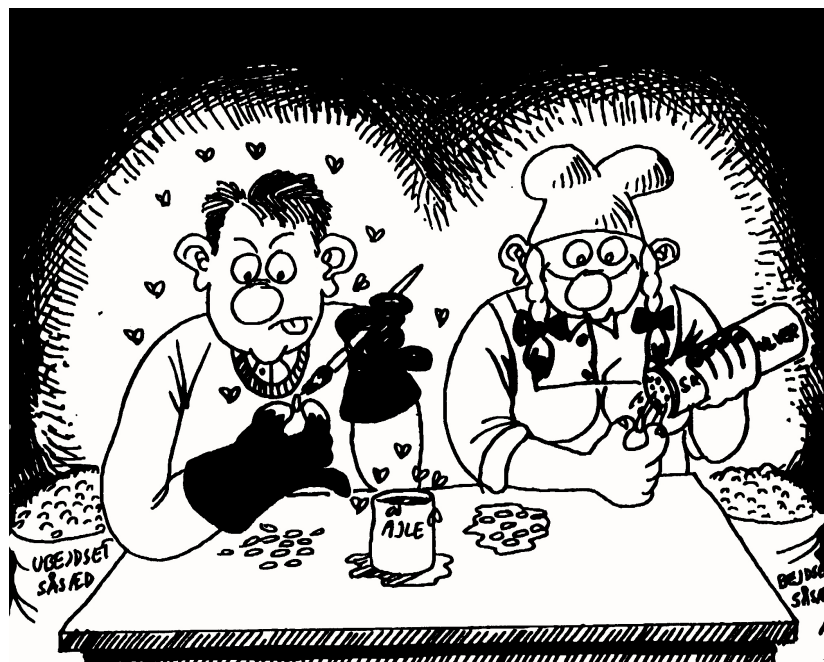


Hvedens stinkbrand

- en udfordring for principperne for økologisk plantebeskyttelse



Ph.d.afhandling

af Anders Borgen

Ph.d.-afhandling udarbejdet ved Den Kongelige Veterinær- og Landbohøjskoles
Institut for Jordbrugsvidenskab i fagområdet Økologisk Jordbrug.

Udgivet af forfatteren. Første oplag trykt i 10 nummererede eksemplarer i forbindelse
med den officielle aflevering af afhandlingen. Andet oplag trykt på DSR Grafik i 150
eksemplarer.

ISBN 87-988060-9

Tegning på titelbladet er reproduceret med tilladelse af Morten Telling og Magasinet
Økologisk Jordbrug. Enhver lighed mellem tegningens motiv og forskere eller
laboranter i tilknytning til Landbohøjskolens økologiske jordbrugsforskning i løbet af
1990'erne må formodes at være tilsigtet.

Fotos på omslaget af forfatteren. Bemærk kloroseme på bladene på de syge planter,
jvf. Appendiks 1.

Forord

Ph.d.-studenten og hans projekt

Allerede under udarbejdelsen af mine hovedopgaver på agronomstudiet (1990-92) om frøbårne sygdomme i økologisk jordbrug var stinkbrand et centralt emne, og i senere forskningsprojekter om såsædskvalitet i økologisk jordbrug (1993-95) arbejdede jeg også med bl.a. stinkbrand. I 1995 definerede jeg og startede nærværende ph.d.-projekt, som udelukkende har handlet om stinkbrand i økologisk jordbrug. Arbejdet er siden blevet suppleret med et forskningsprojekt i regi af Forskningscenter for Økologisk Jordbrug (FØJO) om stinkbrand og stængelbrand i rug, et projekt fra Strukturdirektoratets økologiske udviklingsprogram om stinkbrand, nøgen bygbrand, sribesygge m.fl., og et græsrodsforskningsprojekt på Mørdrupgård om stinkbrand og andre sygdomme og problemer i økologisk såsæd.

I løbet af denne tid har jeg alene eller i samarbejde med andre gennemført en række undersøgelser og forsøg, hvoraf centrale dele er publiceret i de artikler, som er præsenteret i de 6 appendiks, og som sammen med litteraturstudiet danner grundlaget for konklusionen på afhandlingen. Der er imidlertid også gennemført stinkbrandrelevante forsøg, som ikke er publiceret. Det drejer sig dels om forsøg, som på grund af uheld eller andre forsøgsfejl ikke er blevet publikationsegnete, og dels om igangværende forsøgsarbejde.

Eksempelvis ligger der i skrivende stund markforsøg med varmtvandsbehandling, bejdsning med forskellige organiske syrer, fysisk rensning og biologisk bekæmpelse, og hvor der om kort tid vil indløbe nye resultater. Enkelte steder i teksten henvises der således til upublicerede forsøg og egne erfaringer. Dette gøres i tilfælde, hvor resultaterne og erfaringerne trods alt bidrager med informationer, der kan medvirke til at danne overblik, og forsøgsdesign og resultater beskrives kun summarisk. Min forskning med stinkbrand fortsætter således i hvert fald et stykke tid endnu, og arbejdet med stinkbrand bliver næppe nogensinde færdigt. Det er mit håb, at jeg får mulighed for at færdiggøre dette igangværende arbejde, og hvis de finansielle muligheder byder sig, vil jeg heller ikke udelukke at sætte nye forsøg i gang med dette emne, måske allerede i indeværende inkarnation. Jeg har dog valgt ikke at afvente afslutningen af ph.d.-afhandlingen til dette er sket. Dette er gjort dels af økonomiske grunde, dels ud fra den betragtning, at jeg med det argument muligvis aldrig ville få den færdig, fordi der måske altid vil være igangværende arbejde, som mangler afslutning.

Sidst i afhandlingen når jeg på baggrund af de tilvejebragte præmisser frem til en konklusion, der stiller spørgsmålstejn ved, om behovet for bekæmpelse egentligt er så stort, som jeg og mange andre har gået og troet. Dette står i kontrast til det store arbejde jeg også selv har lagt i udvikling af bekæmpelsesmetoder mod sygdommen. Set med bagklogskabens ulidelige klarsyn er det muligt, at den forsøgsmæssige prioritering i projektet kunne have været anderledes med mindre vægt på bekæmpelsesmetoder ved høje sporeniveauer til fordel for eksperimentelt arbejde, der kunne støtte denne del af

konklusionen i form af forsøg med sortsafhængige skadetærskler ved praksisrelevante sporeniveauer, og på betydningen af almindelig rensning af såsæd for sporeindholdet. Jeg må dog stå fast på min konklusion, når jeg ikke kan nå til andre på det foreliggende grundlag, og så lade den være rettesnor for prioriteringen af det fremtidige arbejde med sygdommen.

Afhandlingen er en officiel ph.d.-afhandling, og er forsøgt skrevet på en måde, så den lever op til de formelle krav, hvor det centrale selvsagt er at vise, at jeg er kvalificeret til titlen som ph.d. eller 'lic.agro.' som det hed tidligere. Alligevel har jeg forsøgt at skrive den på en måde, så også andre end eksaminator og censorer med interesse for stinkbrand og plantebeskyttelse i økologisk jordbrug kan få glæde af læsningen. Jeg har således valgt at skrive afhandlingen på dansk og forsøgt at undgå snævre faglige udtryk uden forklaring. Jeg håber at kunne sidde på begge stole samtidigt uden at falde ned.

Erkendtlighed

Jeg vil gerne benytte lejligheden til at takke de mange, der har været behjælpelige og støttet mig i mit arbejde med ph.d.-projektet. Min familie vil jeg takke for at have fået lov til at gennemføre det, også i tider, hvor lønnen ikke var det, der bar arbejdet igennem. Min kollega og studiekammarat gennem et årti, Lars Kristensen, med hvem samarbejdet har været så tæt, at det største problem har været at adskille hans og min ph.d.-afhandling til to individuelle arbejder. Mine vejledere, Jesper Rasmussen, Hanne Østergaard og John Porter, både for at forsøge at få mig til at holde mig til emnet og for ikke at indføre urimelige restriktioner, når det ikke lykkedes. Per Kølster, som var min vejleder i starten af projektet, og som i en lang periode "var" økologisk jordbrug på Landbohøjskolen, og som her igennem i høj grad har præget mit arbejde med økologien. Mine kolleger ved Agroøkologi og CØM, som jeg har nydt samværet med, når jeg en sjælden gang ikke svigtede dem ved at arbejde hjemme. Landbohøjskolen som institution, som har finansieret en del af projektet og givet mig frie og fleksible arbejdsvilkår, og Strukturdirektoratet, som har finansieret resten af den forskning, som har indgået i projektet.

Møn, den 8. august 2000

Anders Borgen

Sammendrag

I afhandlingen beskrives principperne for økologisk plantebeskyttelse og der argumenteres for, at en plantesygdom som stinkbrand primært bør forebygges frem for at blive bekæmpet i et økologisk dyrkningssystem. Stinkbrandens biologi analyseres med henblik på at finde mulige forebyggende dyrkningsmetoder. Endvidere undersøges mulige bekæmpelsesmetoder, som er tilpasset økologisk jordbrug. Det konkluderes, at der findes forebyggende metoder, og at det er sandsynligt, at en systematisk udnyttelse af disse vil kunne forhindre hovedparten af problemerne med sygdommen. Det konkluderes endvidere, at der er muligheder for bekæmpelse i økologisk jordbrug, som kan bruges som sikkerhedsnet under dyrkningssystemet.

I afhandlingen gengives 6 eksperimentelle artikler, som dækker udvalgte emner inden for stinkbrandens biologi og bekæmpelse. Det vises, at stinkbranden kan agere som jordbåren patogen også i dyrkningssystemer med flere års dyrkning af ikke modtagelige afgrøder. Det dokumenteres, at mejetærskeren kan fungere som spredningsvektor for sporer, og at der i de første 3-4 tømninger af en mejetærskers korntank efter høst af en angreben mark er risiko for at overføre sporer til en efterfølgende afgrøde. Det vises, at stinkbrand kan bekæmpes fuldstændig ved neddykning i varmt vand i 1-5 minutter ved 50-55 °C uden påviselig negativ påvirkning af kornets spiring. Patogenet er mest følsom over for temperaturen, mens kornet er mere følsom over for tiden ved den pågældende temperatur. Stinkbrand kan bekæmpes ved coatning med mælkepulver, dog ikke uden negativ effekt på kornets spiringshastighed. Den negative effekt på spiringen er proportional med doseringen af mælkepulver, medens effekten på patogenet er størst med lav dosering. Herved er der en høj selektivitet ved lave doseringer, der kan udnyttes i kombination ved andre metoder. Det vises at nogle biologiske midler har en effekt, men at der ikke p.t. er kommercielt tilgængelige biologiske midler, der alene kan bekæmpe sygdommen effektivt. Ved at kombinere behandling med mælkepulver og biologiske midler forbedres mulighederne for at udvikle et biologisk middel til bekæmpelse af stinkbrand. Det vises, at man i de fleste hvedesorter kan gennemføre eksperimentelt arbejde med stinkbrand ved at basere diagnosen på bladsymptomer i stedet for akksymptomer, hvilket kan nedsætte tidsforbruget f.eks. ved eksperimentelt arbejde med udvikling af bekæmpelsesmetoder.

English summary

A. Borgen: Common bunt in wheat - a challenge for the principles of ecological plant protection. Ph.D.-thesis at The Royal Agricultural and Veterinary University.

The thesis starts with discussion of the principles of organic agriculture, and it is argued that a plant disease like common bunt should be prevented rather than be treated in an organic cropping system. The biology of the pathogen is analysed in order to find preventive measures for crop infection and some treatments applicable in organic farming. I conclude that preventive methods are available, and that these will be able to prevent most problems with the disease. However, treatments applicable in organic farming are available that can be used to secure the cropping system in cases where preventive measures fail to do so.

In the thesis 6 articles are reprinted, covering selected issues of the biology and control of common bunt. I show that common bunt can act as a soil-borne disease in cropping systems with several years without susceptible crops. It is shown that the combine harvester can serve as a transmission vector for the pathogen, and that the risk of spore transmission to a non-infected crop is present for up to 4 emptyings of the seed tank, if the combiner has harvested an infected crop. It is shown that common bunt can be effectively controlled by dipping the seeds in hot water for 1-5 minutes at 50-55 °C without a significant reduction in seed germination. The pathogen is more sensitive to the temperature level, while seed germination is more sensitive to the duration of the treatment. Coating seeds with milk powder has an effect on bunt infection, but with this treatment seed germination is significantly reduced. This reduction in germination is proportional to the milk powder dose applied, while the effect on disease development is most pronounced at low doses. Therefore the selectivity of the treatment is highest at low doses meaning that it can be used in combination with other treatment. It is shown that some other biological treatments have effects, but at the moment in Denmark no such commercial seed treatment agents are available with an adequate effect. By combining milk powder and biological agents, the chance for development of an effective treatment is improved. Finally, it is shown that leaf symptoms of bunt infection can be used in many wheat varieties instead of diagnosis in the head of the plant, and that this method can decrease the time used in experimental work such as the development of new seed treatments.

Indholdsfortegnelse

Forord	iii
Ph.d.-studenten og hans projekt	iii
Erkendtlighed	iv
Sammendrag	v
English summary	vi
Indledning	1
Strategi for plantebeskyttelse i økologisk jordbrug	1
Regulering af hvedens stinkbrand	4
Patogen	8
Taksonomi	8
Infektionsbiologi	8
Temperaturforhold	9
Lys, ilt m.m.	11
Trimethylamin	12
Giftighed	13
Opformering	14
Modtagelighed og resistens	16
Anvendelse af resistens i økologisk jordbrug	20
Symptomer	21
Diagnostiske metoder i forsøgsarbejde med stinkbrand	22
Patogenets spredning	24
Spredning via mejetærsker	25
Jordsmitte	25
Teoretisk overvejelse over stinkbrandens naturlige spredningsmønster	28
Sygdommens bekæmpelse	30
Forsøgsdesign	30
Bivirkninger på spireevnen	31
Statistik	32
Varmtvandsmetoden	32
Forspiring af såsæd	33
Tør termisk behandling	33
Mælkepulver behandling	34
Biologiske midler	35
Andre metoder til kornbehandling	37
Fysisk rensning	37
Bejdsning med plantedele og -ekstrakter	39
Bejdsning med midler med pH-virkning	40
Kommercielle midler	41
Syntese	42
Det eksperimentelle arbejde	42
Konsekvenser for forståelsen af stinkbrandens forekomst	43

Og hvad kan vi så bruge det til?	44
1. Isolering fra smittekilder	44
2. Begrænsning af mulighederne for opformering	45
3. Direkte bekæmpelse	45
En samlet strategi for regulering af hvedens stinkbrand	46
Litteraturliste	48
Appendiks 1: <u>Borgen og Kristensen: Macroscopic leaf symptoms in wheat infected by <i>Tilletia tritici</i></u>	<u>59</u>
Appendiks 2: <u>Kristensen og Borgen: Reduction of spore spread of common bunt (<i>Tilletia tritici</i>) via combining equipment</u>	<u>67</u>
Appendiks 3: <u>Borgen 2000: Perennial survival of common bunt (<i>Tilletia tritici</i>) in soil under modern farming practice</u>	<u>79</u>
Appendiks 4: <u>Kristensen og Borgen: Water based thermo therapy in control of common bunt in wheat</u>	<u>87</u>
Appendiks 5: <u>Borgen og Kristensen: Milk powder seed treatment to control common bunt (<i>Tilletia tritici</i>) in wheat</u>	105
Appendiks 6: <u>Borgen og Davanlou 2000: Biological control of common bunt in organic agriculture</u>	<u>121</u>

Indledning

Økologisk jordbrug er betegnelsen for den dyrkningsform som udøves af jordbrugere, der af forskellige grunde har valgt at følge de regler, som loven foreskriver at man skal for at kunne sælge varerne med betegnelsen 'økologiske' (EØF 1991, Plantedirektoratet 2000). Imidlertid er dette regelsæt ikke opstået af ingenting. Reglerne er udtryk for, at en gruppe af jordbrugere og forbrugere, eller en bevægelse om man vil, har været enige om at ville udvikle et dyrkningssystem efter nogle bestemte principper. Når man forsøger at definere disse principper kommer man let til at trække nogle holdninger ned over hovedet på nogle, som ikke har, eller ikke ved at de har, disse holdninger. Nogle økologiske landmænd kan således have natursyn, som ligger tæt på det konventionelle jordbrugs (Kaltoft 1997, Petersen 1998, Michelsen og Kølster 1998). Når jeg i det følgende beskriver det økologiske jordbrugs natursyn og de konsekvenser, det har for udviklingen af en strategi for plantebeskyttelse, vil jeg tage udgangspunkt i de principper, der oprindeligt lå til grund for udformningen af det økologiske jordbrug, og som f.eks. afspejles i reglerne og målsætningerne i IFOAM (1998) og LØJ (1999), og som kan beskrives som jord-frugtbarheds-paradigmet (Kaltoft 1997). Dette gøres vel vidende, at altså ikke alle økologiske jordbrugere tilslutter sig dette paradigme, ligesom der til gengæld kan være konventionelle jordbrugere som gør det.

Strategi for plantebeskyttelse i økologisk jordbrug

I økologisk jordbrug er det et væsentligt mål at konstruere et kybernetisk virkende dyrkningssystem, d.v.s. et system, der *i videst mulig omfang* regulerer sig selv, og hvor landmandens fornemmeste opgave er at designe systemet på en måde, så bedriften virker som en helhed, hvor de enkelte dele understøtter denne helhed, og hvor problemer med sygdomme, ukrudt og skadedyr forebygges (Spieß 1996, IFOAM 1998, Borgen 1998, LØJ 1998, Borgen 1999a). Planteskadegørerne opfattes således ikke som problemer i sig selv, men som symptomer på, at designet af dyrkningssystemet ikke har været optimalt.

Et væsentligt element i forståelsen af den ideelle målsætning for økologisk plantebeskyttelse er i denne forbindelse begrebet "i videst mulig omfang". Den ideelle målsætning vil næppe nogensinde nås, og skadegørere eksisterer rent faktisk - også i økologisk jordbrug. Direkte bekæmpelse af planteskadegørere, og dermed forskning i direkte bekæmpelse, kan således godt legitimeres i situationer, hvor skadegøreren ikke i fornødent omfang kan reguleres ved hjælp af forebyggende foranstaltninger med vor nuværende viden og erfaring om systemdesign.

Man kan udtrykke det på den måde, at konventionelt jordbrug og for den sags skyld også biodynamisk jordbrug har et antropocentrisk udgangspunkt. Dyrkningsmål defineres her ud fra menneskelige behov, og planteskadegørere har derfor ikke noget formål for systemet og bliver derfor defineret som problemer. I modsætning hertil har økologisk jordbrug et biocentrisk udgangspunkt, og naturens måde at reagere på udefra kommende påvirkninger bliver dermed en integreret del af selve målet (Goldsmith 1992).

Planteskadegørere er et udtryk for naturens egen respons på de vilkår den bydes, og dermed den tilpasningsevne, som man netop ønsker at dyrkningssystemet har. Udfordringen bliver så ikke at bekæmpe planteskadegørerne til menneskets fordel, men at skabe nogle vilkår for dyrkningssystemet, så den reagerer med tilpasninger, der er til mindst mulig skade for de menneskelige dyrkningsmål.

I økologisk jordbrug tilstræbes det således at skabe stabile, robuste økosystemer. Forskellige naturopfattelsers vurdering af økosystemernes grad af robusthed kan illustreres som vist i Figur 1 (Miljøministeriet 1999a).

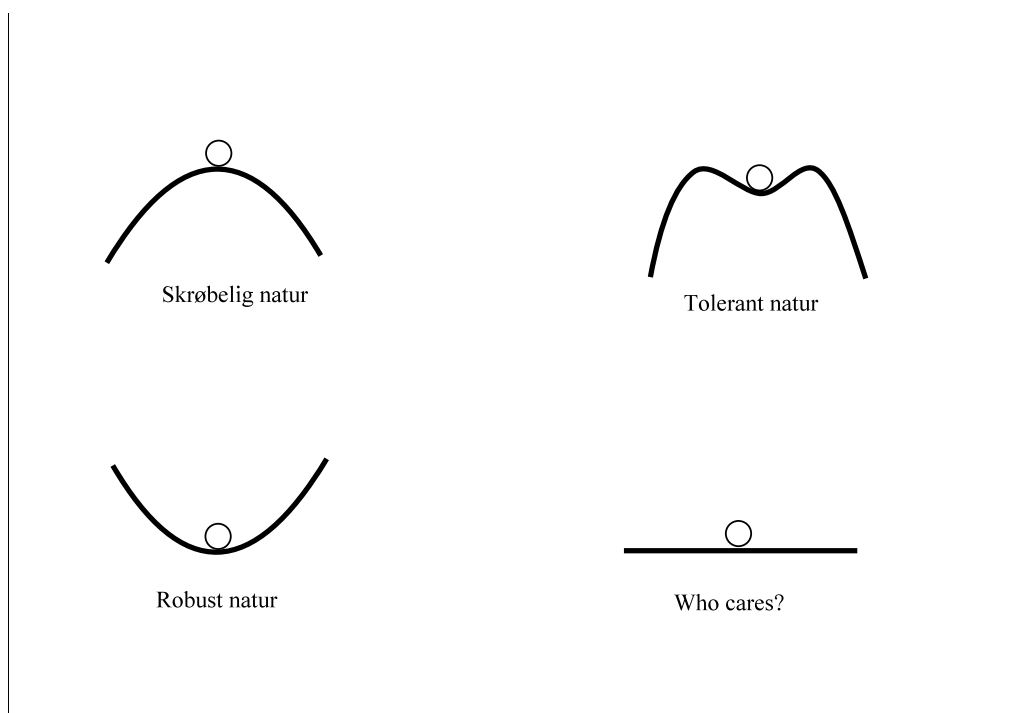


Figure 1. Naturens robusthed over for menneskelige påvirkninger vurderet efter forskellige naturopfattelser, illustreret efter Miljøministeriet 1999a.

Ifølge Bichel-udvalgets analyser af naturopfattelserne bag dyrkningspraksis opfatter det økologiske jordbrug primært naturen som skrøbelig, mens konventionelt jordbrug er udviklet ud fra en opfattelse om, at naturen er robust over for menneskelige påvirkninger (Miljøministeriet 1999a). Hvis analogien til illustrationen føres videre, kan man opfatte de fire figurer, der beskriver naturopfattelserne, som noget der i virkeligheden er det samme. Uenigheden går nærmere på, hvor stor naturpåvirkningen er i forhold til naturens stabilitet og selvregulerende evne. Er påvirkningen lille i forhold til naturens selvregulerende evne, får man en situation med robusthed (Figur 2), er påvirkningen stor, bliver systemet skrøbeligt (Figur 3).

I økologisk jordbrug tilstræbes det at opnå et så robust selvregulerende agroøkosystem som muligt. Dette opnås ved at stræbe mod reguleringsforanstaltninger, der er så små som muligt. I modsætning til

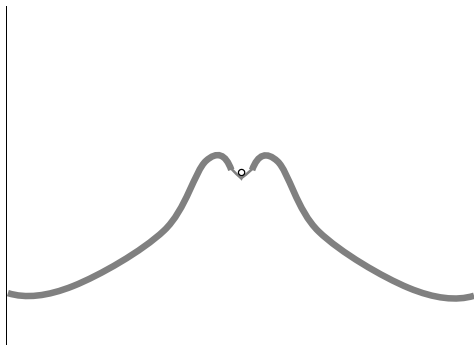


Figure 3 Illustration af en situation med lille naturpåvirkning i forhold til naturens selvregulerende evne, og hvor systemet derfor er robust over for påvirkningen.

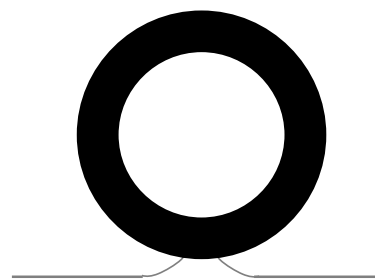


Figure 2 Illustration af en situation med stor naturpåvirkning i forhold til naturens selvregulerende evne, og hvor systemet derfor bliver skrøbelig.

konventionelt jordbrug, hvor en behandlings egnethed for systemet vurderes alene ud fra en rentabilitetsvurdering (herunder også vurdering af de økonomiske konsekvenser af en eventuel langsigtet miljøpåvirkning), så er det i økologisk jordbrug en integreret målsætning altid at vælge den behandling, som miljømæssigt påvirker naturen mindst, også selv om der ikke er økonomiske konsekvenser af behandlingsvalget. Defineringen af den miljømæssigt mindste påvirkning gøres dels ud fra traditionelle risikovurderingskriterier, dels ud fra at vælge 'naturlige' midler frem for kunstige/menneskeskabte. Hvad der er 'naturligt' og hvad der ikke er, er svært at definere, da det ikke lader sig beskrive med naturvidenskabelige termer. Det 'naturlige' opleves intuitivt af de, der har en økologisk naturopfattelse, mens evnen til det kan mistes ved ensidig påvirkning af det konventionelle natursyn (Goldsmith 1992). Den økologiske teknologivurdering er således delvist værdibaseret, hvorfor Paracelsus' påstand om, at et stofs giftighed alene er et spørgsmål om mængde og koncentration ikke er dækkende for økologernes vurdering af metoders/

En central målsætning i både det biodynamiske og økologiske jordbrug er at basere produktionen på stedlige ressourcer (Demeterforbundet 1993, LØJ 1998). Rudolf Steiner (1929) beskrev det på den måde, at man i den ideelle landbrugsindividualitet kun benytter indsatsfaktorer, der *kan* produceres på bedriften selv. Samtidigt er landmanden selv en vigtig del af den økologiske bedrift, og skal sikres mulighed for at udvikle alsidige menneskelige egenskaber (LØJ 1998). I hvert fald inden for det biodynamiske jordbrug, men jeg vil også mene, at det er gældende inden for den øvrige del af det økologiske jordbrug, skal de stedlige ressourcer forstås bredt og således inkludere f.eks. også intellektuelle ressourcer. Landmanden skal kunne forstå, hvad der sker omkring ham. Anvendelsen af indsatsfaktorer, som er fremkommet med en teknologi, som landmanden ikke selv har indsigt i, er med til at fremmedgøre ham over for sin egen produktion, og på den måde begrænse hans alsidige udvikling. Den enkelte landmand er i økologisk jordbrug ansvarlig for produkter og andre

effekter af hans produktion, og han kan ikke fraskrive sig ansvaret ved at henvise til, at en indsatsfaktor er godkendt af et firma eller af Miljøministeriet. Ved at anvende teknologi, som han ikke selv er herre over, fraskriver han sig ansvaret over produktionen og bliver fremmedgjort.

Reglerne for økologisk jordbrug, som definerer i hvilken grad f.eks. direkte bekæmpelse er tilladt, er et udtryk for det aktuelle kompromis mellem det, der på nuværende tidspunkt er muligt og det, som man på sigt gerne vil opnå. Nogle ting er ønskelige, selv om det aktuelt ikke er muligt. Det gælder f.eks. reducere jordbehandlingen med henblik på at bevare jordens indhold af humus og mindske udvaskningen af næringsstoffer, men som praksis viser giver problemer bl.a. med at regulere ukrudtsbestanden. Andre ting er tilladt efter de gældende regler, selv om det efter principperne ikke er ønskeligt. Det gælder f.eks. sprøjtning med svovl (og i visse lande kobber) til bekæmpelse af svampesygdomme i frugtavlen. Sprøjtning med mere harmløse midler som landmanden selv var mere herre over, f.eks. te af æbleblade, er ikke tilladt, fordi ingen har vist, at det har nogen effekt. Ingen har derfor ønsket, at det kom på listen af tilladte midler. Men hvis man i forskningen kunne vise, at det havde en effekt, er det sandsynligt at det ville blive optaget på listen af tilladte midler, og det ville muliggøre, at man kunne reducere brugen af svovl og kobber.

Forskning i økologisk jordbrug kan således godt beskæftige sig med emner, der ikke ligger inden for de aktuelle regler, hvis de vurderes at kunne bidrage til, at den aktuelle praksis i økologisk jordbrug bringes tættere på sin målsætning.

Regulering af hvedens stinkbrand

Parallelt med det økologiske landbrugs opståen er det konventionelle landbrugs anvendelse af sprøjtemidler i bekæmpelsen af planteskadegørere under stadig stigende kritik i den offentlige debat. Kritikken, der har nået et omfang, der i den landbrugsfaglige presse ofte opnår betegnelsen 'hetz', stiller krav om minimering af de miljømæssige bivirkninger og spørgsmålstejn ved behovet for omfanget af anvendelsen. Anvendelse af bejdsemidler har indtaget en tilbagetrukket rolle i denne debat og i de politiske prioriteringer, der har fulgt den. Man kan derfor stille sig spørgsmålet, om der berettiget også kan stilles spørgsmålstejn ved landbrugets bekæmpelse af stinkbrand med bejdsemidler.

Hvedens stinkbrand er en frøbåren svampe sygdom, d.v.s. at sygdommen spredes med frøene. På frøene sider svampesporer, som ved såning spirer og inficerer planten under dennes spiring. Planten inficeres systemisk, og udvikler svampesporer i akset. Under høst spredes disse svampesporer til de raske kerner, og herfra kan en ny cyklus udvikles.

Hvedens stinkbrand har gennem tiderne været en af de alvorligste sygdomme i planteavlen (Woolman og Humphrey 1924a, Butress og Dennis 1947, Sharville 1979, Johnsson 1990a). Stinkbrandsporer er fundet i krukke fra det gamle Babylon, og det er sandsynligt, at sygdommen har fulgt hvedeavlen lige siden (Johnsson 1990a). Allerede Caius Plinius Secundus (Plinius den Ældre) har i 'Historia Naturalis' omkring begyndelsen af vor

tidsregning beskrevet, hvordan en plantesygdom, som mest sandsynligt er stinkbrand, kan bekæmpes med neddykning af såsæden i vin eller ved at blande såsæden med cypresblade (citeret i Woolman og Humphrey 1924a, og i Sharvelle 1979).

I vore dage behandles næsten al konventionelt dyrket såsæd med syntetiske fungicider, og risikoen for udvikling af stinkbrand er den primære årsag til dette i hvede (Nielsen *et al.* 1999). Det er særdeles vanskeligt, hvis overhovedet muligt, at opstille en rangorden til sammenligning af miljøeffekten ved brug af forskellige pesticider (Miljøministeriet 1999b). Et forsøg på at sætte anvendelsen af bejdsemidler i proportionalitet med andre pesticider skal derfor tages med væsentlige forbehold.

Bejdsemidler i hvede anvendes typisk i en dosis på mellem 100 g/hkg (f.eks. Sibutol LS 280) og 200 g/hkg (f.eks. Beret 050FS eller Dividend), og med en typisk udsædsmængde på 120-180 kg/ha bliver hektarbelastningen på 120-360 g/ha (heraf 29% aktivt stof). Sammenlignes dette med doseringen af sulfonylherbicider (minimidler f.eks. Ally), så anvendes disse i doser på kun 20-30 g/ha (heraf 20% aktivt stof). Målt i pesticid-mængde er der således ingen argumenter for, at anvendelsen af denne type herbicider skulle begrænses mere end bejdsemidler.

Ser man på miljøeffekten af bejdsemidlerne så indeholder Sibutol LS 280 bl.a. Fuberidazol, der efter EPA's standarder betegnes som giftigt for frøædende fugle, og er giftigt over for dafnier også i koncentrationer, der ligger under grænseværdien for pesticider i drikkevand på 0,1 µg/l (Miljøstyrelsen 1993), hvilket svarer til algers følsomhed over for sulfonylherbicidet Ally (Du Pont 1991). Sprøjtemidler med så stor giftighed over for vandlevende organismer må ikke bruges tættere end 10 meter fra vandløb o.lign. Denne begrænsning gælder ikke for bejdsemidler med samme giftighed. Da fasaner spiser korn, og jagten på dem starter 1. oktober, kort efter normal såning af vinterhvede i Danmark kunne man frygte, at fasanvildt, ligesom andet vildt der spiser fremspirede planter behandlet med planteoptagelige bejdsemidler, indeholder pesticidrester. Dette er aldrig undersøgt, og indgår således heller ikke kvantitativt i vurderingen af befolkningens daglige pesticidindtag (Miljøministeriet 1999b).

Nedbrydningstiden for bejdsemidler adskiller sig ikke positivt fra andre pesticider. Fendiclonil, der indgår i Beret 050FS, har således en 90% nedbrydningstid ved 9 °C i vandmættet lerjord på 4½ år. Ved halvering af jordens vandindhold fordobles nedbrydningstiden for Fendiclonil (Miljøstyrelsen 1997a). Tilsvarende nedbrydningstid for Difenoconazol, som indgår i Dividend 37,5 LS er oplyst til 5½ år i jord, og væsentligt længere i vandmiljø (Miljøstyrelsen 1997b). Jeg vil vurdere de lange nedbrydningstider for disse nye bejdsemidler som problematiske især i lyset af, at det er vist, at i hvert fald Difenoconazol hæmmer nedbrydningen af andre pesticider i jorden p.g.a. en toksisk effekt over for de mikroorganismer, der indgår i nedbrydningen af disse (Miljøstyrelsen 1997b).

Pesticidemballage skal påføres etiketter med angivelse af relevante fareoplysninger. På Sibutol-emballage skal det eksempelvis oplyses, at stoffet er

“Farligt ved hudkontakt; Mulighed for skade på barnet under graviditet; Kan give overfølsomhed ved kontakt med huden; Meget farligt for organismer, der lever i vand; kan give uønskede langtidsvirkninger i vandmiljøet” etc. Der er dog ingen krav om, at kornsække indeholdende bejdset korn etiketteres med disse oplysninger, hvorfor de landmænd, der er de faktiske brugere, ikke bliver oplyst om risikoen ved brugen.

Anvendelsen af pesticider ønskes af miljøpolitiske grunde reduceret eller udfaset (Miljøministeriet 1999b). I den netop vedtagne Pesticidhandlingsplan II (Miljøministeriet 2000a, Miljøministeriet 2000b) ønskes denne reduktion i første omgang bl.a. opnået med en reduktion i behandlingshyppigheden fra det nuværende niveau på 2,45 (1997) til 2,0 i år 2002. Bejdsemidler indgår ikke i beregningen af behandlingshyppigheden, og der er således ikke sat tal på målet for reduktionen i bejdsemiddelforbruget.

Godkendelsen af bejdsemidler er således fritaget fra en række begrænsninger i pesticidanvendelsen, som andre pesticidgrupper pålægges, og nogle synes at have den opfattelse, at bejdsemidler anvendes i så små doser, eller på anden vis miljømæssigt er af så begrænset betydning, at man bør koncentrere sig om andre pesticidgrupper i arbejdet for miljøforbedring af landbrugsproduktionen. Det er ikke min vurdering, at der miljømæssigt set er mængde- eller effektmæssige argumenter for denne holdning. Dette skal dog tages med det forbehold, at jeg som almindelig borger/forsker ikke kan få aktindsigt i oplysninger om pesticidernes hjælpestoffer, hvorfor der her kan ligge en af mig ikke kendt forskel. Disse kan udgøre op til 95% af pesticidernes indhold, og består af organiske opløsningsmidler, antiklumpningsmidler, farvestoffer m.v. Disse bliver ikke miljøvurderet på samme måde som aktivstofferne, men er ikke mindre miljømæssigt problematiske, og indeholder bl.a. kræftfremkaldende stoffer, hvilket ikke tillades for aktivstofferne (Miljøstyrelsen 1999b).

De økologiske landmænd har allerede ved fastsættelsen af regler for økologisk jordbrug valgt at forbyde de bejdsemidler, som anvendes i det konventionelle jordbrug (Demeterforbundet 1993, LØJ 1998, Plantedirektoratet 2000). Reglerne foreskriver endvidere, at al såsæd skal være økologisk dyrket, hvis det er kommercielt tilgængeligt. Undtaget fra denne regel er dog såsæd til fremavl, som kan være af konventionel oprindelse, men som dog skal være ubejdset. Da stinkbrand epidemiologisk set udvikler sig på den måde, at en enkelt syg plante i en mark ét år udvikler sig til flere syge planter næste år, og først efter en vist antal år (såsæds-generationer) når et omfang, der giver problemer, betyder undtagelsen i de økologiske regler, at behovet for regulering af stinkbrand trods alt er begrænset, da en økologisk hvedemark i realiteten har været bejdset kun to såsæds-generationer tidligere. At økologisk jordbrug ikke anvender syntetiske fungicider til at kontrollere plantepatologiske problemer er således i forhold til denne og andre obligat frøbårne sygdomme en sandhed med væsentlige modifikationer.

Hvedens stinkbrand er potentielt og aktuelt den alvorligste frøbårne sygdom i økologisk hvedeavl, og den hidtidige praksis i økologisk jordbrug har ikke i alle tilfælde kunnet regulere sygdommen på en måde, der sikrede et

rimeligt udbytte af en tilfredsstillende kvalitet (Piorr 1991, Borgen *et al.* 1992, Kristensen *et al.* 1992). I mange U-lande er rensning og bejdsning af såsæd ikke så udbredt som i Nordamerika og Europa, og her har stinkbrand større betydning end herhjemme. Sammenslutningen af lande i tørre egne (ICARDA) har således konkluderet, at bortset fra rust er stinkbrand den mest udbyttebegrænsende sygdom i disse lande (citeret i Hoffmann 1982), og i nogle lande bl.a. Iran og Azerbajjan vurderes det gennemsnitlige tab som følge af stinkbrand at ligge på omkring 30% (Mamluk 1998). Erfaringerne viser således, at det er nødvendigt med permanent regulering for at undgå et potentielt fuldstændigt ødelæggende angreb af hvedens stinkbrand, og det konventionelle og økologiske landbrug kan siges at stå på hver side af problemets tærskel: Økologerne har (dyrkningsmæssige) problemer med sygdommen og det konventionelle landbrug har (miljømæssige) problemer med bekæmpelsen. Den forskningsmæssige udfordring, som jeg har valgt at tage op som emne for nærværende ph.d.-afhandling, er i denne situation at finde veje til regulering af sygdommen på en måde, der på den ene side sikrer mod væsentlige sygdomsfremkaldte skader for landmænd og forbrugere, og på den anden side gør det på en måde, der mindsker de miljømæssige problemer i forhold til anvendelsen af de gængse syntetiske fungicider. Jeg har valgt at arbejde alene med udgangspunkt i det økologiske dyrkningssystem som model for et landbrugssystem, hvor stinkbranden reguleres uden brug af gængse pesticider. Dette er gjort ud fra den betragtning, at det er min ambition, at pesticider på sigt helt kan undværes, og jeg tilslutter mig de økologiske dyrkningsprincipper. Det er dog mit håb, at mit arbejde også vil medvirke til at minimere brugen af pesticider i det konventionelle system, i den udstrækning et sådant stadig vil eksistere i fremtiden.

Siden Riehn i 1913 viste effekten af kviksølvklorphenat som bejdsmiddel har anvendelsen af dette og lignende midler været det alt dominerende tema for stinkbrandforskningen. Dette har betydet, at der kun i begrænset omfang er blevet fulgt forskningsmæssigt op på den viden, der trods alt eksisterede omkring regulering af sygdommen allerede i begyndelsen af århundredet. Vi står derfor i dag i en situation, hvor vi mangler viden på en række områder, og hvor den viden, vi har, i nogle tilfælde er tvivlsom alene af den grund, at dokumentationen er så gammel som den er.

Det er på denne baggrund mit mål af afklare, i hvilket omfang der er behov for regulering af hvedens stinkbrand og at forbedre mulighederne for at udvikle en strategi, der kan regulere sygdommen på en måde, der er tilpasset behovet og de principper, der ligger til grund for det økologisk jordbrug. Dette gøres dels ud fra teoretiske overvejelser på baggrund af den eksisterende viden om bl.a. patogenets biologi, dels ved at foretage eksperimenter i situationer, hvor den eksisterende viden er utilstrækkelig.

Patogen

Taksonomi

Hvedens stinkbrand forårsages i Danmark af et patogen, der nogle gange kaldes *Tilletia tritici* (Berk.) Win.1775 og andre gange *Tilletia caries* (D.C.) Tul. 1847. Efter gældende nomenklaturregler bør patogener betegnes med det biologisk korrekte slægtsnavn kombineret med det ældste artsepitet. Jeg er derfor af den opfattelse, at betegnelsen *Tilletia tritici* (Berk.) Win.1775 må være den taksonomisk korrekte betegnelse, selv om *Tilletia caries* er meget udbredt og anerkendt som *nomen conservantum*.

På engelsk bruges benævnelserne 'common bunt' og 'stinking smut' i flæng, mens betegnelsen 'hill bunt' primært optræder i litteratur fra Indien og Pakistan, hvor stinkbrand på grund af klimatiske forhold primært optræder i bjergegne. Slægtsnavnet *Tilletia* gav Tulasne svampen i 1854 til ære for Tillet, som i 1775 i forsøg havde vist, at sygdommen forårsagedes af 'det sorte støv', selvom Tillet ikke selv regnede med, at der var tale om en svamp (Woolmann og Humphrey 1924a).

Tilletia tritici er nært beslægtet med tre andre udbredte patogener. *Tilletia leavis* (syn. *Tilletia foetida*) forårsager også stinkbrand, der i symptomer ikke adskiller sig fra stinkbrand forårsaget af *Tilletia tritici*. Teliospore af *Tilletia leavis* har en lidt glattere overflade, hvorfor den også kaldes 'smooth spored bunt'. Patogenets temperaturkrav er en anelse højere end *Tilletia tritici*'s og optræder som følge heraf under lidt varmere himmelstrøg. Så tæt på som i Ungarn er *T.leavis* den dominerende art (Berend 1973), mens den i Danmark kun er registreret en enkelt gang af Rostrup i 1898 (Stapel *et al.* 1976). *Tilletia contraversa*, som på grund af en trykfejl i indholdsfortegnelsen ved den første navngivning ofte fejlagtigt kaldes *Tilletia contraversa* (Johnsson 1998) forårsager sygdommen dværgbrand, som overvejende er en jordbåren sygdom, der primært optræder i forbindelse med længere tids snedække, hvorfor den ikke optræder i Danmark. *Neovossia indica* (Mitra) Mundkur (syn. *Tilletia indica* Mitra) forårsager sygdommen partiel brand eller 'karnal bunt' og kommer fra Indien. Dette patogen er under global spredning, og der er igangsat flere studier der skal forsøge at afklare, om der er risiko for, at sygdommen spredes til Danmark og andre europæiske lande, hvilket endnu er uklart.

Nærværende ph.d.-afhandling omhandler alene stinkbrand forårsaget af den i Danmark forekommende *Tilletia*-art, *Tilletia tritici*.

Infektionsbiologi

Stinkbrandens teliospore ligner en lille sort golfkugle på 15-20 µm, som ved imbibering øger sin størrelse til 19-25 µm (Ettel og Halbsguth 1963).

Infektionen sker umiddelbart efter kornets spiring, og kan opdeles i tre faser, hvor hyfen i 1. fase trænger både inter- og intra cellulært gennem epidermis, og hvor svampen er Gram-negativ. I 2. fase trænger hyfen gennem coleoptilen og bladskederne, hvor den er Gram-positiv og både inter-cellular og intra-cellular. I

3. fase går væksten gennem de nyeste bladskeder og til vækstpunktet, hvor den er Gram-positiv og udelukkende inter-cellular (Woolman 1930). Leukel (1937) kunne dog kun finde intercellulær vækst i 2. og 3. fase.

Når vækstpunktet er nået og inficeret, følger patogenet passivt med meristemet op under stråets strækning, hvor frugtknuden inficeres før blomstring. Efterhånden fyldes hele frugtknuden af mycelium, som omdannes til teliosporer.

Fra den første infektion og indtil myceliet når vækstpunktet, går der ca. 50 dage afhængig af temperaturforholdene, og det er kritisk for den senere udvikling af patogenet, at vækstpunktet nås inden strækning begynder (Leukel 1937, Hansen 1959, Fernandez *et al.* 1978).

Woolman og Humphrey (1924b) kunne ikke inficere ubeskadigede spirer i petriskåle og konkluderede, at der skulle ske fysisk skade for at infektionen overhovedet kunne foregå, men Hansen (1959) viste, at infektionen godt kan ske i intakte planter, men at beskadigelse af coleoptilen virker stærkt fremmende på infektionen, og tiden for patogenet til at nå vækstpunktet reduceredes fra 50 dage til kun 30 dage. Om dette har praktisk betydning under markforhold for f.eks. betydningen af tidspunktet for tromling eller blindharvning for angrebet af stinkbrand er ikke undersøgt.

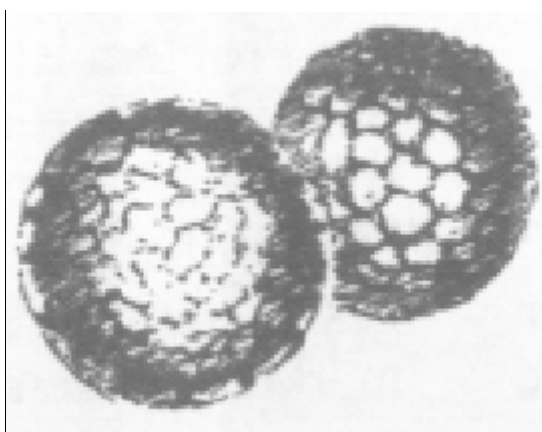


Figure 4 Stinkbrandsporer (teliosporer) på 15- 25 µm ligner små sorte golfkugler. Tegning af Bertold Heyden.

Temperaturforhold

Den initiale sporespiring foregår hurtigst ved 15 °C, men ved denne temperatur hæmmes den senere udvikling af basidiosporer, som er nødvendig for infektion. Basidiosporedannelsen foregår således bedst ved 5 °C (Dreier og Schlösser 1990). Der er således ikke én temperatur, der er optimal for infektion, men muligvis en kombination af temperaturer. Rabien (1928) har i potteforsøg vist, at det ved 10 °C er de første 6 dage, der er af betydning for infektionen, mens det ved 5 °C er de første 9 dage, der er af betydning. Herefter kunne planterne godt stå ved 20 °C uden at det nedsatte angrebet. Som det fremgår senere i afsnittet om resistens er dette dog senere vist til dels at være sortsafhængigt. Johnsson (1992) har under markforhold vist, at en gennemsnitstemperatur på 6-7 °C i perioden 0-11 dage efter såning er optimal for infektion og af størst betydning, men temperaturen i op til en måned efter såning stadig havde en vis indflydelse på infektionens størrelse. Polišenská *et al.* (1998) fandt, at angrebet under markforhold var højere jo lavere

temperaturen var, og at perioden fra såning og 12-14 dage herefter var af størst betydning. Heald (1921) skriver, at angrebet på nordvendte skråninger som hovedregel er højere end på sydvendte skråninger ved samme såtid. Dette kan sandsynligvis forklares ved en højere temperatur på de sydvendte skråninger. Selv om sporerne kan spire ved alle fugtigheder mellem markkapacitet og visnegrænse, og ved et bredt temperaturinterval, så er det kun ved temperaturer fra 5-15 °C, at risikoen for infektion er til stede, idet risikoen for infektion ikke blot er et spørgsmål om sporenes spireevne, men om forholdet mellem spiringshastigheden mellem vært og patogen (Kendrick og Purdy 1959).

Såtiden er af meget begrænset betydning for infektionens størrelse udover den indflydelse som temperaturen bevirker (Johnsson 1992). Men da temperaturen som bekendt er meget årstidafhængig, har såtiden her igennem en vis betydning. Weston (1932) fandt meget ringe effekt af såning af vinterhvede på forskellige tidspunkter fra oktober til januar, mens angrebet i vårhvede var kraftigt faldende, jo senere såningen var i perioden fra februar til marts under tyske forhold. Også Nordin (1982) fandt et fald i angrebet ved senere såning af vårhvede i perioden fra april til maj under svenske forhold, og ved jordtemperaturer over omkring 7 °C udeblev angreb næsten helt. Woolman og Humphrey (1924b) fandt maximal infektion ved såning af vinterhvede i september ved en jordtemperatur på 15 °C, mens angrebet var langt lavere ved såning ved 25 °C i juli og 3 °C i november. Gaudet *et al.* (1994) fandt stigende angreb jo senere vinterhveden blev sået i Canada, mens der i forskellige sorter ikke var nogen systematisk effekt af såtiden i Ungarn hos Banada *et al.* (1995). Piorr (1991) fandt ved undersøgelser af sporeindholdet i økologiske kornpartier i Tyskland signifikant lavere sporeindhold i hvedepartier, der var sået sent i forhold til hvede sået ved normal såtid.

Såtiden har udover temperaturen også indflydelse på iltforhold og vandmætning, som har betydning for angrebet (Woolman og Humphrey 1924b, Gassner 1925, Rabien 1928, Arafa 1981) og for afgrødetætheden, og da denne har indflydelse på angrebsgraden (Tubœuf 1902, Woolman and Humphrey 1924b, Banada *et al.* 1995), kan der herigennem være en vekselvirkning. Dette er ikke beskrevet i nogen af de undersøgelser, der er beskrevet omkring såtidens indvirkning på angrebsgraden.

I overensstemmelse med Nielsen (1999) har egne forsøg med såtider gennem tre år med sorten 'Kosack' har vist det største angreb ved såning i starten af oktober, men stadig et vist angreb ved såning helt hen i november måned. Nielsen (1997) fandt derimod stigende angreb ved senere såning helt hen i december måned.

I egne forsøg forekom stinkbrand stort set ikke ved meget tidlig såning i august og tidligere, omend plantebestanden var beskeden på grund af problemer med sultne krager i forsøgsområdet. Ved meget tidlig såning kan dyrkningssystemet komme i konflikt med høsten af den tidligere afgrøde. For at løse dette problem, og med henblik på at reducere jordbearbejdningen har jeg forsøgt at udarbejde et dyrkningssystem, hvor vinterhveden sås som udlæg i en vårsædsafgrøde i stedet for at blive etableret som monokultur efter høst. Dette er til en vis grad lykkedes (Borgen 1999b, Borgen *in press(a)*), omend effekten

på stinkbrand er sandsynlig, men ikke dokumenteret (på grund af kragekolonien på Højbakkegård).

Med udvikling af moderne redskabsteknik er det i dag muligt at så meget sent, f.eks. ved såning og pløjning i én arbejdsgang. Sen pløjning og såning anbefales generelt i økologisk hvededyrkning med henblik på minimering af kvælstofstab og ukrudtsproblemer (Miljøministeriet 1999a). Selv om en fuldstændig regulering ikke vil kunne opnås ved højt sporeindhold i såsæden, vil udnyttelse af viden om temperaturforholdenes indflydelse på risikoen for udvikling af stinkbrand kunne give et signifikant bidrag til en integreret strategi.

Kendrick og Purdy (1962) har vist, at der er forskelle i forskellige smitteracers temperaturoptimum og man kan derfor forestille sig, at stinkbranden fysiologisk kunne tilpasse sig forskellige klimazoner, således at stinkbrand f.eks. fra Afrika havde andre temperaturpræferencer end skandinavisk stinkbrand.

Lys, ilt m.m.

Svampe er heterotrofe planter, som ikke behøver lys for sin vækst. Spiringen af stinkbrandsporer påvirkes dog alligevel i en vis udstrækning af lysforholdene. Stinkbrandsporer kan godt spire i mørke, men spiringen kan fremmes i nogle dage af tilstedeværelsen af lys (Gassner og Niemann 1954, Zseheile 1965). Grønt lys virker hæmmende på spiringen, mens blå lys er mest fremmende for spiringen. Sporene har pigmenter i overfladen der svarer til disse lyskrav (Ettel og Halbsguth 1963). Under markforhold med sporer, der sidder på frøet må man jo regne med, at spiringen foregår i mørke, og betydningen af lys har således ikke så stor betydning, at det kan forhindre infektion. Hahne (1925) har vist, at det især er gamle sporer, der er påvirket af lys, mens friske sporer godt kan spire i mørke. Sporenes pigmenter bevirker, at belysning inducerer en temperaturstigning i sporen som er anderledes end den tilsvarende temperaturstigning i termometret. Det er derfor vanskeligt at undersøge temperatur og lys uafhængigt af hinanden og at konkludere på resultaterne (Zseheile 1965).

Spiringen er afhængig af tilstedeværelsen af ilt, ioner m.m. Rabien (1928) har vist, at især iltforholdene er af meget stor betydning. Dette kan også forklare betydningen af jordbundsforhold, hvor tung lerjord hæmmer spiringen, mens mere luftige jorder som sand og humusjorde er mere gunstige for infektion (Gassner 1925, Rabien 1928, Arafat 1981). Ligeledes har Woolman og Humphrey (1924b) vist, at sporer ikke kan spire i vandmættet jord, og har den bedste spiring ved en vandmætning på 16-30%.

Sådybden har kun begrænset betydning for udviklingen af stinkbrand. Woolman og Humphrey (1924b) kunne ikke vise nogen effekt af sådybden på antallet af syge planter, men sekundært havde det dog betydning for antallet af syge aks i hver syg plante. Egne forsøg i klimakamre bekræfter, at sådybden er uden betydning ved såning i 2, 4 og 7 cm's dybde, men at såning oven på jorden reducerede angrebet kraftigt. Såning oven på jorden har næppe den store betydning som reguleringsmulighed under markforhold, men ved såning i potter

i forsøgsøjemed forekommer det, hvorfor det kan have relevans her. Om bugfuren eller kimen vender op eller ned ved placeringen af kornet i eller på jorden havde ingen indflydelse på frekvensen af stinkbrand i egne forsøg.

Trimethylamin

Sporene indeholder op til 4‰ trimethylamin (Trione 1977), der er et meget flygtigt stof, der har flere egenskaber af betydning for sygdommen: For det første stinker det i en grad, så stinkbrandkontamineret korn kommer til at lugte som en affaldskontainer ved en fiskerivirksomhed. Stoffet er det samme, der kan give fiskelugt i brunskallede æg fra høns, der er fodret med raps (Häggbloom *et al.* 1994). Lugtens intensitet er meget afhængig af sporenes alder og fugtighed, men Johnsson (1979) har vist, at 10% af forsøgspersoner i et forsøg kunne lugte tilstedeværelsen af bare 300 sporer pr. gram korn, mens 50% kunne lugte 1000 sporer pr. gram. Der er dog stor forskel på udviklingen af trimethylamin i forskellige stammer af patogenet (Trione *et al.* 1988), og én er direkte navngivet *Tilletia inodor*, fordi den slet ikke udskiller trimethylamin overhovedet (Olgyay 1949). I et forsøg kunne et menneskeligt lugtepanel ikke skelne prøver med mindre end 12.500 friske sporer pr. gram fra sporefrit korn, og 10 år gamle sporer kunne ikke lugtes i korn med mindre end 41.750 sporer/gram (Börjesson og Johnsson 1998). I enkelte tilfælde var en 'elektronisk næse' dog i stand til at lugte en mindre sporemængde i kornet end det menneskelige lugtepanel.

En anden virkning af trimethylamin er, at stoffet påvirker pH-værdien i sporeomgivelserne (Rabien 1928). Stinkbrandsporer er således tilpasset spiring ved forholdsvis høje pH-værdier. I lys kan sporer således spire i pH-værdier på helt op til 9, omend sporidiedannelsen er hæmmet, og i mørke spirer sporene dårligt ved pH 8 (Schauz 1970). Syrer hæmmer sporespiringen afhængig af syrearten, og spiringen ophører ved pH 4 (Rabien 1928). Leukel (1937) har vist, at angrebet i jord ved pH 7 var 42,3%, mens det i samme jord ved pH 5,6 kun var 5,6%. Trimethylamin virker hæmmende på sporenes spiring (Olgyay 1949, Ettel og Halpsguth 1963, Shan-Qian og Trione 1977, 1983), hvilket er en af årsagerne til at spiringen hæmmes, hvis mange sporer ligger tæt på hinanden (Trione 1977). Omvendt kan små koncentrationer virke fremmende på sporespiringen (Olgyay 1949), og det kan være en af forklaringerne på, at infektion normalt ikke finder sted, hvis der kun er en enkelt eller meget få sporer på en kerne, men at der tilsyneladende skal en vis sporemængde til, for at en infektion finder sted.

Sammenfattende kan det konkluderes, at stinkbrand tilsyneladende er godt tilpasset de forhold, der er optimale for kornets etablering med hensyn til reaktionstal, iltforhold og temperatur, men at den gældende praksis med at så kernerne under jorden og dermed i mørke har en hæmmende effekt på sporenes spiring.

Giftighed

Tilletia tritici udvikler så vidt vides ikke andre mycotoksiner af betydning end trimethylamin, der også er årsagen til den omtalte lugt. Der er lavet en række undersøgelser af, hvorvidt husdyr påvirkes af indholdet af stinkbrandsporer i foder. Reviews over disse undersøgelser viser meget forskellige resultater. Nogle undersøgelser har ikke kunnet påvise nogen sundhedsproblemer selv ved fodring med op til 1500 g sporer pr. dag pr. dyr, mens andre forsøg viser, at der kan opstå problemer, hvis man fodrer med meget store mængder (Fisher og Holton 1957, Westermann *et al.* 1988a). Westermann *et al.* (1988b) har således vist, at fodring med 0,9% stinkbrandsporer i foderet til svin resulterede i nedsat tilvækst pr. kg foder. Foder med 0,9% stinkbrand svarer til omkring $3 \cdot 10^6$ sporer pr. gram, hvilket svarer til, at dyrene udelukkende fodres med korn, hvor der hæfter så mange sporer på, som der kan. Omvendt kunne Jørgensen og Kundesen (1994) ikke påvise nogen forandringer i smågrises foderoptagelse eller sundhedstilstand ved fodring med en foderblanding, der indeholdt op til 50% hvede med $2,1 \cdot 10^6$ sporer/g hvede. Imhof (citeret i Fischer og Holton 1957) indtog selv store mængder sporer hver morgen i to uger, og han puttede sporer i et åbent sår og brugte stinkbrandsporer som snus - alt sammen uden nogen mærkbar sundhedseffekt.

Problemet med at tolke sådanne forsøg er, at der stadig ikke er nogen der ved, hvad det er, der forårsager problemet. Hvis giftigheden alene kan relateres til trimethylamin eller lignende kraftigt lugtende kvælstofforbindelser, er der mere grund til at relatere giftigheden til lugten af kornet end til antallet af sporer i det, da der ikke er nogen entydig sammenhæng mellem lugt og antallet af sporer. Jeg har således selv erfaret, at hvede med få hundrede sporer pr. gram kan lugte mere end hvede med flere millioner sporer pr. gram. Det afhænger som omtalt af stinkbrand-racen, sporerens alder, fugtighed m.m. Ingen af de gennemførte forsøg har (eller er citeret for) at relatere effekten til trimethylamin-indholdet, men kun til enten sporeindholdet eller til andelen af stinkbrandkontamineret korn. Før man har fundet ud af, hvad der er problemet, er det derfor ikke muligt at stille nogle kvalificerede grænseværdier op. Forsøgene viser dog, at der er en risiko for, at der kan være problemer med fodring med stinkbrandkontamineret korn. Som tommelfingerregel vil jeg vurdere, at man bør undgå at fodre med eller selv at spise store mængder af korn, hvor stinkbrandindholdet er så stort, at det direkte kan ses eller lugtes.

Man kan forestille sig, at fodring af dyr med stærkt lugtende foder vil give afsmag i det animalske konsumprodukt. Risikoen for, at fodring af høns med stinkbrandholdigt korn skulle give afsmag i æggene vurderes dog som lille, mens risikoen for afsmag i mælken ved fodring af malkekøer vurderes som større (Häggblom *et al.* 1994).

Fischer og Holton (1957) refererer en række undersøgelser, der viser, at allergi mod brandsporer er forholdsvis almindelig i USA. I ét forsøg med patienter med lufvejsallergi viste ¼ af patienterne sig at reagere mod brandsporer. Brandsporer indeholder 2,68-3,8% kvælstof, hvilket svarer til indholdet i de typiske pollen, der giver allergi. Dette kan være en af forklaringerne på sammenhængen i allergisk mønster (Fischer og Holton 1957).

Antallet af sporer i luften i de områder af USA, hvor det er observeret i 1950'erne må dog forventes at være langt højere end det er i dag i Danmark, hvilket kan være en af forklaringerne på, allergi mod brand ikke længere betragtes som værende af væsentlig betydning. Samtidig understreger det vigtigheden af at holde sygdommen under kontrol. Der er ingen rapporter om allergi ved at spise stinkbrandholdige kornprodukter.

Opformering

Piør (1991) argumenterer for, at det, der er af betydning for risikoen for infektion, er antallet af sporer pr. kerne snarere end antallet pr. vægtenhed af såsæden. Da hvedekerner kan have forskellig tusindkornsvægt, burde man, når det er muligt, angive antal sporer pr. kerne og ikke pr. gram. Dette gøres nogenlunde konsekvent i tysk litteratur, mens man i de fleste andre lande anvender sporer pr. gram som enhed.

Sammenhængen mellem antallet af sporer på såsæden og den resulterende sygdomsudvikling blev detaljeret undersøgt af Heald (1921). Hans undersøgelser viste, at der er en retliniet sammenhæng mellem antallet af sporer på kernerne og antallet af brandaks i marken. Sammenhængen er dog afhængig af bl.a. sortens modtagelighed. Den ret resistente sort 'Marquis' blev således ikke angrebet ved et sporeniveau på 542 sporer pr. gram (0,1 g/kg) og derunder, mens dette niveau i samme forsøg gav et angreb på 9,5% i den mere modtagelige sort Jenkins Club. Også Leukel (1937), Magnus og Storli (1979) og Johnsson (1979, 1991) fandt entydigt stigende angreb ved stigende sporemængder, når andre forhold blev holdt konstant. Johnsson (1979) citerer Meyer for at have vist, at angreb kan etableres af bare 5 sporer pr. kerne, hvilket svarer til omkring 100 sporer pr. gram.

Selv om der er et entydigt stigende angreb ved stigende sporemængde, når andre forhold holdes konstant, så er denne viden vanskelig at anvende i praksis, hvor andre forhold sjældent holdes konstant. Hvede bliver sået ved forskellige temperaturer og findes i sorter med forskellig resistens m.v. Selv om Heald (1921) har vist, at angreb ikke kunne etableres med mindre end 8 sporer pr. kerne, så kan det godt være, at man i en anden sort, eller samme sort sået på et andet tidspunkt i en anden jord kunne have fået angreb, ligesom man selv med store sporemængder ikke kan inficere sorter med høj grad af resistens. Om der kan etableres et angreb eller ej er selvsagt helt afhængig af tilstedeværelse af sporer på kernerne (eller i jorden), men *hvis* sporer er til stede, så har miljøet generelt større betydning for angrebets størrelse end antallet af sporer (Johnsson 1979, Spieß 1996).

Plantedirektoratet udfører i dag bejdsebehovsanalyser, som også i økologisk landbrug anvendes som skadetærskel for, hvornår det frarådes at udså hvede med sporeindhold. Tidligere blev det frarådet at udså hvede, hvis der blev påvist sporer i en prøve, der blev analyseret med en metode beskrevet af Keitrieber (1984). Grænsen er nu efter diskussioner i den økologiske planteavlsbranche, rådgivningstjenesten m.fl. sat op, således at der tillades fund af en enkelt spore i en prøve. Fund af en enkelt spore med den anvendte

analysemetode svarer til omkring 0,5 sporer pr. kerne eller 10 sporer pr. gram, afhængig af tusindekornsvægt og detaljer omkring analyseforholdene. Hvis man tager udgangspunkt i Healds (1921) undersøgelser, der viser, at der i et forsøg med et sporeindhold på 8 sporer pr. kerne var et angreb på 0,6% i marken, og forudsætter, at sammenhængen mellem sporeindhold og angreb også er proportional i intervallet under denne grænse, så skulle et sporeindhold på 0,5 sporer pr. kerne under samme forsøgsbetingelser give et angreb på omkring 0,04% angreb i marken, eller 1 inficeret plante pr. 7 m². Med omkring 8*10⁶ sporer pr. brandbutte (Heald 1921, Nordin 1982, Johnsson 1991) og 350 aks pr. m² vil det give omkring 3000 sporer pr. kerne eller 75.000 sporer pr. gram i den høstede vare. Det er naturligvis ikke alle sporer, der vedhæfter til de øvrige kerner under høsten; mange vil forsvinde med blæserluften under mejetærskningen, men egne forsøg viser, at der vil være rigelig med sporer til, at det i hvert fald i nogle tilfælde vil betyde, at man kan lugte stinkbranden i den høstede vare.

En undersøgelse fra praksis i økologisk jordbrug har vist, at opformeringen i modtagelige sorter uden anden rensning af såsæden end den, der finder sted i mejetærskeren eller andre forholdsregler mod stinkbrand medfører en opformering af sporeindholdet fra år til år på omkring en faktor 100. Denne opformering dækker dog over meget store forskelle (Borgen *et al.* 1992). I egne senere undersøgelser har eksempelvis en økologisk hvedemark på Sjælland i 1996 tilsået med sorten 'Husar' med et sporeindhold på 55 sporer pr. gram resulteret i et angreb på 1 angrebet plante pr. 5 m² og et sporeindhold i den høstede vare på 17.450 sporer pr. gram. Det er det højeste angreb jeg har været ude for med et så lille sporeindhold i såsæden. Beregningen og eksemplet viser, at selv med et lille sporeindhold er der en risiko for, at man under (for patogenet) gunstige forhold i meget modtagelige sorter får et angreb i marken af en størrelse, der kan lugtes på det høstede korn. Endvidere vil det betyde, at man får sporerne ind i systemet i marken, mejetærskeren m.v., og dermed risiko for at sprede sygdommen til andre marker (se herom i kapitlet om 'Patogenets spredning').

De obligatoriske prøveudtagninger af såsæd, som tages til måling af spireevne, sortsrenhed m.v. (Plantedirektoratet 1990) tages af renvaren efter oprensning hos såsædsfirmaet. Prøveudtagninger til måling af frøbårne sygdomme tages derimod ofte direkte fra mejetærskeren for at såsædsfirmaet hurtigt kan få et resultat, der kan afgøre, om det overhovedet kan betale sig at rense kornet op til såsæd. Som det vil fremgå af kapitlet om 'Fysisk rensning', har rensningen sandsynligvis meget stor indflydelse på sporeindholdet i den oprensede vare, og alene på denne konto bliver meget såsæd sandsynligvis unødigt kasseret, ligesom grænserne kunne forbedres betydeligt ved at gøre dem afhængig af sorternes modtagelighed. Selv om den nuværende grænse efter min vurdering er nødvendig for at sikre mod stinkbrandangreb af kvalitativ betydning på de aktuelle betingelser, så kunne systemet således optimeres på en måde, så mængden af kasseret økologisk såsæd kunne reduceres.

Modtagelighed og resistens

Allerede Tschaner (1764, citeret i Woolman og Humphrey 1924a) viste, at der var forskelle i modtagelighed i forskellige speltssorter, og dette er siden blevet vist adskillige gange i både ældre og nyere screeningsforsøg (f.eks. Piore 1991, Banada *et al.* 1995, Blažkova og Bartoš 1997, Polišenská *et al.* 1998, Nielsen *et al.* 1999).

Forskelle i modtagelighed kan skyldes mange forhold. Noget af det første, der blev diskuteret, var forskelle i sorternes spirehastighed (Tubouf 1902), hvilket er blevet bekræftet flere gange af bl.a. Hecke, som dog viser, at det ikke kun er et spørgsmål om spirehastighed, men også en kompliceret sammenhæng mellem temperatur og spirehastighed (citeret i Woolman og Humphrey 1924a).

Darnell-Smith (1910, citeret i Woolman og Humphrey 1924a) observerede, at de sorter som han havde registreret som resistente alle manglede børster på kernerne, og at det kan skyldes den manglende evne til at fastholde sporer på kernerne.

Angrebne vinterhvedeplanter udvintrer lettere (Roemer og Bartholly 1933, Fittschen 1940, Magnus og Storli 1979, Veisz *et al.* 1997), og der kan derfor også være en vis sammenhæng mellem vinterfasthed og modtagelighed. Wainwright og Morris (1989) citerer Wainwright *et al.* (1979) for, at brandplanter er mere modtagelige for andre sygdomme bl.a. fusarium, og at dette skulle være årsagen til, at udvintringen ofte er højere i tilfælde af stinkbrand. Veisz *et al.* (1997) fandt en større frostskaade hos angrebne planter end hos raske planter i monogene linier med resistensgenerne *Bt* 1, *Bt* 5, *Bt* 8, og *Bt* 10, men ikke med *Bt* 3, *Bt* 4, *Bt* 6, *Bt* 7, og *Bt* 9. Jeg har selv i et blokforsøg med bekæmpelse set en tydelig blokeffekt i udvintring, og de blokke med størst udvintring havde også det laveste angreb.

Som omtalt under gennemgangen af temperaturforhold synes der at være en kompliceret sammenhæng mellem temperatur og resistens. Voss (1938) har vist, at selv om stinkbrand normalt ikke udvikler sig ved såning af vårhvede i varm jord, så havde vårhvedesorten 'Peragis' et højt angreb ved såning i både kold og varm jord, hvilket også er beskrevet for sorterne 'Fielder' og 'HY320' (Gaudet *et al.* 1991) og dværghveden 'Jenkin' (Smith 1932). Man kan på den baggrund sige, at det forhold, at vårhveden ikke er modtagelig for stinkbrand ved spiring i varm jord er udtryk for en resistensmekanisme, som er tilstede i de fleste sorter, men altså ikke i sorterne 'Jenkin', 'Peragis', 'Fielder' og 'HY320'.

Smith (1932) viste, at sorten 'Hope' var modtagelig, når den blev sået som vinterhvede, men resistent når den blev dyrket som vårhvede. I drivhusforsøg viste han, at forskellen skyldes den højere temperatur, som planten blev udsat for efter fremspining, hvilket ikke sker ved såning af vinterhvede.

Gaudet og Pulchalski (1995) har for en række forskellige resistensgener vist, at det generelle billede i hvert fald for vårhvede er, at isogene linier af sorten 'Red Bob' ikke er modtagelige ved spiring ved 20 °C, men kræver 2 ugers spiring ved under 15°C for at blive inficeret. I linier med indsatte *Bt*-resistensgener kræves der generelt længere tid ved lave temperaturer for at

infektionen kan finde sted. Der var dog også eksempler på det modsatte. Således var f.eks. *Bt-8* resistensgenet resistent over for race T-1 ved dyrkning i 8 uger ved 15°C, men ikke ved dyrkning i 8 uger ved 8°C.

Fischer og Holton (1957) refererer en række forsøg der viser, at daglængden normalt normalt er af minimal betydning for infektionsgraden, men at visse resistente sorter mister resistensen, hvis de udsættes for kontinuerligt lys. Om dette har praktisk betydning for resistensens stabilitet under forskellige breddegrader er uvist.

Da smitteracerne kan være fysiologisk specialiseret til den klimazone, de optræder i, ligesom også landbrugets sortsvalg er det, så kan der være sorter, der under visse forhold bliver registreret som lidet modtagelige, men godt kan optræde som mere modtagelige under andre klimatiske forhold eller ved infektion med en stinkbrandpopulation, som har en anden temperaturspecialisering.

Gaudet *et al.* (1991) har vist, at de fleste modtagelige sorter i Canada havde dværgvækstgenet *Rht*, og at der er en generel tendens til, at langstråede sorter er mindre modtagelige. Det kan hænge sammen med, at strækningen i kortstråede sorter forsinkes, og at der dermed bliver mere tid for patogenet til at nå vækstpunktet. Der er dog også eksempler på undtagelser fra den generelle regel. Eksempelvis er sorterne 'Kosack', 'Herzog' og 'Rektor' både langstråede og meget modtagelige, mens den meget kortstråede sort 'Trintella' ser ud til at være ret resistent (Leijerstam 1991, Heyden 1999, Nielsen *et al.* 1999). Det er ikke undersøgt, om der også er en systematisk omvendt sammenhæng mellem modtagelighed og højde i det danske sortsmateriale, men data er tilgængelige for at kunne lave en sådan analyse.

Man må på denne baggrund forvente, at stråforkortningsmidler vil have samme fremmende effekt på stinkbrandforekomsten som dværgvækstgenet *Rht*, men det er mig bekendt ikke undersøgt. Endvidere kan man forestille sig, at en større mængde af halm i forhold til kerne i en afgrøde vil virke fortyndende på sporekoncentrationen som lander på kernerne under selve mejetærskningen, og dermed for opformeringen i den efterfølgende sæson.

Som det fremgår af Figur 5 steg forekomsten af stinkbrand i slutningen af 1980'erne i Damnark, efter at have ligget på et stabilt lavt niveau gennem det meste af dette århundrede. Den samme udvikling er set i mange andre europæiske lande (Westermann *et al.* 1988b, Blažkova og Bartoš 1997). Denne stigning fandt sted efter landbrugets øgede overgang til kortstråede vinterhvedesorter og anvendelse af stråforkortningsmidler. Som det vil fremgå senere i kapitlet om 'Patogenets spredning', er der dog også andre forhold, der har bidraget til den øgede forekomst af stinkbrand i det sidste halvandet årti, hvorfor det ikke er muligt at kvantificere de enkelte faktorerers betydning for udviklingen.

Weston (1932) og Roemer og Bartholly (1933) har vist, at sorternes modtagelighed i screeningsforsøg var påvirket af, hvilken sort sporerne var høstet på. Ved at anvende sporer, der var taget fra en inficeret plante af samme

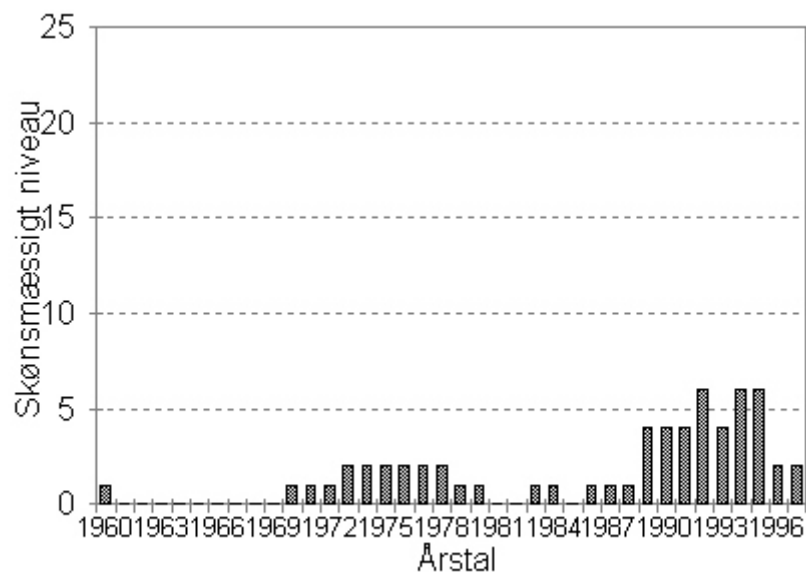


Figure 5 Forekomst af stinkbrand i Danmark 1969-97, skønsmåssigt vurderet efter måneds- og årsoversigter fra Danmarks Jordbrugsforskning (iflg. Stapel, citeret i Nielsen 1998)

sort blev angrebet øget markant i de fleste sorter. Dette kan forklares ved, at der på denne måde udvælges stammer af patogenet, som er særligt virulente over for netop den konkrete sort. Bever (1939) har således vist, at hvis man i en sådan udvælgelse arbejder med en ren stamme af patogenet, hvor der altså ikke indgår forskellige smitteracer, så øges angrebet ikke ved at gen-inokulere en sort med sporer høstet fra samme sort.

Roemer og Bartholly (1933) fandt under tyske forhold, at udenlandske sorter generelt var mindre modtagelige end de tyske, og at sorter, der andre steder var bestemt som egentligt resistente sorter på nær en enkelt undtagelse ikke var det i deres forsøg. Blažkova og Bartoš (1997) undersøgte 36 forskellige sorter i Tjekkiet, som i tidligere udenlandske forsøg var registreret som resistente eller næsten resistente. Kun 5 af disse blev gen-bestemt som resistente i dette nye forsøg. Sorten 'Bert' er blevet registreret som resistent i et forsøg i Tyskland (Piorr 1991), mens den i Danmark er vist som moderat modtagelig (Nielsen *et al.* 1999). Årsagen til den manglende reproducerbarhed i mange modtagelighedsforsøg kan være enten regionale/tidsmæssige forskelle i smitteracernes virulens, eller forskelle i samspillet mellem virulens og klima.

Woolman (1930) har vist, at mens mange patogen-individer samtidigt er i stand til at inficere og trænge gennem epidermis, er der aldrig mere end højst 4, der når vækstpunktet, og som dermed får mulighed for at fuldende deres livscyklus. Dette tyder på, at de første infektioner inducerer resistens i planten, som forhindrer senere indtrængning og vækst af andre individer. Om det er muligt at udnytte dette i forbindelse med bekæmpelse, f.eks. ved at tilføre store

mængder af en ikke virulent stamme af patogenet, er ikke undersøgt ligesom virkningsmekanismen er ukendt.

Resultatet af de danske modtagelighedsundersøgelser har været, at enkelte sorter er identificeret som højresistente (Nielsen *et al.* 1999). Den første sort, som på en gang viste sig resistent, og samtidig kunne gøres tilgængelig på det danske marked, var sorten 'Stava'. Det økologiske såsædsfirma Mørdrupgård Korn har taget denne sort ind i fremavlen i Danmark, men der har kun været begrænset efterspørgsel efter sorten fra de økologiske avlere. Det skyldes bl.a., at sorten kun har moderat gode bageegenskaber og modner ret sent, hvorfor den ikke er optimal for planteavlere, og strået er ret langt, hvorfor den ikke egner sig til helsæd. Såsædsfirmaerne er ansvarlige for at levere sygdomsfri såsæd, så er det dem, der står med risikoen for at såsæden kasseres, og ikke den enkelte landmand. Den enkelte landmand, som vælger sorten, har således ikke speciel interesse i at vælge en resistent sort, hvis alternativet er en modtagelig sort med højere udbytte, men hvor sygdommen heller ikke udvikler sig, fordi den er fri for sporer i såsæden. For den enkelte landmand har resistensen derfor kun interesse, hvis der enten er 1) risiko for jordsmitte, 2) hvis det påregnes at anvende høsten som såsæd, f.eks. på egen bedrift eller 3) hvis resistensen har så stor økonomisk betydning for såsædsproducenten, at resistente sorter bliver billigere at fremavle og dermed kan sælges billigere som såsæd. Der er således et økonomisk/logistisk problem med introduktionen af sorter med resistens mod de monocykliske frøbårne sygdomme i økologisk planteavl.

Efter introduktionen af Stava på det danske marked har flere sorter vist sig at være resistente eller moderat modtagelige, og flere forædlere har taget forædling mod resistens over for stinkbrand og andre frøbårne sygdomme på programmet. Det er derfor sandsynligt, at resistens i fremtiden vil få en mere central betydning i reguleringen af sygdommen. Erfaringer fra det nordvestlige USA, hvor resistens mod stinkbrand har været anvendt mere systematisk, er at virulente smitteracer kan udvikles med en hastighed, der gør det meget vanskeligt for forædlingen hele tiden at være foran udviklingen af nye virulensracer. Den stadigt stigende internationale handel med korn og især såsæd vil betyde, at virulente smitteracer hurtigt vil spredes over lande- og kontinentgrænser, hvorfor stabiliteten af resistensen må forventes at være endnu mindre og med faldende tendens i forhold til tidligere tiders erfaringer.

Den nemmeste måde at undersøge sorters modtagelighed over for stinkbrand er ved at tilføre den samme sporemængde til forskellige sorter, og registrere deres relative angreb. Ved denne type screeninger vil det være af betydning hvilken virulens type sporerne har. For at avancere testen kan man derfor vælge at arbejde med flere populationer af stinkbrand eller patotyper med kendt virulens så vidt muligt dækkende alle de specifikke resistenser, man søger efter. Disse screeninger er meget værdifulde, de er fagligt overkommelige og økonomisk rationelle. Men de lider af en svaghed:

Modtagelighed for stinkbrand er ikke kun et spørgsmål om virulens/ikke-virulens og infektionsbiologi, d.v.s. risikoen for infektion af en spore. Andre sortsbetingede forskelle påvirker epidemiologien. Det kunne som

nævnt være mængden af halm i afgrøden ved høst, eller kernernes behåring eller andre morfologiske træk, der gør risikoen for at sporerne hæfter på kernen under tærskningen mindre, eller reducerer sporeproduktionen i hver inficeret plante. Nogle sorter har mere tendens til delvis infektion end andre, og forskelle sporeproduktionen i hver inficeret plante registreres ikke i forsøg, hvor hver plante(eller aks) blot registres som enten syg eller rask. Som omtalt virker de forskellige resistensmekanismer ikke ens under alle klimatiske forhold, og hvis et screeningsforsøg kun etableres ved én såtid er der risiko for, at det ikke helt repræsenterer, hvordan sorterne/resistensegenskaberne vil reagere ved andre såtider.

Anvendelse af resistens i økologisk jordbrug

I økologisk jordbrug er det et mål at gøre dyrkningssystemet så robust og stabilt som muligt, og mindskes den regulerende indsats mest muligt. En ensidig satsning på vertikal resistens medfører en betydelig risiko for, at virulens udvikles, og at der derfor må udskiftes til en ny sort med et nyt resistensgen. I Pacific Northwest i USA, hvor man har gennemført denne strategi mod stinkbrand, er erfaringen, at virulens hurtigt udvikles og derfor bør følges af andre reguleringsforanstaltninger for at begrænse virulensudviklingen (Hoffmann 1982). Reguleringen af sygdommen vil med ensidig satsning på vertikal resistens blive et evigt kapløb mellem virulensudviklingen hos patogenet, virulensundersøgelser i rådgivningen og forædlingen af nye sorter. Det er en ikke-kemisk reguleringsmulighed, som er tilladt efter de økologiske regler, men det kan ikke betegnes som et selvbærende stabilt system, der bygger på bedriftens egne ressourcer.

Resistens som reguleringsstrategi har en central plads i både naturen og i principperne for økologisk jordbrug, selvom de økologiske avlere altså ikke i praksis har udnyttet de muligheder, der allerede er til rådighed. I økologisk jordbrug bør man dog alt andet lige forsøge at satse på den anvendelse af resistens, der er med til at gøre naturlige plantesamfund stabile. Crute (1990) har eksempelvis vist, at vild salat (*Lactuca serriola*), der lige som hvede er en altovervejende selvbestøvende plante, regulerer meldug (*Bremia lactucae*) ved samtidig anvendelse af flere vertikale resistensgener i kombination med udbredt grad af horisontal resistens, men hvor næsten alle planter er modtagelige i større eller mindre grad. Lignende konklusion er draget om udbredelsen i naturlige plantesamfund af almindelig brandbæger (*Senecio vulgaris*) og meldug (*Erysiphe fischeri*) (Bevan *et al.* 1993). Den aktuelle praksis også i økologisk jordbrug med udbredt dyrkning af få afgrøder er ikke specielt naturlig, men at gøre den enkelte mark homogenetisk, og stort set ens med alle andre hvedemarker kan kun betegnes som patogenetisk skrøbeligt, og dermed i strid med de økologiske målsætninger om at skabe stabile robuste agro-økosystemer. Økologisk planteforædling vil dermed bringe dyrkningssystemet i bedre overensstemmelse med de økologiske dyrkningsprincipper ved at satse på horisontal resistens og i sortvalget fokusere på bio/geno-diversitet fremfor kortsigtet højresistens i monogenetiske kulturer.

Symptomer

Inficerede frugtknuder udvikler sig ikke til normale kerner, men til såkaldte brandbutter eller *sori*. Inficerede frugtknuder bliver grønne på ydersiden og sorte indeni, allerede når de har en størrelse på 0,5 mm (Trione *et al.* 1989). Dette helt afgørende symptom gør det muligt at bestemme en angrebet plante tidligt efter skridning. Senere, når frugtknuden opnår en størrelse på lidt under 1 mm, ændres formen i forhold til normale kerner. Den inficerede frugtknude bliver dråbeformet med spidsen opad, mens sunde frugtknuder nærmest er kegleformede med den flade side opad i lang tid efter skridning. Også farven på dækskællene ændres i inficerede blomster med en mere blågrøn farve i modsætning til den normale friskgrønne farve.

Inficerede småaks udvikler flere brandbutter end raske småaks udvikler kerner. Magnus og Storli (1979) fandt en stigning fra 2,42 korn i raske aks i modsætning til 2,70 brandbutter i inficerede aks. Trione *et al.* (1989) fandt, at det øgede antal brandbutter i forhold til normale kerner var mere udtalt i dværghbrand (*T.contraversa*) end i andre brandformer, og Dumitra (1965) kunne ikke finde nogen stigning i de inficerede i forhold til ikke-inficerede for andre *Tilletia*-arter end *T.contraversa*. De modstridende resultater i litteraturen peger i retning af, at dannelsen muligvis kan være miljøpåvirket, og at dette er forklaringen på de forskellige resultater.

Den ændrede form af frugtknuden som følge af infektionen kombineret med det eventuelt øgede antal udviklede frugtknuder bevirker, at dækbladene spredes mere i de inficerede aks. Set oppefra er de raske aks kvadratiske, mens de inficerede aks er rektangulære.

Inficerede aks er i nogle forsøg fundet at være længere end raske aks. Antallet af småaks er de samme (Magnus og Storli 1979), men internodierne mellem dem er større i inficerede aks (Trione *et al.* 1989). Dette modsiges dog af Vilkaitis (1930) som fandt, at inficerede aks var 15% kortere end raske. Sood og Singh (1991) fandt at inficerede aks var næsten dobbelt så lange i to sorter af dværghvede (*T.compactum*, 'club wheat'), mens der var en tendens til reduceret længde i inficerede aks af alm. hvede ('vulgare'). Fischer og Holton (1957) beskriver det som en almindelig observation, at dværghvedens karakteristiske tendens til korte aks ophæves ved infektion af stinkbrand.

Støvdragerne strækker sig ikke i inficerede aks, og svulmelegememe (lodiklerne) svulmer ikke op under blomstringen som i raske aks (Trione *et al.* 1989). Dette betyder, at støvknapperne ikke kommer til syne i inficerede blomster (Sampson og Davis 1927). Selv om dette også lejlighedsvis sker i raske blomster, har jeg aldrig set støvdragere i inficerede blomster, og synlige støvdragere kan derfor i praktisk diagnostik bruges som et sikkert tegn på infektionsfri blomst.

Jeg har lagt mærke til, at dækbladene på inficerede blomster ikke sidder så fast som i raske blomster. I forsøget på at åbne blomsten med en negl, vil dækbladene i inficerede blomster derfor ofte falde helt af, eller i nogle tilfælde hele blomsten.

Strålængden bliver ofte reduceret i tilfælde af infektion. Magnus og Storli (1979) fandt en gennemsnitlig reduktion på 13,5%, Vilkaitis (1930) en

reduktion på 25%, Dumitra (1965) på 8,4-23,1% og Sampson og Davis (1927) fandt, at reduktionen i deres forsøg på 13-19% var afhængig af sorten og patogenets oprindelse. Også Gaudet *et al.* (1991) fandt en reduktion på 0-21% afhængig af sort, mens Johnsson (1992) ikke kunne finde sortsforskelle i reduktionen af strå længden, men kunne til gengæld relatere forskelle til klimatiske faktorer i løbet af vinter, forår og sommer.

Gaudet *et al.* (1991) skriver, at antallet af internodier er det samme i angrebne og ikke-angrebne strå, og Sood og Singh (1991) har vist, at længdereduktionen kun kommer til udtryk i det øverste internodie, mens længden af de nedre internodier er upåvirket af infektion.

Dumitra (1965) fandt, at antallet af strå i inficerede planter var lavere end i raske, mens Magnus og Storli (1979) og Sampson og Davis (1927) fandt at antallet af strå var forøget i angrebne planter. Uenigheden i disse resultater kan hænge sammen med, at forholdet mellem antallet af strå i inficerede og ikke-inficerede planter bl.a. også er påvirket af plantetætheden (Tubef 1902, Woolman og Humphrey 1924b, Weston 1932, Banada *et al.* 1995). Hvis plantetætheden og dermed konkurrenceforholdet om lys, vand og næring i forsøgene er forskellige, kan de således godt komme til forskelligt resultat. Disse forhold er ikke beskrevet i detaljer i de citerede forsøg.

Griffith *et al.* (1955) beskriver, at blade på inficerede planter kan blive deforme uden at beskrive deformationen i detaljer. Ledningsstrengene i hvedeblade er parallelle i normale raske blade, men egne observationer har vist, at ledningsstrengene i blade af inficerede planter nogle gange følger en bølgende form, ofte kun i den ene side af bladet. Dette får bladet til at bøje til den ene side. Det ses ikke i alle blade eller på alle planter, men hvis det ses er det et næsten sikkert tegn på infektion.

Bladene på inficerede planter er ofte mørkere og med et mere blågrønt skær end blade af raske planter. På bladene ses endvidere ofte chloroser, som ses som pletter eller hele områder med misfarvning. Disse kan observeres allerede på 2-3 bladstadiet, og er synlige helt frem til scenesens (Churchward 1934, Kendrick og Purdy 1959, Trione 1973, Becker 1992) ligesom det også er vist for *Tilletia foetida* (Johnston og Lefebvre 1939) og *T. contraversa* (Hoffmann 1982).

Diagnostiske metoder i forsøgsarbejde med stinkbrand

Ved forsøgsarbejde med stinkbrand er udviklingen af brandbutter (*sori*) normalt det, der afgør om en plante er inficeret eller ej (EPPO 1997). Et problem i denne forbindelse er tiden fra forsøgsanlæg til opgørelse. Det er kun muligt at gennemføre ét markforsøg pr. vækstsæson, hvilket gør arbejdet langsomt f.eks. ved udvikling af nye bekæmpelsesmetoder. På denne baggrund opstod ideen om at anvende en metode, hvor der kunne gennemføres flere forsøg om året. Dette kræver, at diagnosen stilles på baggrund af andre symptomer end de, der forekommer i akset. Bladsymptomerne, som er synlige allerede på 2-4 bladstadiet, forekommer som det mest oplagte.

Jeg har i projektet gennemført en række forsøg i klimakamre baseret på bladsymptomer, bl.a. som forforsøg til markforsøgene. Da metoden ikke tidligere har været systematisk beskrevet med hensyn til sammenhængen mellem de to diagnosemetoder, har jeg valgt at systematisere disse forsøg på en måde, så de samtidig kunne bidrage til at belyse kvaliteten af selve diagnosemetoderne. Resultatet af disse undersøgelser er beskrevet i artiklen “Macroscopic leaf symptoms in wheat infected by *Tilletia tritici*” og er gengivet i Appendiks 1.

Resultatet af forsøgene viser, at der er en klar sammenhæng mellem symptomerne på bladene og symptomerne i akset. Som noget overraskende og nyt viser forsøgene, at den kvantitative sammenhæng er stærkt sortsafhængig, hvilket ikke tidligere er blevet tillagt nogen betydning. Det er således ikke muligt at opstille en éntydig sammenhæng mellem symptomerne ved den ene og den anden metode, men sammenhængen må altid beskrives som en sortsafhængig sammenhæng.

I forsøget har jeg valgt at beskrive graden af sammenhæng ved parametrene ‘sensitivitet’ og ‘specificitet’ som primært i medicinske forsøg anvendes til at beskrive sammenhængen mellem forskellige diagnosemetoder. Sensitivitet anvendes her som betegnelsen for andelen af tests, der stiller en positiv diagnose hos syge planter (eller patienter), mens specificiteten udgør andelen af tests, der korrekt bestemmer en rask plante (eller patient) som rask (Hennekens og Buring 1987). Resultatet af forsøgene viser, at 14 ud af 16 sorter havde en sensitivitet på over 75%. Det vil sige, at i disse sorter havde mere end 75% af de planter, der udviklede syge aks, også klorotiske pletter på bladene. Kun 6 af de 16 sorter havde en specificitet på over 75%. Det vil sige, at i disse 6 sorter var mere end 75% af planterne uden syge aks også fri for klorotiske pletter på bladene.

Planter med lav specificitet er et udtryk for, at der var mange planter med symptomer på bladene, som ikke kom til udtryk som planter med sporeudvikling i akset. Det er velkendt, at selv om stinkbrand er en systemisk sygdom, så vil ikke alle aks i en inficeret plante vise symptomer. Nogle skud undslipper således angrebet i løbet af væksten, og i nogle planter undslipper alle skud infektionen. En lav specificitet er således ikke nødvendigvis et udtryk for, at metoden er dårligere end diagnose stillet i akset, men i nogle tilfælde et udtryk for, at de to metoder viser infektionsfrekvensen på forskelligt tidspunkt eller forskelligt sted i planten. I sorter med en resistensmekanisme, der er effektiv, men som kommer til udtryk sent efter infektionen vil der være udvikling af bladsymptomer som tegn på infektion, men resistensen vil forhindre udvikling af symptomer i akset.

Arbejdet med metoden har således resulteret i forbedrede muligheder for at gennemføre sæson-uafhængige forsøg med et mindre tidsforbrug, og øget sikkerheden i fortolkning af resultater.

Patogenets spredning

Hvedens stinkbrand er primært en frøbåren sygdom (se dog kapitlet om jordsmitte). For at kunne tilrettelægge en strategi for regulering af sygdommen vil det første spørgsmål være, hvordan sporerne kommer fra et kontamineret parti til et ikke-kontamineret. Der er mange forslag og muligheder.

Patogenet kan principielt inficere mange forskellige græsarter i så forskellige slægter som Gedeøje (*Aegilops*), kvik (*Agropyron*), draphavre (*Arrhenatherum*), hejre (*Bromus*), hundegræs (*Dactylis*), marehalm (*Elmus*), svingel (*Festuca*), byg (*Hordeum*), kambunke (*Koeleria*), rajgræs (*Lolium*), rug (*Secale*) og *Sitanion* under eksperimentelle betingelser (Meiners 1956). Selv om alle disse græsser kan inficeres, er det dog ikke ensbetydende med, at de i praksis har betydning for den landbrugsmæssige spredning af sygdommen.

Dværgbrand (*T.contraversa*) ligner i resistensforhold almindelig stinkbrand (*T.tritici*), og denne sygdom er fundet på alm. kvik i Skåne (Kraft og Lundin 1990), men dværgbrand har mere udpræget jordsmitte, hvorfor det ikke heraf kan sluttes, at også stinkbrand vil kunne inficere kvik i naturen. Der er mig bekendt ingen rapporteringer om forekomst af stinkbrand på vilde græsser i Danmark, og jeg vil derfor vurdere det som værende af perifer praktisk betydning.

Sporer kan sandsynligvis føres i eller på dyr og gødning fra en mark til en anden. Johnsson (1990b) har således vist, at sporer kan overleve passagen gennem køer og får, men ikke gennem svin og høns, mens Smilanick *et al.* (1986) viste, at sporer kunne overleve passage gennem både køer, græshopper og høns. Steglich-Dresden (1912) viste, at sporer af den nært beslægtede *T.leavis* bevarede spireevnen efter passage gennem svin og Appel og Riehm (1911, citeret i Fisher og Holton 1957) mistede spireevnen ved fordøjelsen af ko, får og ged. Opbevaret i længere tid i gødning var spireevnen stærkt nedsat, men kunne dog stadig inficere hvede efter 193 dages opbevaring i gødning. Hoffmann og Purdy (1964) har vist, at den nært beslægtede dværgbrand (*T.contraversa*) kan passere gennem tarmen af regnorme uden at miste spireevnen. Omvendt har egne forsøg vist, at springhaler fra 4 slægter af *Collembola* nedbryder stinkbrandsporerne spireevne ved indtagelse, og at de æder stinkbrandsporer på jord i en grad, der signifikant reducerer frekvensen af planter angrebet af stinkbrand, og kun i meget begrænset omfang bærer stinkbrandsporer udvortes (Dromph og Borgen, in press). Man kan således forestille sig, at både vilde og tamme dyr, både store og små, kan fungere som vektorer for stinkbrandens spredning både ved migration og ved spredning af husdyrgødning, men at enkelte andre dyr, bl.a. springhaler og muligvis også større enmavede dyr er med til at begrænse spredning og opformeringen af stinkbrand.

Spredning med dyr er dog i praktisk landbrug næppe den vigtigste vektor for sporerne spredning til ikke befængte fremavlsparter. Under mejetærskningen knuses brandbutterne, og kan dermed føres med vinden ind over en uhøstet hvedemark og på den måde kontaminere jorden her og kornet direkte, hvis marken ikke er høstet endnu. Dette emne har især været studeret i Pacific Northwest i USA, hvor der er meget tørt fra høst til såning, og hvor det

har haft særlig betydning. I sporefælder er der her fundet op til 40.000 sporer pr. kvadrattomme (Woolman og Humphrey 1924b) og sporer er fundet i 11.000 fods højde (Fisher og Holton 1957). Også i Europa kan vindspredning have betydning (Yarham og McKeown 1989).

Spredning via mejetærsker

I det eksperimentelle arbejde med belysning af sporenes spredning gennem dyrkningssystemet har jeg valgt at fokusere på den mulighed, at sporer fra en inficeret afgrøde kontaminerer mejetærskerne, som senere høster en ikke inficeret afgrøde. Resultater og beskrivelse af forsøgsdesignet er beskrevet i artiklen "Dissemination of spores of common bunt (*Tilletia tritici*) via combining equipment", som er gengivet i Appendiks 2.

I artiklen fremgår det, at efter høst af en kraftigt inficeret hvedemark er der stor risiko for at overføre sporer i de efterfølgende 4 tanktømminger af mejetærskeren. Selv om hypotesen om, at mejetærskere kan fungere som spredningsvektorer for stinkbrand ikke er ny, så er det første gang dette er blevet dokumenteret og kvantificeret.

Landbrugsmaskinernes kapacitet har været støt stigende i de sidste årtier, og for at kunne udnytte rationaliseringsgevinsterne ved moderne maskineri er det ikke længere normalt, at hver bedrift har sit eget høstmaskineri. Formentlig omkring halvdelen af al korn i Danmark høstes i dag af maskinstationer eller andre skel-overskridende mejetærskere (Groth, E. pers. medd.), hvilket vil øge spredningsmulighederne mellem ejendomme. Denne øgede spredningsmulighed for sporer mellem ejendomme er således sandsynligvis en medvirkende årsag til den øgede frekvens af stinkbrand, som er konstateret i det sidste halvandet årti.

Jordsmitte

I mine studier af hvedens stinkbrand er jeg flere gange blevet konfronteret med marker med stinkbrand i tilfælde, hvor der er anvendt såsæd, som i en frøanalyse er fundet fri for stinkbrand. Således har jeg i en fremavlsmark i Himmerland i 1998 fundet op til 40 angrebne planter pr. m², og samme år 0,15 angrebne planter pr. m² (0,04%) på en fremavlsmark ved Roskilde. En bedrift på Sydsjælland, som i 1990 havde kraftige angreb, havde i de følgende år til stadighed mindre angreb, selv om såsæden flere gange blev skiftet ud til smittefri såsæd. Dette gav baggrund for formuleringen af en hypotese om, at sporekontamineret såsæd ikke er den eneste smittevej for hvedens stinkbrand.

I litteraturen er muligheden for jordsmitte flere gange blevet omtalt og undersøgt. Flere har lavet forsøg med kontaminering af jord med stinkbrandsporer, og såning af hvede i forskellige tidsintervaller herefter. Konklusionerne på disse forsøg er entydigt, at stinkbrand ikke kan inficere hveden, hvis denne sås 1-2 måneder efter kontaminering af fugtig markjord (Hungerford 1922, Woolman og Humphrey 1924b, Bonne 1931, Weston 1932, Vanderwale og Detroux 1954, Weltzien 1957, Kühnel 1960, Parlak 1986).

Heller ikke vårhvede kan i denne type forsøg inficeres af sporer, der er tilført jorden i efteråret (Tubeuf 1902, Appel og Riehm 1914, Woolman og Humphrey 1924b, Foster og Henry 1937). Kun i tilfælde, hvor jorden er særlig tør forhindres sporenes spiring, og sporerne kan i dette tilfælde holde sig levedygtige i en længere periode (Williams 1987, Yarham og McKeown 1989) ligesom patogenet *T. tritici*, der forårsager stinkbrand kan krydse med det udpræget jordbårne patogen *T. contraversa*, der forårsager dværgbrand og de dannede hybrider, kan have egenskaber der i højere grad minder om den jordbårne dværgbrand (Kendrick *et al.* 1964, Yarham 1993). På denne baggrund har det været den almindelige opfattelse, at jordbåren smitte af stinkbrand er en sjældenhed, og kun vil optræde ved såning af vinterhvede i samme mark og i samme år som en kraftig inficeret afgrøde (Williams 1987, Yarham 1993).

Danske efterår er ikke så tørre, at de skulle kunne begrunde en undtagelse fra den generelle regel, og de år, hvor jeg har observeret de angrebne marker, var ikke meteorologiske undtagelser. Dværgbrand er aldrig observeret i Danmark, og de sporer, som jeg har undersøgt fra de pågældende marker, viste ingen morfologiske tegn på, at der skulle være tale om en mellemting mellem *T. tritici* og *T. contraversa*.

Johnsson (1990b) har vist, at stinkbrandsporer, der opbevares i fugtig jord nedgravet i 20 cm dybde bevarer spireevnen, og under eksperimentelle forhold godt kan inficere hveden i hvert fald op til 10 år efter, at sporerne er nedgravet. Det er dermed vist, at patogenet ikke som tidligere antaget altid vil spire ved opbevaring i fugtig jord, og i fraværet af værtsplanter dø. Det er dog ikke dermed vist, at også selve sygdommen i praksis er jordbåren, for som Johnsson (1990b) konkluderer, så er det kun vist under særlige eksperimentelle forhold, hvor sporerne systematisk tilføres kernerne, mens de under markforhold vil blive opblandet i pløjelaget, og dermed muligvis ikke kunne nå at inficere kernerne i den korte tid, der er til infektionen efter såning. Placeringen af sporerne i jordprofilen er helt afgørende for infektionen, hvor f.eks. sporer, der er anbragt blot få centimeter under en kerne, ikke kan inficere (Woolman og Humphrey 1924b, Johnsson 1990b). På denne baggrund har der været grund til tvivl om den praktiske betydning af Johnssons resultater.

For at belyse problemet har jeg udført en forsøgsrække der er publiceret i artiklen "Perennial survival of common bunt (*Tilletia tritici*) in soil under modern farming practice" og er gengivet i Appendiks 3.

I forsøgene viser jeg, at stinkbrand ikke bare kan overleve i jorden i op til 5 år, men de formår også at inficere en afgrøde under dyrkningsforhold, der i denne sammenhæng er sammenlignelige med almindelig landbrugspraksis. Johnssons resultater er således ikke blot af eksperimentel/akademisk interesse, men er dokumentation for, at stinkbrand *de facto* er en jordbåren sygdom.

I forsøgene viser jeg også, at risikoen for jordbåren smitte af stinkbrand ikke er størst ved dyrkning af hvede efter hvede, men at risikoen faktisk er større ved dyrkning af en enkelt mellemafgrøde mellem to hvedeafgrøder. Dette hænger sandsynligvis sammen med, at hvedemarkerne i forsøget efter høst, som det er normalt, blev pløjet inden såning af den efterfølgende afgrøde. Hvis den efterfølgende afgrøde er hvede, vil der være relativt få sporer i selve såbedet, og

risikoen for infektion er derfor mindre end i tilfælde, hvor sporerne først er pløjet ned, og året efter er pløjet op igen. Hvis pløjedybden er den samme, vil der i dette tilfælde være en langt højere koncentration af sporer i såbedet, hvilket tilsyneladende er af større betydning end det forhold, at sporerne er 1 år gamle og opbevaret i fugtig jord.

Selv om stinkbrand altså kan optræde som jordbåren sygdom, så viser forsøgene, at angrebet som følge af jordbåren smitte i alle tilfælde var lavere end det angreb, der kontaminerede marken med sporer. Man kan således regne med, at angrebsgraden vil falde fra år til år, hvis der altid anvendes sporefri såsæd. Jordbåren smitte kan således ikke i praksis vedligeholde sig selv på et højt niveau, men i praksis primært have betydning ved at smitte fremavlskorn med frøbåren smitte.

Man kan undre sig over, hvordan det kan være, at stinkbrandens mulighed for at optræde som jordbåren patogen er blevet opdaget nu, hvor man tidligere konkluderede det modsatte. Jeg tror, at det hænger sammen med en ændret dyrkningspraksis i løbet af dette århundrede. I starten af århundredet var det normal dyrkningspraksis at have flere år med mellemafgrøder ved dyrkning af hvede. Hvede efter hvede forekom sjældent, hvis overhovedet. Pløjedybden var sjældent mere end nogle få tommer, og tidlig efterårspøjning efter hvede har været sjælden, idet der normalt har fulgt en vårsæd efter hveden, og marken har derfor normalt ligget til stubharvning om efteråret med pløjning senere på efteråret eller forår, hvor jorden ikke er så tør, og hvor behovet for trækraft til ploven er mindre. Johnsson *et al.* (1994) vurderer, at øget udbredelse af pløjefri dyrkning af hvede efter hvede kan være en af årsagerne til den øgede forekomst af stinkbrand, hvilket dog ikke kun tilskrives jordbåren smitte, men også risikoen for inficerede spildplanter.

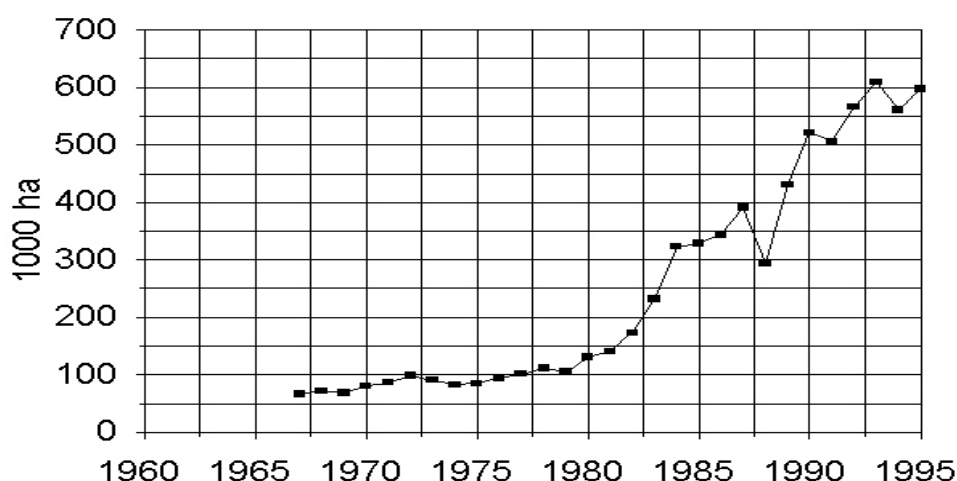


Figure 6: Vinterhvedearealet i Danmark 1960-1995. (Fra Kristensen *et al.* 1996).h

Tærskning foregik før i tiden ikke med mejetærsker, men med stationært tærskeværk enten hjemme i laden eller på faste pladser i marken. Risikoen for at kontaminere marken med stinkbrandsporer har derfor været lille, og hvis det skete, ville sporerne normalt spire i stubmarken inden de blev pløjet ned.

Efter at de moderne fungicider og stråforkortningsmidler blev udbredt i starten af 1980'erne, blev det muligt at dyrke hveden i snævrere sædskifter, og også andre vinterannuelle afgrøder som vinterbyg og vinterraps blev hyppigere i sædskifter. Alene hvedearealet blev således 5-doblet i løbet af 1980'erne (Figur 6). Dyrkningspraksis ændrede sig derfor til, at hvedemarkerne bliver pløjet allerede i det tidlige efterår med henblik på etablering af ny vintersæd. Samtidig er anvendelsen af stubharvning blevet mindre intensiv til fordel for sprøjtning med Glyphosat-holdige midler (RoundUp), og den stigende maskinkraft har medført at pløjedybden er steget betydeligt. Især i 1960'erne og 1970'erne blev hovedparten af hvedehalmen brændt af på marken, hvilket reducerer risikoen for jordsmitte betydeligt (Heald 1921, Woolman og Humphrey 1924b, Kendrick *et al.* 1964), men efter udbredelsen af halmvarme og endeligt med forbudet mod afbrænding af halm på marken i 1990 har landbruget forladt denne praksis. Alt dette har betydet, at stinkbrandsporerens mulighed for at inficere senere afgrøder i sædskiftet er øget markant. Den øgede forekomst af stinkbrand, som er konstateret i Danmark i slutningen af 1980'erne er også konstateret i Tyskland, dog nogle år tidligere (Westermann *et al.* 1988b), hvilket kan hænge sammen med, at også overgangen til øget vintersædsdyrkning forekom tidligere i Tyskland end i Danmark.

Teoretisk overvejelse over stinkbrandens naturlige spredningsmønster

Stinkbrand er den ældste kendte plantesygdom på en kulturafrøde og den første frøbårne sygdom man har viden om blev bekæmpet ved frøbehandling. Den effektive frøbårne spredning har gennem tiderne gjort den til den alvorligste sygdom på en af de vigtigste kulturafrøder overhovedet (Buttress og Dennis 1947, Woolman og Humphrey 1924a, Sharville 1979). Det er derfor ikke tilfældigt, at stinkbrand ofte fremhæves som model for frøbårne sygdomme i plantepatologisk lærebogsmateriale. Alligevel kan man stille sig det lidt teoretiske spørgsmål: Er stinkbrand (*T. tritici*) overhovedet en rigtig frøbåren sygdom fra naturens hånd?

Det normale for stinkbrandinficerede hvedeblomster er, at der enten udvikles raske hvedekerner eller brandbutter, som udelukkende indeholder svampesporer. I enkelte tilfælde vil aks indeholde både raske og syge frugtanlæg, men egentligt inficerede spiredygtige kerner er yderst sjældne. Griffith *et al.* (1955) har vist, at visse resistensmekanismer virker ved at hæmme vækst og sporedannelse i frugtknuden, og at der derved i enkelte tilfælde dannes få sporer i ellers sunde kerner. Om sporer eller kerner i disse tilfælde er spiredygtige er ikke undersøgt. Jeg har selv observeret enkelte kerner i den modtagelige sort 'Kosack' med delvis infektion, men uden at have lavet

statistik på det vil jeg vurdere, at det højst drejer sig om en enkelt kerne ud af 1.000 eller måske 10.000 frugtdannelser i inficerede planter, og det vil således være epidemiologisk af helt marginal betydning, dog med forbehold for, at det i sorter med særlige resistensforhold kan forholde sig anderledes. I det nært beslægtede patogen *T. indica*, partiel brand, eller Kamal bunt, er delvist inficerede kerner derimod en meget vigtig faktor i epidemiologien.

I naturtilstanden vil hvede og andre græsser angrebet af stinkbrand således normalt udvikle brandsporer i nogle aks og raske kerner i andre. Ved modenhed vil kernerne falde på jorden og spire, og brandbutterne vil også falde på jorden, hvor sporerne vil spire. Hvis frø og sporer lander tæt ved hinanden vil hveden blive inficeret, men kerner vil næppe ret ofte have sporer siddende på sig inden de forlader moderplanten. Det forhold, at inficerede planter ikke udelukkende udvikler syge aks, men som hovedregel udvikler både syge og raske aks, kan således ikke entydigt tages som udtryk for mangelfuld succes fra patogenets side, men kan også tolkes som en strategi fra patogenets side tilpasset naturtilstanden for at sikre, at der er planter året efter og dermed dets patogenets egen overlevelse.

Min erfaring med mus er, at de plukker de raske kerner selektivt, og lader de syge aks stå tilbage uberørte uden at bryde brandbutterne. Kerner indsamlet af mus og lignende vil derfor sjældent være kontamineret med stinkbrand. Større dyr, der ikke snuser til de enkelte aks før de ædes, vil æde både raske og syge aks, men når aks og kerner spises/ædes direkte fra planten er det ikke normalt, at raske kerner overlever passagen gennem tarmkanalen på samme måde som sporerne kan (Hoffmann og Purdy 1964, Smilanick *et al.* 1986, Johnsson 1990b). Dyrespredning af sporer separat fra kerner har derfor i naturtilstanden muligvis været af stor betydning som langdistancevektor, men det vil ikke være at betegne som en frøbåren spredning. I en naturtilstand vil jeg derfor vurdere, at stinkbrand (*T. tritici*, som vi kender den) primært er en jordbåren sygdom, hvor langdistancespredning af sporerne må have foregået separat fra kernerne enten ved vindspredning eller gennem gødning efter at være spist af dyr.

Da mennesket af rationelle grunde begyndte at indsamle aks og hele planter for at tærsk dem samlet, skete der en ændring i stinkbrandens patogenese. Da inficerede planter er vanskelige at skelne fra raske, blev de også indsamlet, og under tærskningen blev raske kerner kontamineret. Hvis der ikke blev spist op, spirede kernerne på køkkenmøddingen, hvor de senere blev høstet og dette blev senere igen udnyttet bevidst og rationaliseret til etablering af egentlige marker. Lige siden har stinkbranden været en vigtig frøbåren sygdom spredt af mennesker. Stinkbrandens frøbåren natur er således menneskeskabt, mens stinkbrandens naturlige spredningsmønster må betegnes som primært jordbåren med vind- og dyrespredning af sporer separat fra kerner som langdistancevektorer. Stinkbrand må således betegnes som en antropogen eller pseudo-frøbåren sygdom.

Sygdommens bekæmpelse

Selv med den nye viden om spredningen af stinkbrand via mejetærskere og om mulighederne for at forebygge introduktionen af patogenet i en afgrøde ved veltilrettelagt sædskifte, er det ikke sikkert, at stinkbranden er fuldstændig under kontrol i økologisk planteavl. Der er sandsynligvis også andre smitteveje, og selv om viljen er til stede for forebyggelse, er det ikke sikkert, at det lykkes. Bejdsning og anden frøbehandling, der bevidst sigter på at begrænse opformeringen af stinkbrand, har været anvendt siden oldtiden, men hovedparten af midlerne med den bedste effekt er ikke tilladte til brug i økologisk avl. For at vurdere kornbehandlingens plads i en integreret strategi for regulering af sygdommen har jeg lige siden jeg startede med arbejdet med stinkbrand gennemført forsøg med forskellig frøbehandlinger, der er tilladt, eller med rimelig sandsynlighed kunne blive det til brug for de økologisk landmænd eller såsædsfirmaer.

Forsøgsdesign

Retningslinier for bekæmpelsesforsøg med stinkbrand er formuleret af European and Mediterranean Plant Protection Organization (EPPO 1997). Ifølge disse guidelines bør bekæmpelsesforsøg med stinkbrand foregå med såsæd med højt sporeindhold på 2 g/kg i markforsøg med en parcellstørrelse på minimum 3 m² med opgørelse af procent angrebne aks i stadie 73-93. Hvis ikke hele parcellen opgøres, bør minimum 2 række-meter diagonalt gennem parcellen opgøres. Jeg har i mine bekæmpelsesforsøg på en række punkter valgt at afvige fra disse guidelines af flere grunde.

Jeg har i en række forsøg valgt parcellstørrelser langt mindre end anbefalet, idet de fleste forsøg er sået med en såkaldt 'aks-såmaskine' (Weihestephane, Seedmatic 6), hvor hver parcell består af en enkelt række på 1,2 m med hver omkring 100 kerner. Til gengæld har jeg arbejdet med 8-10 gentagelser.

Forsøgsarbejde med stinkbrand medfører risiko for spredning af sygdommen til resten af forsøgsgårdens hvedeavl gennem jordsmitte og via maskiner. Da stinkbrand ikke spreder sig epidemisk fra såning til diagnostidspunkt har jeg ikke kunnet se noget argument for at tilså en parcell med flere planter end der skal opgøres.

Antallet af inficerede aks påvirkes som nævnt på en anden måde af miljøforholdene end raske aks. Tubeuf (1902) har således vist, at angrebet er lavere i randen af en parcell end i midten, og Woolman and Humphrey (1924b) og Weston (1932) har vist, at høj tæthed i rækken øger frekvensen af både antallet af syge planter og antallet af syge aks i hver syg plante. Banada *et al.* (1995) mener derimod, at en høj plantetæthed nedsætter angrebet. I et forsøg gennemført i året 1994-95 (beskrevet i artiklen om mælkepulverbehandling (Appendiks 5)) blev parcellerne anlagt som radsåede 'storparceller' på 6 m² og frekvensen af angrebne aks opgjort i henholdsvis den yderste og næstyderste række. Det gennemsnitlige angreb i yderste række var 21,2% mod 25,4% i næstyderste ($p < 0,0012$). På denne baggrund har jeg i alle senere forsøg valgt et

design, hvor alle parceller er ens og opgøres ens frem for storparceller, hvor kun en del af parcellerne opgøres, og hvor der derfor kan stilles spørgsmålstejn ved, om de opgjorte planters miljøforhold har været ens i alle parceller.

Bivirkninger på spireevnen

I et økologisk dyrkningssystem spiller kornets spiringssevne en vigtig rolle. En dårlig fremspiring vil give en tynd og uens afgrøde, som igen vil betyde en dårligere konkurrenceevne over for ukrudt m.m. Kornets spireevne vil derfor i et økologisk dyrkningssystem have større betydning end i et konventionelt dyrkningssystem, hvor nedsat konkurrence over for ukrudt og andre skadegørere efterfølgende kan kompenseres med pesticidbehandling (Kölsch 1989).

Certificeringskravene for korns spireevne er 85% (Plantedirektoratet 1990) og man kunne måske derfor forvente, at blot spireevnen i behandlet korn overholder certificeringskravene, så vil bivirkningen af behandlingen have været uden betydning. Dette er ikke tilfældet.

Når spireevnen måles i procent, som det er kravet ved certificering af et parti, så er spire-procenten et udtryk for, hvor mange procent af kernerne, der under optimale spiringsbetingelser i laboratoriet kan give normalt udseende spirer. Men ude i marken er spiringsbetingelserne ikke altid optimale, og det er da også velkendt, at markspiringen ofte er mærkbart mindre end den officielle spire-procent (Kölsch 1989). Man kan således godt komme ud for, at to partier med samme eller næsten samme laboratoriespireevne viser store forskelle i markfremspiringen. Det er således vist, at to partier af samme sort, som begge overholdt certificeringskravene m.h.t spireevne, havde op til 14-16% forskel i udbytte under gode klimatiske og ikke-økologiske dyrkningsbetingelser (Emmeluth 1991, Pedersen *et al.* 1993). I egne forsøg med tilsætning af sporer til høj- og lav-vitalt korn var angrebet langt højere i planterne fra det lav-vitale korn, hvilket indikerer, at vitaliteten også har betydning for forekomsten af stinkbrand.

Der er derfor grunde til, at man i forskning i økologisk såsæd bør være særlig opmærksom på kornets spirevitalitet, og dermed på eventuelle spireskader ved såsædsbehandlinger. Såsædens spirevitalitet i økologisk jordbrug er emnet for et ph.d.-projekt, som jeg har nært samarbejde med (Kristensen, *in prep.*). For at gøre forsøgene sammenlignelige har vi valgt den samme spireanalyse i alle forsøg, som giver et nuanceret billede af spirevitaliteten, og valget er faldet på en spirehastighedsanalyse, hvor 100 kerner sås i fugtigt sand (65ml vand/kg sand) i 1,5 cm dybde, som stilles til spiring ved 10 °C. Ved denne temperatur fremkommer de første spirer efter 9-11 dage, og antallet af spirer er herefter talt så vidt muligt hver dag i de følgende 5 dage (enkelte forsøg dog et par dage mere eller mindre). Herved fremkommer et spiringsforløb, som kan analyseres statistisk med en generaliseret lineær model, og spirehastigheden kan beskrives som middelspiretiden, f.eks. som tiden til 50% spiring af de såede korn (MGT_{total}) eller som tiden til fremkomsten af 50% af de faktisk fremspirede (MGT_{50}).

Statistik

Både sygdomsdata og spiredata må formodes at tilnærme sig en binomial fordeling, da de opgjorte aks enten er syge eller raske, henholdsvis spirede eller ikke-spirede. Dette kan udnyttes ved anvendelsen af 'GENeraliserede linære MODeller' (GENMOD i software SAS vers. 6.12) i modsætning til 'Generelle Linære Modeller (GLM i software SAS)', som blot vil regne på den gennemsnitlige frekvens i hver gentagelse. Ved anvendelse af generaliserede linære modeller kan man sige, at hver enkelt plante udgør en gentagelse for sig med binomial fordeling. Generaliserede linære modeller vægter endvidere gentagelserne afhængigt af spredning og antallet af planter i dem, hvilket muliggør en mere sikker bestemmelse af parametereffekten, og af eventuelle forskelle. Data er af denne grund primært blevet analyseret med GENMOD eller med GLIMMIX (Generalized Linear Mixed Models) som endvidere kan tage hensyn til tilfældige virkninger i forsøget.

Varmtvandsmetoden

Darelli (1805) citerer Begstrup for en metode til bekæmpelse af stinkbrand som bl.a. indebærer vaskning af såsæden i rent vand og tørring på jernplader i ovnen. Det nævnes også, at bekæmpelse kan foregå ved at tørre hveden på loftet over badstuen. Neergaard (1977) beskriver en 'Solar Heat Treatment' som i varmere lande kan anvendes ved at lægge vådt korn til tørre i solen, hvorved solopvarmningen under tørringen kan bekæmpe frøbårne sygdomme. Det er dog først med J.L.Jensen (1888a,b), at den egentlige varmtvandsmetode kan siges at have fået sin videnskabelige dokumentation.

At neddyppe plantedele i vand vil skade disse, hvis temperaturen er tilstrækkelig høj i tilstrækkelig lang tid. I varmtvandsmetoden udnyttes det, at stinkbrandsporer og hvedekerner åbenbart har forskellig følsomhed over for kombinationen af tid og temperatur.

Forsøgene med kombinationer af tid og temperatur er beskrevet i artiklen "Water based thermotherapy in control of common bunt in wheat" og er gengivet i Appendiks 4.

Tidligere undersøgelser af metoden har være behæftet med forskellige svagheder. I undersøgelser fra slutningen af sidste århundrede og starten af dette var effekten på spiringen utilstrækkeligt belyst, og i nyere undersøgelser (Piorr 1991, Winter *et al.* 1994) er metoden kun undersøgt ved forudgående udblødning i vand, og i disse undersøgelser har det ikke været muligt at finde en kombination af temperatur og tid, hvor en tilstrækkelig effekt kunne opnås uden spiringsskade.

I vore forsøg neddyppes tørt stinkbrand-kontamineret korn i et vandbad med temperaturstyring i en kontrolleret tid, og effekten er målt i feltforsøg. Forsøgene viser, at effekten på stinkbranden stiger med stigende temperatur og stigende tid. Det samme gør bivirkningen på kornets spirehastighed. Der er dog så at sige et vindue i området 55-60 °C i 1-5 minutter, hvor det er muligt at bekæmpe stinkbrand fuldstændigt uden signifikant effekt på spiringshastigheden.

Vore forsøg er gennemført med kornmængder på 100 g med efterfølgende langsom nedtørring. Hvis metoden skal anvendes i kommerciel skala vil der være tale om meget større kornmængder, hvilket vil påvirke både temperaturforholdene under behandlingen og den efterfølgende nedtørring. For at vurdere metodens kommercielle potentiale må der derfor gennemføres yderligere forsøg i stor skala, hvor nye problemer kan vise sig.

Forspiring af såsæd

I sin oprindelige udformning af varmtvandsmetoden til bekæmpelse af stinkbrand af Jensen (1888b) blev varmtvandsbehandlingen af kornet afsluttet med en forspiring af kornet. Det har i mange forsøg vist sig, at forspiring af frø forud for såning fremmer fremspiringshastigheden med indlysende fordele for konkurrenceevnen over for især ukrudt, men muligvis også over for spiringsskade svampe. I egne forsøg med forspiring af vinterhvede er der på denne måde opnået merudbytter på 8%. I grønsagsavlens anvendes denne form for priming i visse afgrøder, men i korn og andre afgrøder, hvor der anvendes store udsædsmængder er det indtil nu ikke blevet vurderet som anvendeligt for konventionelt jordbrug (Ullerup 1989). Det er dog ikke undersøgt, om en forspiring af kornet rent faktisk er økonomisk rentabel i relation til en positiv udbyttepåvirkning og sparede omkostninger til især ukrudtsbekæmpelse. En simpel beregning viser, at et øget udbytte i økologisk brug på 10% af 5 tons/ha giver 800,- kr/ha ved en pris på 1,60 kr/kg. Ved en udsædsmængde på 140 kg/ha er der således et betydeligt økonomisk spillerum for rentable behandlinger, idet såsæd kan koste op til 575,-kr ekstra pr. hkg og stadig være økonomisk fordelagtig i kraft af merudbyttet.

En maltningsproces, der er en mere omfattende proces end forspiring, koster typisk 50,-kr/hkg i industrielle anlæg (Sten Astrup, pers. kom.), hvilket tyder på, at en afslutning af varmtvandsbehandlingen med en forspiring af såsæd kan være en rentabel behandling, der ved en udbytteforøgelse kan være med til at finansiere den nedtørring, som er nødvendig efter varmtvandsbehandlingen.

En anden mulighed er at så kornet vådt umiddelbart efter behandling. Der er udviklet udstyr, der kan så vådt korn, og som bl.a. i Bulgarien har været anvendt til byg, der med en våd anaerob behandling var blevet behandlet mod nøgen bygbrand (*Ustilago nuda*). En sådan mulighed vil dog kræve så betydelige logistiske omstruktureringer i den danske såsædsbranche, at det er vanskeligt at vurdere potentialet.

Tør termisk behandling

Tør varm luft virker anderledes end fugtig varme på en række patogener, og kan derfor ikke anvendes til bekæmpelse, idet behandlingen medfører en uacceptabel spiringsskade (Lind og Ravn 1918, Smilanick *et al.* 1988). Dette kan hænge sammen med, at spiringsskaden på både kerner og sporer stiger med stigende vandindhold. Da sporerne er mindre end kornet vil sporerne under behandlingen nedtørre hurtigere end kornet, og kornet vil derfor bevare et relativt højere vandindhold end sporerne og derfor blive skadet mere af den høje

temperatur end sporerne. Ved behandling i varmt vand udnytter man muligvis den modsatte effekt ved at sporerne p.g.a. deres størrelse hurtigere optager vand og derved hurtigere opnår et vandindhold, der gør dem følsomme for varmebehandlingen.

Winkelmann (1955) har vist, at det er muligt at bekæmpe nøgenbrand i byg og hvede ved at erstatte varmt vand med vanddamp (50-55 °C) eller en blanding af vand- og alkoholdamp. I et EU-finansieret projekt, som bl.a. Landbohøjskolen indgår i (Kristensen 2000), og i tidligere omtalte ph.d.-projekt (Kristensen, *in prep*) undersøges det, om det er muligt at bekæmpe stinkbrand og andre frøbårne patogener med varm fugtig luft, hvor der ikke sker en nedtørring under varmluftbehandlingen. Det ser ud til, at der er nogle muligheder i dette princip især ved at nedsætte tørringsomkostningerne efter behandling sammenlignet med tørringsomkostningerne ved almindelig varmtvandsbehandling.

Mælkepulver behandling

Nordin (1982) var den første der viste, at pillering af hvedekerner med et organisk næringsmedium kunne anvendes som bekæmpelse af stinkbrand. Becker (1992) bekræftede dette og viste, at mælkepulver virkede lidt bedre end det hvedemel, som Nordin anvendte i sine forsøg.

I artiklen "Milk powder seed treatment to control of common bunt in wheat" gengivet i Appendiks 5, har jeg studeret emnet nærmere. Forsøgene viser, at coatning af såsæden med mælkepulver reducerer hvedens spirehastighed proportionalt med doseringen. Det betyder, at man må regne med en (omend begrænset) spiringsskade selv ved lave doseringer. Bekæmpelseeffekten på stinkbrandangrebet stiger også med stigende dosering, men effektivitetsstigningen er størst ved lave doseringer, og selektiviteten således faldende ved stigende dosering, hvilket ikke er atypisk for bekæmpelsesforsøg, men dog ikke tidligere vist for stinkbrandbekæmpelse med mælkepulver.

Forsøgene med mælkepulver er gennemført i 6 år. I de 5 af årene var bekæmpelseeffekten på over 90% ved de højeste doseringer, men et enkelt år (1998) var den maksimale virkning kun 70%. Det har ikke været muligt at finde nogen forklaring på denne begrænsede effekt dette år, men på baggrund af resultater fra andre forsøg argumenteres for og imod forskellige muligheder:

Det kan ikke udelukkes, at der i arealet har været jordsmitte, og det er en generel erfaring, at bejdsemidler uden systemisk effekt ofte kun har en begrænset effekt på jordbåren stinkbrand. Effekten af mælkepulver på jordbåren stinkbrand er undersøgt i et enkelt forsøg, hvor behandlingen reducerede angrebet fra 0.71 % (0.49-1.04) i den ubehandlede til 0.06 % (0.02-0.22) i den mælkepulverbehandlede. Selv om reduktionsprocenten i dette forsøg var over 90% og signifikant, viser konfidensintervallet en stor bredde, og sammenholdt med erfaringer med andre ikke-systemiske midler, kan det næppe helt udelukkes, at jordsmitte kan have haft indflydelse på resultatet i 1998.

Effekten af mælkepulver er tilsyneladende upåvirket af mængden af sporer eller angrebets størrelse, og også forskellige typer af mælkepulver ser ud til at have nogenlunde samme effekt. Forsøg med andre midler så som mel af forskellige frø og lignende viser, at coating med organiske midler ser ud til at have en generel effekt på stinkbrandinfektionen, men da midlerne har forskellige forklstringsegenskaber, vandopløselighed og kemiske indholdsstoffer blev der registreret forskelle mellem midlerne. Således havde sennep en betydelig større effekt på både stinkbrandinfektionen og på spiringsskaden af behandlingen, antagelig på grund af indholdet af sennepsglykosinolater.

Et enkelt forsøg med mælkepulver har vist, at reduktionsprocenten var lav (85%) ved ekstrem sen såning i et forsøg med tre såtider, og der har vist sig en tendens til højest effektivitet ved lavt infektionsniveau. Bortset fra dette er der ikke registreret forhold der har haft påviselig effekt på mælkepulverets effektivitet i stinkbrandbekæmpelsen.

Behandling af såsæden med mælkepulver kan som vist bidrage til bekæmpelse af stinkbrand, men mælkepulver bør ikke stå alene i bekæmpelsen, idet doseringen for at undgå væsentlige spiringsskader bør være så lav, at mælkepulveret ikke alene kan give fuld bekæmpelse.

Biologiske midler

Ajle og andre former for gødning har været anvendt som bekæmpelsesmiddel mod stinkbrand i lang tid, og nævnes ifølge Buttress og Dennis (1947) allerede af Speed i 1659.

I økologisk jordbrug tilstræbes det at have en høj grad af biodiversitet i produktionen, herunder mikrobiologisk aktivitet. Kompost er et produkt med en alsidig og aktiv mikroflora (Tränkner 1992). Kompostering har derfor altid haft en central plads i principperne for den økologiske planteproduktion. Blandt de økologiske "dogmer" har det altid heddet, at sygdomme primært bør reguleres med at have et aktivt (mikro)biologisk miljø, der skulle styrke systemets stabilitet og selvregulerende evne. Jeg har i forsøg med biologiske midler undersøgt, om denne generelle hensigtserklæring også kan have virkning i reguleringen af stinkbrand. Forsøgene er publiceret i artiklen "Biological control of common bunt in organic agriculture" og er gengivet i Appendiks 6.

I autorisationsreglerne for økologisk jordbrug (Plantedirektoratet 2000) er det principielt tilladt af anvende mikrobiologisk bekæmpelse i økologisk jordbrug. Selv om der ikke aktuelt er midler på det danske marked, der er godkendt til bekæmpelse af stinkbrand, så må det forventes, at der inden for kort tid vil komme det, og økologerne må i den situation tage stilling til, om disse bør finde anvendelse i økologisk produktion i Danmark. Jeg har derfor inkluderet visse specifikke mikrobiologiske midler, der kunne tænkes at blive udviklet til godkendte midler til bekæmpelse af frøbårne sygdomme.

Da der ikke har været tilgængelige retningslinier for anvendelsen af de afprøvede midler (bortset fra et enkelt middel), er forsøgene gennemført som screeningsforsøg, hvor potentialet ikke skal aflæses i den maximale effekt i

bekæmpelsen. En signifikant effekt uden signifikant effekt på spiringen kan således vurderes som et lovende resultat, som kan bruges som argument for at studere midlet yderligere, f.eks. ved højere doser.

Forsøgene viser, at bejdsning med ajle og kompostekstrakter ikke har noget væsentligt potentiale i bekæmpelses-øjemed, hvis det anvendes alene. Kun i et enkelt forsøg med bejdsning med disse midler har der været signifikant effekt. Kompost nedlagt direkte i sårækken, som simulation af nedharvet kompostgødning af marken, gav direkte et signifikant forhøjet stinkbrandangreb, sandsynligvis som følge af forbedrede iltforhold i såbedet, som tilsyneladende begunstiger patogenet mere end en eventuelt hæmning som følge af en biologisk effekt af komposten.

Andre midler med en bred mikrobiologisk sammensætning, som midlet 'EM' eller vomsaften fra en ko, havde en signifikant effekt. 'EM' er et middel, der består af en række forskellige mikroorganismer, som er bevidst sammensat med henblik på at skabe et produkt, der kan anvendes som jordforbedringsmiddel, bekæmpelsesmiddel mod plantesygdomme og samtidig kan have en sundhedsfremmende effekt ved oral indtagelse (Higa 1996). I hvilken udstrækning dette er tilfældet falder uden for projektets rammer, og jeg har alene undersøgt effekten mod stinkbrand. Her kun EM kun effekt i doseringer, der samtidig gav spiringsskade, sandsynligvis primært som følge af en kemisk effekt fra de mikrobiologiske metabolitter, snarere end ved en direkte biologisk effekt. Vomsaften fra en ko havde en forbavsende god effekt på 76,4% uden signifikant påvirkning af spireevnen. For at vurdere de muligheder dette kan medføre, må det undersøges, om der er tale om en biologisk eller kemisk effekt, og sammenhængen mellem eventuel spiringsskade og bekæmpelseseffekt ved højere dosering.

En række midler og kulturer bestod af en enkelt stamme af bakterier eller svampe. En enkelt kultur, bestående af *Pseudomonas chororaphidis* stamme MA 342, havde en meget høj effekt i bekæmpelsen af stinkbrand, men kun i doser, der samtidigt gav signifikant spiringsskade. Denne kultur er senere blevet videreudviklet til et kommercielt middel 'Cedomon' i en helt anden formulering, men også denne formulering giver problemer med spiringsskade i de doser, der er nødvendige for at give tilstrækkelig effekt mod stinkbrand, hvorfor den ikke søges godkendt mod denne sygdom. Andre kulturer af *Trichoderma harzianum* (i midlet Supresivit), *Streptomyces griseoviridis* (i midlet Mycostop) og *Gliocladium roseum* havde ingen eller mere begrænset effekt i de afprøvede doser, men til gengæld uden påviselig spiringsskade. De bør derfor afprøves ved højere doser for at afgøre deres bekæmpelsespotentiale.

I forsøgene med biologiske midler blev lave doser af midlerne også afprøvet sammen med en lav dosis af mælkepulver. Dette viste, at nogle af midlerne gav en betydelig positiv respons på kombinationen uden at påvirke spiringen signifikant. Dette peger i retning af, at mælkepulveret virker som næringssubstrat for det biologiske middel, og at dette kan kompensere for en begrænset dosering. Man kan tilsyneladende opnå en effekt, der svarer til en meget høj dosis af midlet, men uden den spiringsskade, der ofte følger med høj

dosis. For *Pseudomonas chororaphidis* var det på denne måde muligt at opnå en bekæmpelseseffekt på 97,2% uden signifikant spiringsskade.

På baggrund af forsøgene vil jeg vurdere, at der sandsynligvis vil kunne udvikles et middel med god effekt mod stinkbrand uden væsentlig spiringsskade. Mest sandsynligt vil et sådant middel blive udviklet på basis af en enkelt effektiv mikroorganisme, dels fordi denne type middel er nemmere at arbejde med, dels fordi de, der har isoleret en enkelt lovende organisme også vil have en kommerciel interesse i at fremme brugen af netop denne. Spørgsmålet rejser sig følgelig, om økologerne vil være interesseret i et sådant middel?

Holdningen til brugen af mikrobiologiske midler er ikke afklaret i den økologiske bevægelse. Nogle er tilhængere, andre er modstandere, og de forskellige organisationers regler er dels modstridende, dels uafklarede. Mit bidrag til denne teoretiske diskussion er, at jeg mener, at udviklingen af et kommercielt bekæmpelsesmiddel ud fra isoleringen af en enkelt organisme eksempelvis fra en sygdomshæmmende jord, logisk set bør sidestilles med isoleringen af et enkelt kemisk stof eksempelvis fra en plante. Man river organismen eller det kemiske stof ud af den naturlige sammenhæng, hvori den indgår, og fjerner fokus fra systemdesignet ved f.eks. at skabe sygdomshæmmende jorder i dyrkningen. Jeg mener derfor ikke, at anvendelsen af produkter baseret på enkelte udvalgte særligt effektive mikroorganismer er foreneligt med principperne for økologisk plantebeskyttelse, og disse bør derfor kun tillades i tilfælde, hvor der ikke er andre muligheder.

Andre metoder til kornbehandling

Fysisk rensning

Stinkbrandsporer sidder løst uden på hvedekernerne, men kernen er ikke egentligt inficeret før såning. Hvis man derfor kan fjerne sporerne inden såning, er problemet for så vidt løst. Ifølge Woolman og Humphrey (1924a) var Remnant i 1627 den første, der gennemførte egentlige forsøg med bekæmpelse af stinkbrand, og det var netop med dypning i vand. I midten af 1600-tallet sank et skib med korn ud for havnen i Bristol, og korn, der blev bjærget fra dette forlis, fik ikke stinkbrand. Det blev herefter almindeligt at behandle såsæd med saltvand til bekæmpelse af stinkbrand (Henning 1919, Woolman og Humphrey 1924a, Buttress og Dennis 1947). Det følger logisk af proportionaliteten mellem sporeindholdet på kernerne og angrebet i marken, at hvis man kan fjerne nogle sporer fra såsæden, så nedsættes risikoen for angreb eller i hvert fald angrebsgraden. Det er således vist i flere forsøg, at angrebet kan nedsættes ved skyldning i vand, men samtidig at der skal en meget intensiv vandbehandling til for at behandlingen kan stå alene (bl.a. Johnsson 1990c), hvilket også bekræftes af egne forsøg. Når såsæden alligevel bliver våd i en sådan behandling, vil den primære omkostning være nedtørringen af kornet, og man kan derfor ligeså godt foretage en varmtvandsbehandling, der har større effekt.

For at undgå nedtørring af kornet efter behandling er tør fysisk rensning derfor en oplagt mulighed. Bechtel *et al.* (1999) har vist, at i to kornpartier med lav sporekontamination på henholdsvis 6 sporer/g og 0,68 sporer/g, blev henholdsvis 97,3% og 95,6% af sporerne fjernet under den række af forskellige forrensninger, som et industrielt mølteri anvendte før formaling. Forsøgene blev gennemført med dværgbrand (*T. contraversa*), men da sporemorphologien hos *T. contraversa* og *T. tritici* ligner hinanden meget, vil jeg vurdere, at resultaterne kan direkte overføres til stinkbrand (*T. tritici*).

Jeg har i et forsøg med skråtstillede nylonbørster i en laboratoriemodel af en børsterenser nedsat sporeindholdet i en kornprøve fra $1,7 \cdot 10^6$ sporer/g til 1400 sporer/g (>99,9% reduktion) uden påvirkning af spirehastigheden. I storskala, hvor brødkorn er givet en enkelt behandling med børsterenser eller med en Sigma-renser, uden at behandlingen har haft stinkbrand-bekæmpelse som formål, er der i gennemsnit fjernet 80% af de få sporer, der tilfældigvis var i de urensede kornprøver, og forsøgene påvirkede ikke spirehastigheden signifikant (forsøg upubliceret).

En tør fysisk rensning vil være en billig behandling sammenlignet med de andre bekæmpelsemetoder, der er til rådighed, og metoden vil være forholdsvis uproblematisk at kombinere med de andre reguleringsmuligheder. Man skal dog være opmærksom på den risiko der ligger i, at hårdt rensat korn har en øget risiko for at have skader på de ydre skaldele af kernen, og dermed kan visse bejdsemidler eller muligvis varmtvandsbehandling medføre en øget risiko for spiringsskade. Dette var erfaringen ved indførelse af bejdsning med formalin og kobbertvål, hvor håndtærsket korn gav mindre spireskade end maskintærsket (Woolmann og Humphrey 1924b, Stapel *et al.* 1976). Igangværende egne forsøg søger at afklare dette for bejdsemidler, der er relevante for økologisk jordbrug i Danmark.

Små kerner spirer ofte langsommere end større kerner og er derved mere udsatte for infektion af flere frøpatogener (Piorr 1991). I egne forsøg har det vist sig at en størrelsessortering af stinkbrand-kontaminerede kerner resulterer i en højere infektion i planter af små kerner. Imidlertid viste det sig også, at de største af kerner gav højere angreb end mellemstørrelsen. Årsagen til denne effekt kan være, at antallet af sporer pr. kerne er højere i store kerner end i små, hvis antallet af sporer pr. gram er det samme, men der kan også være andre forklaringer, hvilket studeres nærmere i et igangværende projekt (Kristensen, *in prep.*).

Stinkbrand har i de foregående århundreder været en meget hyppigt forekommende sygdom, men har i det 20. århundrede ligget på et langt lavere niveau. Faldet i forekomsten falder sammen med den øgede rensning af kornet, som følger af overgangen til certificering af såsæden hos såsædsfirmaerne. Hvis man regner med, at almindelig rensning af såsæd fjerner 80-99% af de sporer fra såsæden, som var til stede efter mejetærskningen, og at der er proportionalitet mellem sporeindhold i såsæden og angrebsgraden i marken, vil denne rensning have en effektivitet, der er mindre end en korrekt udført bejdsning med de i dag anerkendte bejdsemidler, men som dog må have betydelig effekt på sygdommens forekomst. Egne registreringer har vist, at

stinkbrand hos økologiske avlere forekommer enten i tilfælde, hvor der har været tale om jordsmitte, eller hvor der har været anvendt egen såsæd gennem flere år, hvilket også er vist af Piorr (1991). Den opformering, der finder sted ved brug af egen såsæd, men som ikke ses i det konventionelle fremavlssystem, skal således ikke kun tilskrives, at den hjemmeproducerede økologiske såsæd ikke bliver bejdset, men også, at såsæden ofte ikke bliver fysisk rensat så godt som certificeret såsæd. Der er således ikke i praksis dokumentet nogen opformering af stinkbrand i et system med såsædsrensning svarende til certificeringssystemet, hvilket dog ikke er det samme som at det ikke vil kunne finde sted. Det må dog forventes, at den opformering, der er registreret hos landmænd, der har anvendt egen såsæd ubejdset, ikke direkte kan overføres til et fremavlssystem uden bejdsning.

Bejdsning med plantedele og -ekstrakter

Allerede Caius Plinius Secundus har i 'Historia Naturalis' omkring begyndelsen af vor tidsregning beskrevet, hvordan en plantesygdom, som mest sandsynligt er stinkbrand, kan bekæmpes med neddykning af såsæden i vin eller ved at blande såsæden med cypres blade (citeret i Woolman og Humphrey 1924a, og i Sharvelle 1979). Også i almanakkerne fra 1600-tallet anbefales grankviste i såsæden til begrænsning af angrebet af brand (Olsen 1791). På Plinius' tid var *Cypressus sempervirens* den eneste cypresart, der groede i middelhavsområdet, og det må derfor være denne art Plinius nævner. At det her sandsynligvis er stinkbrand der tænkes på understøttes af, at Singh *et al.* (1979) har vist, at neddykning af såsæden i et vandigt udtræk af kviste af *Thuja occidentalis* giver en fuldstændig bekæmpelse. Da *Thuja occidentalis* og *Cypressus sempervirens* er nært beslægtede træer, og derfor må forventes at have nær samme indhold af de aktive sekundære metabolitter, peger dette på, at det var stinkbrand, som Plinius mente, og at det er sandsynligt, at hans anvisninger kan have haft en effekt.

Singh *et al.* (1979) lavede ud over thuja også forsøg med andre planter, og viste tilsvarende effekt med pigæble (*Datura stramonium*), eucalyptus (*Eucalyptus globulus*) og hamp (*Canabis sativum*). Jeg har gentaget forsøget med dansk avlede planter af samme art, men hvor jeg ikke neddyppede såsæden i væsken, men kun påførte 3 ml/100g, hvilket ikke medfører nogen afskylning af sporer. Med dette design opnåede jeg ingen signifikant effekt af behandlingerne. I egne forsøg med påføring af knuste tørre nåle af alm. bjergfyr (*Pinus mungo*), hvidgran (*Picea glauca*) og alm. thuja (*Thuja occidentalis*) reduceredes angrebet med 50% uafhængigt af om dextrin eller vand blev anvendt som bindemiddel. Der var ikke signifikant forskel på nåletræsarterne. Da man i 1700-tallet gik væk fra Almanakkens anvisninger om behandling med gran til fordel for kalk skyldes det ikke blot, at kalken var mere effektiv, men også det forhold, at gran var en sjælden træart i Danmark på daværende tidspunkt, og derfor var næsten umulig for bønderne at opdrive (Olsen 1791).

Spieß og Dutschke (1991) har vist, at bejdsning med sennepsmel opløst i vand kan give en bekæmpelse på over 95%. Nielsen (1999) opnåede en effekt

på 85-87% ved bejdsning med sennepsmel (15g/kg) i et forsøg, hvor jordsmitte dog kan have haft indflydelse på resultatet. I artiklen om bekæmpelse med mælkepulver (Appendiks 5) indgår også et forsøg med sennepsmel, omend doseringen i dette forsøg har været så høj, at det også medførte spiringsskade. Egne endnu upublicerede forsøg har dog vist, at det ved lavere doser på omkring 10 g/kg korn er muligt at bekæmpe stinkbrand fuldstændigt uden signifikant spiringsskade.

Spieß og Dutschke (1991) har vist, at bejdsning med peberrodssaft havde en effektivitet på 95%. Enhver, der kan lide kogt oksebryst med revet peberrod kender lugten og den svien i øjnene, som det kan medføre. Spieß (pers. medd.) er på denne baggrund i dag skeptisk over for brugen af peberrod ved kommerciel anvendelse på grund af de arbejdsmiljøgener, det kan medføre. Egne forsøg med vandigt udtræk af peberrod havde en effekt på kun 20% (Borgen *et al.* 1995), og egne senere forsøg med bejdsning med 30 ml saft pr. kg af presset peberrod var helt uden virkning. Ved Johanna und Carl Graf Keyserlingk Institut i Tyskland er der opnået gode erfaringer med peberrodspulver opløst i vand (1:5, 60 ml/kg) med en virkningsgrad på over 99%. En blanding af peberrodspulver (85%) og klintemel (15%) i samme dosis kaldes 'Keyserbeize' og giver ligeledes en effekt på over 99%. Effekten på spiringshastigheden er ikke undersøgt, hvorfor effekten ikke kan sammenlignes med egne forsøg. Midlerne anvendes af mange biodynamiske avlere i det sydlige Tyskland (B. Heyden pers. medd.).

Bejdsning med midler med pH-virkning

Med bejdsning med træaske, algekalk og en kombination af disse har Spieß og Dutschke (1991) opnået bekæmpelseseffekter på henholdsvis 97,6%, 91,3% og 97,3%. Også denne metode har tidligere været anvendt.

Allerede Francis Bacon (1628, citeret i Buttress og Dennis 1947) lavede forsøg med forskellige bejdsemidler. Han lod kornet udbløde i vand tilsat forskellige ingredienser og vurderede spiring og vækst. Tilsætning af kalk og aske var blandt de midler, der sammen med gødningsmidlerne havde den bedste effekt. Bacon havde tilsyneladende ikke øje for stinkbrandens betydning, men fokuserede på kornets vitalitet målt ved fremspiringshastighed og afgrødens højde og tæthed. Med den udbredelse, som stinkbranden havde på denne tid, er det dog sandsynligt, at en væsentlig del af resultatet kan tilskrives angrebsgraden af stinkbrand.

For Worlidge (1669, citeret i Buttress og Dennis 1947), var aske at betragte som et "plantekoncentrat", og havde derfor ud fra en animalistisk betragtning en positiv virkning for planten. Samme år nævner Speed, at kalk kan forebygge brand (refereret af Buttress og Dennis 1947). I de følgende år nævnes en række alkaliske midler såsom lud, læsket kalk, aske og sod som gode bejdsemidler mod stinkbrand (Woolman og Humprey 1924a, Buttress og Dennis 1947, Johnsson 1990a).

De ganske betydelige reduktioner i angrebsgraden, som er vist af Spieß og Dutschke (1991), opnås antagelig ved en ændring af pH-værdien på

kerneoverfladen på spiringstidspunktet. Som omtalt i kapitlet om infektionsbiologi er sporer af *T. tritici* følsomme over for pH-værdien omkring spiring. Calciumcarbonat (CaCO_3) har en pKa-værdi på 8,3, og dette kan således være en sandsynlig forklaring på virkningsmekanismen.

I egne forsøg med bejdsning med brændt kalk (CaO som i forbindelse med vand hydrolyserer til Ca(OH)_2) blev angrebet reduceret med henholdsvis 86% og 89% i to års markforsøg.

Bejdsning med 7% eddikesyre i en dosis på 20 ml/kg kan bekæmpe stinkbrand næsten fuldstændigt uden signifikant spiringsskade (Borgen, in press (b)). Der er dog med dette bekæmpelsesmiddel stadig et uafklaret problem med doseringen, idet det er uvist om det er mængden af vand eller eddikesyre, der er bestemmende for effekten af dosis. Disse forhold søges afklaret i igangværende forsøg, hvor også citronsyre afprøves. Der er behov for yderligere forsøg med denne type bekæmpelsesmiddel, men min foreløbige vurdering er, at man med midler med sur virkning som f.eks. eddike opnår en bedre virkning med mindre skade på spiringen end ved basiske midler og en selektivitet, der også er bedre end mælkepulver.

Kommercielle midler

I Tyskland markedsfører 'Gebrüder Schaeffe kg' et produkt Tille-kur (eller SBM-neu) som erstatning for et tidligere middel med navnet SBM (Saatgutbehandlungsmittel). Midlets sammensætning er ikke oplyst i detaljer, men produktet består for størstedelen af planteprodukter af korsblomstfamilien. Midlerne er godkendt til brug af flere tyske økologiske certificeringsorganer, selv om det ikke er opført på bilag 2 i EUs forordning om økologisk produktion (EØF 1991), og således ikke juridisk kan godkendes i et EU-land. Det gamle SMB har i egne forsøg været væsentligt mindre effektivt end sennep og mælkepulver, og med større spireskadende effekt. SBM-neu kunne reducere angrebet med 83-96% afhængig af doseringen. Alle de afprøvede doser reducerede spirehastigheden signifikant, og indikerer efter min vurdering, at de ikke byder på positive forbedringer i forhold til andre afprøvede midler.

Syntese

Det eksperimentelle arbejde

Det eksperimentelle arbejde har vist, at stinkbrand ikke blot er en frøbåren sygdom, hvor planter undtagelsesvis kan inficeres fra jorden under særligt tørre eller andre specielle klimatiske situationer. Jordsmitte forekommer også i sædskifter med flere års hvedefri dyrkning, hvilket er afgørende viden for udarbejdelse af en dyrkningsstrategi, der sigter mod at minimere smitten i fremavlen af økologisk såsæd.

Når en angreben hvedemark høstes med mejetærsker, efterlades sporer i mejetærskeren efter tømning, og kan dermed overføres til den næste mark, der høstes med samme maskine. Forsøgene med kvantificering af denne overførsel viser, at der i de første 4 tømninger af korntanken er stor risiko, men at sporeniveauet herefter ikke kunne måles.

Er såsæden af en modtagelig sort kontamineret med stinkbrandsporer er der en betydelig risiko for angreb ved normal såning. Der er bekæmpelsesmuligheder til stede, som med en overskuelig fortsat udviklingsindsats sandsynligvis ville kunne implementeres i stor skala, og som vil kunne forhindre alvorlige angreb uden eller med meget begrænset skade på spiringen.

Behandling af såsæden i varmt vand i 1-5 minutter ved 55-60 °C har en effekt, der ikke er signifikant forskellig fra 100% og en reduktion i spirehastigheden, der ikke er signifikant forskellig fra 0%. Effekten af varmtvandsbehandlingen kan opnås uden forudgående udblødning af såsæden i vand, hvilket er afgørende for økonomien i behandlingen ved implementering i kommerciel skala.

Pillering af såsæden med mælkepulver med 70-100 g/kg har i de fleste forsøg kunnet bekæmpe stinkbrand tilfredsstillende, men effekten har i et enkelt forsøg været utilstrækkelig. Man må regne med en negativ effekt på såsædens spiringshastighed ved behandling med mælkepulver, og doseringen bør derfor være så lav som muligt. Mælkepulver er med de aktuelle regler ikke tilladt til bekæmpelse af plantesygdomme i økologisk jordbrug i EU, men det vurderes at kunne blive det efter en konkret ansøgning.

Forsøg med biologisk bekæmpelse af stinkbrand har peget på nogle muligheder for udvikling af effektive midler, men ingen metoder, der aktuelt kunne finde anvendelse alene. Bejdsning med kompostekstrakt eller lignende vurderes ikke at have væsentligt bekæmpelsespotentiale, og forbedring af jorden med kompost kan direkte føre til forøget angreb af stinkbrand. Kombinationen af biologiske midler og lave doser af mælkepulver viser en betydelig forbedring af effekten i forhold til at anvende produkterne hver for sig, hvilket vil kunne udnyttes ved udvikling af metoderne. Også andre metoder, især eddike og sennepsmel vurderes at kunne indgå som bekæmpelsesmidler i økologisk jordbrug, og vurderes at være bedre midler end mælkepulver på grund af en højere selektivitet.

Mulighederne for udvikling af nye former for bekæmpelse af stinkbrand er blevet forbedret ved studiet af bladsymptomer, der viser, at det er muligt at anvende disse i stedet for symptomer i akset i det eksperimentelle arbejde. Dette

kan forkorte et dyrkningsforsøg med flere måneder, hvilket kan formindske tiden fra hypotese til konklusion.

Konsekvenser for forståelsen af stinkbrandens forekomst

Stinkbrand er sandsynligvis fra naturens hånd en jordbåren sygdom, med vind og dyrespredning som langdistancevektorer, men er som kulturafrøde blevet gjort til en udpræget antropogen pseudo-frøbåren sygdom. Lige siden menneskene begyndte at indsamle og tærsk hvede, har sygdommen voldt problemer, fordi netop denne effektive måde at sprede sporerne direkte på de spiredygtige kerner er ideel for sygdommens opformering.

Frekvensen af konstaterede stinkbrandangreb i Danmark har ligget på et forholdsvis lavt niveau hele vejen op gennem dette århundrede, men i slutningen af 1980'erne blev der konstateret en stigning. For økologisk jordbrug betød den generelt øgede forekomst af stinkbrand i landbruget, at de økologiske landbrug, der anvendte egen såsæd gennem flere år fik konstateret stinkbrand i 1990, og der konstateres stadig angreb lejlighedsvis.

Mange årsager har medvirket til den øgede forekomst i det sidste halvandet årti. I løbet af 1980'erne gik landbruget over til brug af stråforkortningsmidler og kortstråede vinterhvedesorter, hvilket sandsynligvis har ført til en generelt større modtagelighed for sygdommen. Samtidigt steg vintersædsarealet, hvilket bevirkede, at tiden fra høst til pløjning blev kortere, og dermed risikoen for, at sporer kunne overleve som jordbåren smitte. I 1980'erne gik man bort fra afbrænding af hvedehalmen, som tidligere var almindeligt, og dermed øgedes den overlevende sporemængde, som var til rådighed for jordsmitte, og en øget pløjedybde har øget sporerens overlevelseshance i jorden. Øget anvendelse af Glyphosat-holdige midler til bekæmpelse af kvik i stedet for stubharvning har også øget sporerens overlevelseshance fra høst til pløjning. Hvedearealet blev 5-doblet i 1980'erne, hvilket har betydet, at antallet af år mellem hvede på samme areal blev indskrænket og muligheden for vindspredning fra mark til mark blev øget. Øget brug af maskinstationer og øget hvedeareal har øget spredningen af sporer via mejetærskere.

Det er tidligere blevet fremført, at årsagen til stigningen i frekvensen i forekomsten af stinkbrand skyldes udfasningen af kviksølvbejdsningen, som betød, at man i en overgang gik over til mindre effektive midler, bl.a. Neo-Voronit, Granosan og senere Panocrine. Disse midler har mindre effekt mod frøbåren smitte end kviksølvmidlerne, især i de bejdsemaskiner, der blev anvendt i denne periode, og har ligesom kviksølvmidler ringe effekt mod jordsmitte.

Kviksølvmidlerne blev gradvist udfaset i slutningen af 1970'erne frem til det endelige forbud i 1982. Den øgede forekomst af stinkbrand fra 1988 hænger således tidsmæssigt bedre sammen med den øgede vintersæddyrkning og de andre forhold, der påvirker spredningen end med udfasningen af kviksølvbejdsningen. Med den her dokumenterede mulighed for jordsmitte, og muligheden for at mejetærskeren fungerer som spredningsvektor for

sygdommen, peger den biologiske forklaring på, at det primært er andre dyrkningsforhold end udfasningen af kviksvolvebejdsningerne, der er årsagen til den øgede frekvens af stinkbrand. I de sidste år er anvendelsen af bejdsmidler uden effekt over for jordsmitte blevet erstattet af midler med bedre effekt. Dette kan være en årsag til, at der samtidig er en tendens til formindsket forekomst af stinkbrand (Figur 5), hvilket dog skal tages med det forbehold, at der er tale om en skønsmæssig vurdering over kun 2 år.

Og hvad kan vi så bruge det til?

En målsætning for regulering af sygdommen i økologisk produktion må være dels at undgå udbyttetab af økonomisk betydning, dels at der ud fra et forsigtighedshensyn bør tilstræbes at være så få sporer i konsumkorn som muligt. Herudover bør sporeindholdet i korn til foder være begrænset, fordi sporerne lugter grimt og der har vist sig at være en risiko for sundhedsskader ved dyreforsøg med indtagelse af store mængder sporer.

Regulering af stinkbrand kan følge tre forskellige strategier: 1) Isolering fra smitekilder, 2) Begrænsning af muligheden for opformering og 3) Direkte bekæmpelse.

1. Isolering fra smitekilder

Isoleringsstrategien sigter på at forhindre, at sporer kommer ind i dyrkningssystemet. Med den nye viden om betydningen af jordsmitte, som nærværende projekt har vist, kan dette gøres ved at inddrage forhold omkring sædskiftet, således at der ikke etableres fremavlsmarker på arealer, hvor der tidligere er konstateret stinkbrand på selve arealet eller på naboarealerne, og at der er gennemført flere pløjninger siden sidste dyrkning af hvede på arealet. Antallet af pløjninger vil jeg vurdere som vigtigere end antallet af år siden sidste dyrkning af hvede, hvis der pløjes i forbindelse med etablering af hveden.

Man må sikre sig, at der ikke med husdyrgødning og halm er risiko for spredning af sporer. Det gælder især, hvis der udbringes husdyrgødning fra dyr, der er blevet fodret med hvede eller andet foder med risiko for indhold af sporer, eller der er anvendt hvedehalm som strøelse. Man må sikre sig, at al maskineri, der anvendes i forbindelse med kornet, er grundigt rengjort. Undersøgelserne af mejetærskeren som spredningsvektor dokumenterer og kvantificerer dette, men også siloanlæg, kornvogne, såmaskine m.v. må forventes at have betydning.

Alle fremavlsmarker bør kontrolleres for stinkbrandangrebne planter, og kun høstes til fremavl, hvis der ikke konstateres angreb. Efter høst bør al fremavlskorn analyseres for sporeindhold, og hvis dette konstateres, bør avlen kasseres, såfremt der kan skaffes andre såsædspartier, som er fri for sporer.

Isoleringsstrategien er i dag den eneste strategi, der anvendes i økologisk fremavl. Den sigter mod at sikre sig et godt udgangspunkt for fremavlen, hvilket vil sige så tidligt som muligt i fremavlen at starte med såsæd med så få sporer som muligt. Det er muligt, at detektionsgrænsen med de aktuelt anvendte

metoder er for høj ved de tidligste generationer i fremavlen, når isoleringsstrategien anvendes alene. Det skyldes, at analysen ikke sikrer, at kornet er sporefrit, men blot at antallet af sporer er under et vist niveau, som er stort set sammenfaldende med kassationsgrænsen. Hvis sporeindholdet således ligger lige under detektionsgrænsen, så vil enhver opformering føre til kassation. For en sygdom som stinkbrand, hvor der er risiko for opformering fra år til år op gennem fremavlen, bør detektionsgrænsen ideelt set være lavere jo længere man går tilbage. Hvert år tilbage i fremavlen burde detektionsgrænsen principielt sænkes svarende til den forventede opformering. Sænkning af detektionsgrænsen kan gøres ved at gennemføre flere analyser/gentagelser.

2. Begrænsning af mulighederne for opformering

Denne strategi sigter på at begrænse den opformering, der under visse omstændigheder sker fra år til år op gennem fremavlen. I den udstrækning det er muligt, bør der anvendes en kombination af sorter med lav modtagelighed. Såsæden bør renses grundigt med rigelig luft og såningen kan, hvor det i praksis kan lade sig gøre, foretages på tidspunkter, hvor jordtemperaturen ikke ligger på de optimale 10 °C, men optimalt enten sent om efteråret ved temperaturer under 5 °C, eller tidligt ved temperaturer over 15 °C.

Hvis det antages, at opformeringen fra år til år kan ligge på en faktor 100 i modtagelige sorter uden rensning, så betyder det, at summen af indsatser skal virke med 99% for at undgå opformering fra år til år. Dette kunne eksempelvis opnås med en fysisk rensning, der fjerner 90% af sporerne fra såsæden i en sort, hvor angrebet er 10% af en fuldt modtagelig sort. Eksempelvis har sorterne 'Trintella' og 'Aspekt' vist moderat modtagelighed, og det er ikke sikkert, at der i sådanne sorter vil ske nogen generel opformering med den såsædsrensning, der praktiseres hos almindelige såsædsfirmaer i dag. Hvis der sker en opformering i sådanne sorter, eller der anvendes mere modtagelige sorter, kunne resistensen suppleres med en intensiveret kornrensning med 99% effektivitet, f.eks. ved at supplere den almindelige rensning med en børsterenser eller ved såning på tidspunkter, hvor jordtemperaturen er tættere på 15 °C f.eks. i august, eller under 5 °C ved sen såning. Arbejder man i et system, hvor kornet dyrkes økologisk gennem mange generationer, enten ved brug af egen såsæd eller ved ikke at udnytte dispensationsmuligheden i økologireglerne til at anvende konventionel såsæd i fremavlsmarker, kan man for en sikkerheds skyld sammensætte en strategi, der sigter mod en højere effektivitet.

3. Direkte bekæmpelse

Bekæmpelsesstrategien sigter med at dræbe patogenet, eller forhindre dets vækst eller spiring. Bekæmpelse af stinkbrand med bejdsemidler er i dag den eneste strategi, der anvendes i konventionelt jordbrug, og strategien har ud fra et plantepatologisk synspunkt været meget succesfuld.

I økologisk jordbrug har strategien ikke været anvendt i Danmark, men kan komme på tale, hvis såsæden i fremavlen bliver kontamineret med sporer, og det viser sig, at en strategi til begrænsning af opformeringen ikke er

tilstrækkelig til at undgå en opformering fra år til år. Vi står dog i dag med et problem. Der er ikke nogen metoder, der er afprøvet i stor skala og som er tilladte efter de gældende regler.

I undersøgelserne omkring direkte bekæmpelse, som er gennemført i nærværende projekt, er det dog dokumenteret, at der findes potentielle bekæmpelsesmetoder, og det er sandsynligt, at disse vil kunne implementeres i stor skala med en effektivitet på nær 100%, og i hvert fald termisk behandling er tilladt efter de gældende regler. Kombineret med systematisk anvendelse af de forebyggende metoder, der sikrer, at sporeindholdet i såsæden ligger lavt i forhold til det niveau, der er undersøgt i bekæmpelsesforsøgene, vil jeg vurdere, at bekæmpelse kan indtage en plads som et supplement til eller sikkerhedsnet under de forebyggede foranstaltninger, og at effektiviteten derfor ikke behøver at være fuldstændig for at sygdommen kan holdes under tilfredsstillende kontrol. Dermed kan der arbejdes med begrænsede doseringer/behandlingsintensiteter og nøjes med en effektivitet på f.eks. 90%, eksempelvis med 10 ml husholdningseddike, 7 g sennepsmel, 70 g mælkepulver per kg, eller en varmtvandsbehandling i 1 minut ved 50 °C, der sikrer mod risikoen for de spiringsskader, som der har vist sig at være i bekæmpelsesforsøgene.

Valget af direkte bekæmpelsesmetoder må i høj grad være en økonomisk vurdering, der inddrager de til rådighed værende kapacitets- og materialforhold i det enkelte tilfælde. Dog vil jeg generelt mene, at af de metoder, der er gennemgået i nærværende afhandling, udgør biologisk bekæmpelse baseret på enkeltisolater en gruppe for sig, der ud fra en helhedsvurdering ligger på grænsen af principperne for økologisk plantebeskyttelse.

En samlet strategi for regulering af hvedens stinkbrand

En strategi for regulering af stinkbrand i økologisk produktion bør efter min vurdering bygge på at forebygge angreb i alle led af de kæder, der fører frem til konsumenten, og bør primært følge en tostrengt strategi, der på én gang forsøger at isolere fremavlen fra smitekilder, og samtidigt begrænser opformeringen af sygdommen mest muligt. Kun som et sikkerhedsnet under denne strategi bør den tredje mulighed i form af direkte bekæmpelse finde anvendelse, hvis det viser sig nødvendigt.

En strategi, der stykkes sammen af en række tiltag, der hver især kun har begrænset effekt, kan være vanskelig at forudsige effekten af.

I dagens praksis har op imod halvdelen af al økologisk hvede til fremavl et målbart sporeindhold, hvorfor det er blevet kasseret. Efter nye indgåede aftaler er dette nu blevet ændret til en tilladelig grænse på 10 sporer/g. Det vides ikke, hvor stor en andel af såsæden der kan forventes kasseret med denne grænse.

Kassation af såsæd som følge af frøbårne sygdomme gøres på baggrund af kornprøver, der som hovedregel udtages før rensning af såsæden, og som indeholder 0-200 sporer/g korn. Det er sandsynligt, at sporeindholdet efter

rensning vil være så lavt, at det i mange sorter vil være uden praktisk betydning og i de fleste tilfælde vil ligge under den aktuelle skadetærskel. Hvor stort behovet for direkte bekæmpelse således ville være, hvis mulighederne for forebyggelse blev udnyttet og kendskabet til modtagelighedsafhængige skadetærskler var bedre kendt, er usikkert. Det er muligt, at bekæmpelsesbehov inden for certificeringssystemet kun vil være til stede som en undtagelse f.eks. i tilfælde af jordsmitte.

Det anbefales generelt at gennemføre bekæmpelsesforsøg på korn med et sporeindhold på 2 g/kg, hvilket svarer til omkring $2 \cdot 10^6$ sporer/g, altså mindst 10.000 gange højere end der normalt kan findes i certificeret såsæd. På baggrund af bekæmpelsesforsøg efter disse retningslinier konkluderes det, at bejdsemidler bør have en effektivitet på min. 99% for at kunne forhindre uacceptable angreb, og dermed at opnå anerkendelse. Da man kan regne med proportionalitet mellem sporeindhold og angreb kunne midler med mindre effektivitet således yde en tilfredsstillende beskyttelse i såsæd med det sporeindhold, der normalt forekommer i praksis. Såsæd inden for certificeringssystemet indeholder normalt ingen eller meget få sporer, og set i dette perspektiv kan det være vanskeligt at finde faglige argumenter for nødvendigheden af den aktuelle praksis i dansk landbrug med at bejdse 90% af såsæden med midler med 99,9-100% effekt, og praksis må således snarere henføres til kategorien "tæppebombning af gråspurve".

Der forestår fortsat et arbejde med sikring af den økologiske hvedeavl mod stinkbrand. I første omgang må de påpegede muligheder implementeres. Sortsvalget bør forrykkes til fordel for mindre modtagelige sorter, mulighederne for forebyggelse af sporespredning til fremavlen skal implementeres i såsædsfirmaernes fremavls- og kontrolprocedurer, og potentialet for rensning af såsæden med henblik på minimering af sporeindholdet skal udnyttes, kvantificeres og muligvis teknologisk optimeres. Skadetærsklerne for stinkbrand under forskellige betingelser og i forskellige sorter skal evalueres, og lægges til grund for vurdering af bekæmpelsesbehov, og hvis det viser sig relevant og rentabelt, må der udvikles storskalasystemer til bekæmpelse i tilfælde af overskridelse af skadetærsklerne.

Selv med nærværende bidrag til forskningen er det usikkert om stinkbrand er under tilfredsstillende kontrol i den økologiske dyrkning, men det er mit håb, at arbejdet vil bidrage til en udvikling af et mere stabilt og robust dyrkningssystem efter de økologiske principper.

Litteraturliste

- Appel, O. og Riehm 1914:** Zur Frage der Überwinterung des Steinbrandes im Boden. Bericht über die Tätigkeit der Kaiserlichen Biologischen Anstalt für Land- und Forstwirtschaft. **15**:6.
- Arafa, M.A. 1981:** Studies on factors affecting infection with bunt diseases, grain yield and some agronomic characters of wheat. Agricultural research review **59**:97-111.
- Astrup, Sten, personlig meddelse:** Senior konsulent, Alfred Jørgensen Laboratorium.
- Banada, J., J. Milotov, og A. Pospíšil 1995:** Odrůdová citlivost pšenice vůči sněti mazlavé a ječmene vůči pruhovitosti a prašné sněti. (*Varietal sensitivity to common bunt in wheat and to stripe disease and loose smut in barley*). Rostinná Výroba (*Plant production*). **41**(4):185-188.
- Bechtel, D.B., J.D. Wilson, W.D. Eustace, K.C. Behnke, T. Wtaker, G.L. Peterson, og D.B. Sauer 1999:** Fate of dwarf bunt tungus teliospores during milling of wheat into flour. Cereal Chemistry **76**(2):270-275.
- Becker, J. 1992:** Untersuchungen zur Bekämpfung des Weizensteinbrandes (*Tilletia tritici* (Bjerk.) Wint.) mit nährstoffreichen organischen Substanzen und Mikroorganismen. Dissertation. Institut für Pflanzenkrankheiten der Rheinischen-Friedrich-Wilhelms-Universität, Bonn. 132 pp.
- Berend, I. 1973:** The Occurrence of Bunt Fungi in Wheat Inoculated by *Tilletia caries* and *T.foetida*. Acta Phytopathologica Academiae Hungaricae **8**:365-373.
- Bevan, J.R., I.R. Crute og D.D. Clarke 1993:** Variation for virulence in *Erysiphe fischeri* from *Senecio vulgaris*. Plant Pathology **42**:622-635.
- Bever, W.M. 1939:** Reinoculation of resistant varieties of wheat with purified physiologic races of *Tilletia tritici* and *T.levis*. Phytopathology **29**:863-871.
- Blažkova, V og P. Bartoš 1997:** Reaction of winter wheat cultivars registered in the Czech Republic to common bunt (*Tilletia tritici* (Bjerk.) Wint. and *T.laevis* Kühn) and sources of resistance. Cereal Research Communications **25**(4):985-993.
- Bonne, C. 1931:** Untersuchungen über den Steinbrand des Weizens. Angew.Bot. **13**:169-209.
- Borgen, A., C. Markussen og L. Kristensen 1992:** Frøbårne svampesygdomme på byg og hvede i økologisk landbrug - udbredelse og betydning i 1990. Hovedopgave Inst. for Plantebiologi/Jordbrugsvidenskab. 137 sider.
- Borgen, A. in press (a):** Winter cereals under-sown in spring crops - an ecological way to reduce soil tillage. Proceedings from IFOAMs 13th International Scientific Conference, Basel 2000.
- Borgen, A. in press (b):** Effects of seed treatments with EM in control of common bunt (*Tilletia tritici*). Proceedings of The 5th International

- Conference on Kyusei Nature Farming and EM technology. Bangkok 23-25/October 1997.
- Borgen, A. 1999a:** Husdyrenes rolle på øko-bedriften. Økologisk Jordbrug. **186**:15.
- Borgen, A. 1999b:** Vintersæd etableret som udlæg i dæksæd. Forskningsnyt om Økologisk Landbrug i Norden. **6**:6-8.
- Borgen, A. 1998:** Tidsler - en gave fra himlen. Økologisk Jordbrug **180**:12.
- Borgen, A., L. Kristensen & P. Kølster (1995):** Bekæmpelse af hvedens stinkbrand uden brug af pesticider. 12. Danske Planteværnskonference, Sygdomme og skadedyr. SP Rapport. **4**:149-158.
- Buttress, F.A. og R.W. Dennis 1947:** The early history of cereal seed treatment in England. Agricultural History **21**:93-103.
- Börjesson, T. og L. Johnsson 1998:** Detection of common bunt (*Tilletia caries*) infestation in wheat with an electronic nose and a human panel. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz. **105**:306-313.
- Churchward, J.G. 1934:** A note on the occurrence of seedling lesions caused by cereal smuts. Proc.Linn.Soc. New S.Wales **59**:197-199.
- Crute, I.R. 1990:** Resistance to *Bremia lactucae* (downy mildew) in British populations of *Lactuca serriola* (picky lettuce). I: Burdon, J.J., Leather S.R. (Ed): Pests Pathogens and Plant Communities. Oxford: Blackwell Scientific Publications. p. 203-217.
- Darelli 1805:** Om Brand-ax eller Sot i Hvetet. Kungl. Vetenskabsakademiens nya handlinger **26**:66-73.
- Demeterforbundet 1993:** Danske Demeter regler. Demeterforbundet, Odense. 12 sider.
- Dreier, M. og E. Schlösser 1990:** Wirkung verschiedener Stoffe auf die Entwicklung von *Tilletia caries*(DC) TUL. in vitro. Med. Fac. Landbouww. Rijksuniv. Gent, **55**(3a):869-875.
- Dromph, K. og A. Borgen (in press):** Reduction of viability of soil borne inoculum of common bunt (*Tilletia tritici*) by collembolans. Indsendt til Journal of Applied Soil Biology, juni 2000.
- Du Pont de Nemours (agro) a/s 1991:** Fakta om Ally og Glean. Internt materiale. 12 sider.
- Dumitraş, L. 1965:** Comparative morphological investigations on wheat plants attacked by different species of *Tilletia*. Revue Roumaine de Biologie. Série de Botanique. **10**:429-440.
- Emmeluth, K. 1991:** Vitalitet og såsædskvalitet i vårbyg. Ugeskrift for Jordbrug **33/34**:515-517.
- EPPO 1997:** Guidelines for the efficacy evaluation of plant protection products. Vol 2, Fungicides & Bactericides. European and Mediterranean Plant Protection Organization.
- Ettel, G.E. og W. Halbsguth 1963:** Über die Wirkung von Trimethylamin, Calciumnitrat und Licht bei der Keimung der Brandsporen von *Tilletia tritici* (Bjerk.) Winter. Beiträge zur Biologie der Pflanzen. **39**:451-488.
- EØF 1991:** Regulation no. 2092/91 on organic agricultural methods and reference hereto on agricultural products and foodstuff.

- Fernandez, J.A., R. Duran og J.F. Schafer 1978:** Histological aspects of dwarf bunt resistance in wheat. *Phytopathology* **68**:1417-1421.
- Fischer, G.W., og C.S. Holton 1957:** Biology and control of the smut fungi. The Ronald Press Company, New York. 622 sider.
- Fittschen, H.H. 1940:** Weitere Beiträge zur Züchtung steinbrandresistenter Weizensorten. *Phytopathologische Zeitschrift* **12**:169-218.
- Foster, W.R. and A.W. Henry 1937:** Overwintering of certain pathogens in Alberta. *Can.J.Res., Sect.C XV* **12**:547-559.
- Gassner, G. 1925:** Über die Abhängigkeit des Steinbrandauftretens von der Bodenbeschaffenheit. *Angewandte Botanik*. **7**:80-87.
- Gassner, G. og E. Niemann 1954 :** Untersuchungen über die Temperatur- und Lichtabhängigkeit der Sporenkeimung verschiedener *Tilletia*-Arten. *Phytopathologische Zeitschrift* **21**:367-394.
- Gaudet, D.A., B.J. Puchalski og T. Entz 1991:** Culm height and susceptibility of Canadian winter and spring wheat cultivars to common bunt (*Tilletia tritici* and *T.laevis*). *Canadian Journal of Plant Science* **71**:677-687.
- Gaudet, D.A., og B.J. Puchalski 1995:** Influence of temperature on interaction of resistance genes in spring wheat differentials with races of common bunt (*Tilletia tritici* and *T.laevis*). *Canadian Journal of Plant Science* **75**:745-749.
- Goldsmith, E. 1992:** The Way - an ecological world view. Rider, 442 p.
- Griffith, R.B., F.P. Zscheile og J.W. Oswald 1995:** The influence of certain environmental factors on the expression of resistance to bunt in wheat. *Phytopathology* **45**:428-324.
- Groth, E. personlig meddelelse:** Chefkonsulent, Landsforeningen af Danske Maskinstationer.
- Hahne, J. 1925:** Untersuchungen über die Keimungsbedingungen von *Tilletia*-sporen. *Kühn.Archiv* **9**:157-263.
- Hansen, F. 1959:** Anatomische Untersuchungen über Eindringen und Ausbreitung von *Tilletia*-Arten in Getreidepflanzen in Abhängigkeit vom Entwicklungszustand der Wirtspflanze. *Phytopatol.Z.* **34**:169-208.
- Heald, F.D. (1921):** The relation of spore load to the per cent of stinking smut appearing in the crop. *Phytopathology* **11**:269-278.
- Hennekens, C.H. og J.E. Buring 1987:** Epidemiology in medicine. Ed: S.L.Mayrent. Boston, Mass. Little, Brown and Company corp.
- Henning, E. 1919:** Om betning mot stinkbrand (*Tilletia tritici*), Stråbrand (*Urocystis occulta*) och Hårdbrand (*Ustilago hordei*). I. Kort historisk och orienterende försök. Meddelande N:o 195 från Centralanstalten för försöksväsendet på jordbruksområdet. Avdelingen för landtbruksbotanik N:o 18.
- Heyden, Bertold, personlig meddelelse:** Johanna und Carl Graf Keyserlink-Institutes, Tyskland.
- Heyden, B. 1999:** Laufende Versuche und Ergebnisse der Vegetationsperiode 97/98. Saatgut. Mitteilungen aus der Arbeit des Johanna und Carl Graf Keyserlink-Institutes **14**:15-21.

- Higa, T. 1996:** Effective Micro-organisms. Their role in Kyusei Nature Farming and sustainable agriculture. I: Parr *et al.* (ed.): Proceedings of the Third International Conference on Kyusei Nature Farming. USDA. Side 20-23.
- Hoffmann, J.A. 1982:** Bunt of Wheat. Plant Disease **66**:979-986.
- Hoffmann, J.A. og L.H. Purdy 1964:** Germination of dwarf bunt teliospores after ingestion by earthworms. Phytopathology **54**:878-879.
- Hungerford, C.W. 1922:** The relation of soil moisture and soil temperature to bunt infection in wheat. Phytopathology **12**:337-352.
- Häggbloom, P., E. Jönsson, R. Sigvald og A. Simonsson 1994:** Stinksotangripet vete som djurfoder. Fakta - Husdjur/svin nr 18. 2 sider.
- IFOAM. (1998).** Basic standards for Organic Production and Processing. International Federation for Organic Agricultural Movements. 62 sider.
- Jensen, J.L. 1888a:** Nye Undersøgelser og Forsøg over Kornsorternes Brand (Første Meddelelse). Wilhelm Priors Boghandel, København. 18 sider
- Jensen, J.L. 1888b:** Om Kornsorternes Brand (Anden Meddelelse). Triers Bogtrykkeri, København. 72 sider
- Johnsson, L. 1979:** Dvärgstinksot (*Tilletia contraversa*) och vanligt stinksot (*Tilletia caries*) i svenskt vete. Växtskyddsrapporter. **6**:1-19
- Johnsson, L. 1990a:** Brandkorn i Bibeln, stinksot i vetet och *Tilletia* i litteraturen - en kortfattad historik från svensk horisont. Växtskyddsnotiser **54**:76-80.
- Johnsson, L. 1990b:** Survival of common bunt (*Tilletia caries*(DC)Tul.) in soil and manure. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz. **97**:502-507.
- Johnsson, L. 1990c:** Tvättning og varmtvattenbehandling för sanering av veteutsäde smittat av vanligt stinksot (*Tilletia caries* (DC) Tul.). Växtskyddsnotiser **54**:26-28.
- Johnsson, L. 1991:** Vanligt stinksot i vete - sjukdomspåverkande faktorer. Växtskyddsrapporter. Avhandlingar 21. Uppsala. 37 sider plus bilag.
- Johnsson, L. 1992:** Climate factors influencing attack of common bunt (*Tilletia caries* (DC)Tul.) in winter wheat in 1940-1988 in Sweden. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz **99**:21-28.
- Johnsson, L., K.A. Hedene, G. Gustafsson 1994:** Stinksot. En tillfällighet 1994 eller ett kvarstående problem. Sammanställning. Bilag fra: Jordbryksförsöksdistriktet: Regional växtodlingskonferens i Flen, 15. dec. 1994. 3 sider.
- Johnsson, L. 1998:** The nomenclature concerning *Tilletia contraversa* Kühn. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz. **98**: 627-629.
- Johnston, C.O. og C.L. Lefebvre 1939:** A chlorotic mottling of wheat leaves caused by infections of bunt *Tilletia leavis*. Phytopathology **29**:456-458.
- Jørgensen, L. og K. Kundesen 1994:** Belastningsforsøg med hvede inficeret med stinkbrand i foder til smågrise (5-10 uger). Den rullende afprøvning - ernæring, Medd. 272. 5 sider. Landsudvalget for svin.
- Kaltoft, P. 1997:** Naturetik som Praksisbegreb. Ph.d.-afhandling, DTI.

- Keitreibner, M. (1984):** ISTA Handbook on Seed Health Testing: Working Sheet no. 53. Bundesanstalt für Pflanzenbau, Wien, Austria. .
- Kendrick, E.L., R.J. Metzger og C.R. Rohde 1964:** Overwintering of race T-18 of *Tilletia caries*. Pl.Dis.Reptr. **48**:379-380.
- Kendrick, E.L. og L.H. Purdy 1959:** Influence of environmental factors on the development of wheat bunt in the Pacific Northwest. II. Effect of soil temperature and soil Moisture on infection by seed.borne spores. Phytopathology **49**:433-434.
- Kendrick, E.L. og L.H. Purdy 1962:** Influence of environmental factors on the development of wheat bunt in the Pacific Northwest. III. Effect of temperature on the time and establishment of infection by races of *Tilletia caries* and *T.foetida*. Phytopathology **52**:621-623.
- Kraft, J. og P. Lundin 1990:** Dvärgstinksot på kvickrot vid Knösen, Skanör. Växtskyddsnotiser **54**:24-25
- Kristensen, L. 2000:** Control of common bunt (*Tilletia tritici*) in wheat by thermal seed treatment. I: T.Alföldi (ed): The world grows organic. Proceedings from the 13th International IFOAM Scientific Conference, Basel 25-31/8-2000.
- Kristensen, L. in prep:** Seed vitality in organic cereal production. Ph.d.-thesis ved Den Kgl. Vet.- og Landbohøjskole.
- Kristensen, L., C. Markussen og A. Borgen 1992:** Frøbårne svampesygdomme på byg og hvede i økologisk jordbrug - Betydning, biologi og regulering. Den Kgl. Vet.- og Landbohøjskole, 211 sider.
- Kristensen, L, A. Borgen og P.Kølster 1996:** Stinkbrandspores spredning via mejetærskere. 13. Danske Planteværnskonference. SP-rapport **4**:185-192
- Kühnel, W. 1960:** Der Einfluss der Faktoren Bodenart, Bodenfeuchtigkeit und Bodentemperatur auf die Patogenitätsabnahme des Steinbrandereggers des Weizens (*Tilletia caries* DC.) Tul. im Boden.Nachrichtenblatt für den Deutschen Pflanzenschutzdienst **14**:21-26.
- Kölsch, E. 1989:** Mehr Sicherheit durch Triebkrafttest! Bioland **5**:14-15 .
- Leijerstam, B. 1991:** Virulence pattern in bunt of wheat in Sweden. Sveriges Ütsädesförenings Tidsskrifter **101**:85-88.
- Leukel, R.W. 1937:** Studies on bunt, or stinking smut, of wheat and its control. USDA, Technical Bulletin nr 582. 48 sider.
- Lind, J. og F.K. Ravn 1918:** Forsøg med Midler mod Bygges Stribesyge. Tidsskrift for Planteavl **25**:56-116
- LØJ 1998:** Avlsregler for økologisk jordbrug. Landsforeningen Økologisk Jordbrug 16 sider.
- Magnus, H.A. og O.J. Storli 1979:** Virkningen av stinksot smitte (*Tilletia caries*) på noen nyere hveteinjer. Forskning og Forsøk i Landbruket. **30**:245-257.
- Mamluk, O.F. 1998:** Bunt and smut of wheat in North Africa and Near East. Euphytica **100**:45-50.
- Meiners, J.P. 1956:** Extension of the known host range for *Tilletia caries* by inoculation. Res. Stud. St. Coll. Washington **24**:331-336.

- Michelsen, J. og P. Kølster 1998:** Lokale og institutionelle aspekter. Delrapport A.4.1 til Økologiske scenarier under Bicheludvalget. Miljøministeriet.
- Miljøministeriet 1993:** Vedrørende Sibutol LS 280. Brev til Bayer Danmark a/s af 14. juni; Journal nr. M 741-0367.
- Miljøministeriet 1997a:** Vedrørende Beret 050 FS. Brev til Ciba-Geigy a/s af 12. marts; Journal nr. M 741-2118.
- Miljøministeriet 1997b:** Vedrørende Dividend 37,5 LS. Brev til Novartis Agri a/s af 18. april; Journal nr. M 741-0379.
- Miljøministeriet 1999a:** Rapport fra den tværfaglige økologigruppe. Udvalget til vurdering af de samlede konsekvenser af en hel eller delvis afvikling af pesticidanvendelsen (Bicheludvalget). 98 sider.
- Miljøministeriet 1999b:** Rapport fra hovedudvalget. Udvalget til vurdering af de samlede konsekvenser af en hel eller delvis afvikling af pesticidanvendelsen (Bicheludvalget). 144 sider.
- Miljøministeriet 2000a:** Pesticidhandlingsplan II, Marts 2000. 9 sider.
- Miljøministeriet 2000b:** Baggrundsrapport til Pesticidhandlingsplan II, Marts 2000. 32 sider.
- Neergaard, P. 1977:** Seed Pathology, bind I og II. The MicMillan Press Ltd. London Basingstoke. 1187 sider.
- Nielsen, B.J. 1997:** Udsædsbårne sygdomme i korn. I: Pesticidafprøvninger 1996. Landbrugsafgrøder. SP Rapport 1:69-80.
- Nielsen, B.J. 1998:** Frøbårne sygdomme i korn. I: Pesticidafprøvninger 1997. Markbrug, DJF Rapport 1:59-66.
- Nielsen, B.J. 1999:** Bekæmpelse af frøbårne sygdomme i korn. I: Pesticidafprøvninger 1998. Markbrug, DJF Rapport 8:67-81.
- Nielsen, B.J., S. Christiansen og J.O. Bagge 1999:** Ny resistens mod frøbårne sygdomme i korn. DJF-rapport 10:149-160.
- Nordin, K. 1982:** Några försök avseende möjligheten för vanligt stinksot, *Tilletia caries*, att angripa vårvete. Eksamensarbeten 1982:1, Institutionen för växt- och skogsskydd, Uppsala 1982.
- Olgyay, M. 1949:** Van-E A Trimethylaminak Csirázást-Gatló Hatása. Bulletin of the Faculty of Horticulture and Viticulture, University of Agricultural Sciences, Budapest.
- Olsen, A. 1791:** Tilforladelig Underretning hvorledes man paa bedste Maade skal behandle Hveden førend den saas, at den skal blive fri for den skadelige Brand. Kiøbenhavn 1791, Kosteligt fremsat til enhvers Nytte Paa Forfatterens egen Bekostning.
- Parlak, Y. 1986:** An investigation On Survival of Soil-Borne Spores of Common Bunt And Infection of Wheat Plants. Journal of Turkish Phytopathology 15:109-112.
- Pedersen, L.H., P.E. Jørgensen og I. Poulsen 1993:** Effects of seed vigor and dormancy on field emergence, development and grain yield of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) and winter barley (*Hordeum-vulgare* L.). Seed science and Technology 21(1):159-178.

- Petersen, H. 1997:** En kvalitativ undersøgelse af værdier og barrierer i økologisk svineproduktion. Hovedopgave, Sektion for Økonomi, KVL. 154 sider.
- Piörr, H.P. 1991:** Bedeutung und Kontrolle saatgutübertragbarer Schaderreger an Winterweizen im Organischen Landbau. Bonn 1991. pp 166.
- Plantedirektoratet 1990:** Bekendtgørelse om Sædekorn nr. 785 af 22 november 1990.
- Plantedirektoratet 2000:** Vejledning om økologisk jordbrugsproduktion, august 2000. 68 sider.
- Polišenská, I., A. Pospíšil og J. Benada 1998:** Effects of sowing data on common bunt (*Tilletia caries*) infection in winter wheat at lower inoculum rates. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz. **105**(3):295-305.
- Rabien, H. 1928:** Ueber Keimungs- und Infektionsbedingungen von *Tilletia tritici*. Arbeiten aus der Biologischen Reichsanstalt für Land- und Forstwirtschaft **5**:297-353.
- Roemer, T. og R. Bartholly 1933:** Die Aggressivität verschiedener "Steinbrandherkünfte" [*Tilletia tritici*. (Bjerk.) Wint.] und ihre Veränderung durch die Wirtssorte. Phytopathologische Zeitschrift **6**(5):469-504.
- Sampson, K. og D.W. Davis 1927:** The influence of *Tilletia tritici* (Bjerk.) Wint. and *Tilletia laevis* Kühn on growth of certain wheat varieties. The Annals of Applied Biology **14**:83-104.
- Schauz, K. 1970:** Die Steuerung der Brandsporenkeimung und Sporidienbildung bei *Tilletia caries* (DC) Tul. durch Aussenfaktoren. Zentralblatt. Bakteriöl. Parasitenk. Infektionskr. Hyg. Abt. 2 Naturw. **124**:739-742.
- Sharvelle, E.G. 1979:** Plant disease control. The AVI Publishing company.INC., Westport, Connecticut.
- Singh, S., L.B. Goel, S.K. Sharma og S.K. Nayar 1979:** Fungitoxicants and plant extracts in the control of hill bunt of wheat. Indian Phytopathology **32**:297-299.
- Smilanick, J.L., M. Dupler, B.J. Goates, J.A. Hoffmann, D. Clark og D. Dobson 1986:** Germination of Teliospores of Karnal, Dwarf and Common Bunt Fungi After Ingestion by Animals. Plant Disease **70**:242-244.
- Smilanick, J.L., J.A. Hoffmann, L.R. Secrest og K. Wiese 1988:** Evaluation of Chemical and Physical Treatment to Prevent Germination of *Tilletia indica* Teliospores. Plant Disease **72**:46-51.
- Smith, W.K 1932:** The effect of different temperatures on the reaction of Hope wheat to bunt. Phytopathology **22**(7):615-627.
- Sood, A.K., og B.M. Singh 1991:** Effect of hill bunt on the morphology of club and vulgare wheat cultuvars. Indian Phytopathology **44**:376-379.
- Spieß, Haartmut personlig meddelse:** Institut für Saatgutforschung in biologisch-dynamische Landbau. Dodenfelder Hof.
- Spieß, H. 1996:** Pflanzengesundheit ohne Hilfsmittel? Wo sind die Grenzen? Ökologie und Landbau **100**(4):38-44.

- Spieß, H. og J. Dutschke 1991:** Bekämpfung des Weizensteinbrandes (*Tilletia caries*) im biologisch-dynamischen Landbau unter experimentellen und praktischen Bedingungen. Gesunde Pflanzen, **43**(8):264-270.
- Stapel, C. , J. Jørgensen og J.E. Hermansen 1976:** Sædekornets sygdomme i Danmark. Tidsskrift for landøkonomi 3/76, 283 sider.
- Steglich-Dresden, B. 1912:** Die Übertragung des Weizensteinbrandes auf den Pflanzenbestand der Weizenfelder durch infizierten Stalldünger, Samen und Acherboden. Fühlkings Landwirtschaftliche Beitrag. **60**:54-55.
- Steiner, R. 1929:** Geisteswissenschaftliche Grundlagen zum Gedeihen der Landwirtschaft. Landwirtschaftlicher Kurs. Rudolf Steiner Gesamtausgabe. Dornach. 267 sider
- Trione, E.J. 1973:** The Physiology of Germination of *Tilletia* Teliospores. Phytopathology **63**:643-648.
- Trione, E.J., V.O. Stockwell og C.J. Latham 1989:** Floret Development and Teliospore Production in Bunt-Infected Wheat, in Planta and in Culture Spikelets. Phytopathology **79**:999-1002.
- Tränkner, A. 1992:** Use of agricultural and municipal organic wastes to develop suppressiveness to plant pathogens. In: Biological Control of Plant Diseases, Ed: Tjamos, E.C., G.C.Papavizas and R.J.Cook. p. 35-42.
- Tubeuf, C.v. 1902:** Weitere Beiträge zur Kenntniss der Brandkrankheiten des Getreides und ihre Bekämpfung. Arbeiten aus der Biologischen Abteilung für Land- und Forstwirtschaft am Kaiserlichen Gesundheitsamte **2**:437-467.
- Ullerup, B. 1989:** Kornsorter og korndyrkning. I: Oversigt over Landsforsøgene: Forsøg og undersøgelser i de landøkonomiske foreninger i 1998. Landsudvalget for Planteavl, Århus. side 17-60.
- Vanderwale, R. og L. Detroux 1954:** Sur la persistance de la virulence des spores de carie (*Tilletia tritici* Berk.) incorporées au sol et l'action de quelques désinfectants à sec. Parasitica **10**:14-17.
- Veisz, O.B., Lu. Szunics og L. Szunics 1997:** Effect of bunt infection on the frost resistance of wheat varieties and of lines containing *Bt* genes. Plant Breeding **116**:123-126.
- Vilkaitis, V. 1930:** Kietosios kviečių kūlės (*Tilletia tritici* (Bjerk.)Wint.). [Bunt of wheat (*Tilletia tritici* (Bjerk.)Wint.)]. Kosmos, Lithaun side 359-369.
- Voss, J. 1938:** Zur Methodik der Prüfung von Weizensorten auf ihre Widerstandsfähigkeit gegen Steinbrand (*Tilletia tritici*). Pflanzenbau **14**:113-153.
- Wainwright, A. og D.B. Morris 1989:** Evaluation of triadimenol seed treatments against soil-borne bunt of wheat. Tests of Agrochemicals and Cultivars **10**:68-9 (Supplement to Annals of Applied Biology no. **114**).
- Weltzien, H.C. 1957:** Untersuchungen über den Befall von Winterweizen durch *Tilletia tritici* (Bjerk.) Winter unter besonderer Berücksichtigung der Frage der Beizmittelresistenz. Phytopathologische Zeitschrift. **29**:121-150.
- Westermann, H.-D., H. Barnikol, E. Fiedler, H. Rang og A. Thalmann 1988a:** Gesundtheitsliche Risiken bei Verfütterung von Brandweizen

- (Weizensteinbrand und Zwergbrand). 1. Mitteilungen: Litteraturstudien. Landwirtschaftliche Forschung **41**:159-168.
- Westermann, H.-D., H. Barnikol, E. Fiedler, H. Rang og A. Thalmann 1988b:** Gesundheitsliche Risiken bei Verfütterung von Brandweizen (Weizensteinbrand und Zwergbrand). 2. Mitteilungen: Landwirtschaftliche Forschung **41**:169-176.
- Weston, D. 1932:** The relative resistance of some wheat varieties to *Tilletia caries* (DC.) TUL. (= *T. tritici* (Bjerk.) Wint.). The Annals of Applied Biology **19**:35-54.
- Williams, E. Jr. 1987:** Persistence in soil and control of common bunt *Tilletia caries* of wheat. Phytopathology, **77**:1772.
- Winkelmann, A. 1955:** Untersuchungen zur Bekämpfung des Gersten- und Weizenflugbrandes. Angewante Botanik **29**:3-13
- Winter, W., I. Bänziger, H. Krebs og A. Rüegger 1994:** Warmwasserbehandlung von Weizensaatgut. Agrarforschung **1**:492-495.
- Woolman, H.M. 1930:** Infection phenomena and host reaction caused by *Tilletia tritici* in susceptible and nonsusceptible varieties of wheat. Phytopathology **20**:637-653.
- Woolman, H.M. og H.B. Humphrey 1924a:** Summery of litterature on bunt, or stinking smut, of wheat. United States Department of Agriculture, Department Bulletin No. 1210. 44 s.
- Woolman, H.M. og H.B. Humphrey 1924b:** Studies in the physiology and control of bunt, or stinking smut, of wheat. United States Department of Agriculture, Department Bulletin No. 1239. 1-29.
- Yarham, D.J. 1993:** Soilborne spores as a source of inoculum for wheat bunt (*Tilletia caries*) Plant Pathology **42**:654-656.
- Yarham, D.J. og B.M. McKeown 1989:** Airborne spores of *Tilletia caries* as a source of wheat bunt through soil contamination. Plant Pathology **38**:612-14.
- Zscheile, F.P. 1965:** Germination of teliospores and type of growth of common and dwarf bunt fungi as affected by light, photoperiod, and temperature. Phytopathology **55**:1286-1292.

-

**Appendiks 1: Borgen og Kristensen: Macroscopic
leaf symptoms in wheat infected by *Tilletia tritici***
Submitted to European Journal of Plant Pathology, May 2000.

Appendiks 2: Kristensen og Borgen: Reduction of spore spread of common bunt (*Tilletia tritici*) via combining equipment

Submitted to: Biological Agriculture and Horticulture, July 2000.

**Appendiks 3: Borgen 2000: Perennial survival of
common bunt (*Tilletia tritici*) in soil under
modern farming practice**

Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz. 170(2):182-188.

Appendiks 4: Kristensen og Borgen: Water based thermo therapy in control of common bunt in wheat

Submitted to: Plant Disease, July 2000.

Appendiks 5: Borgen og Kristensen: Milk powder seed treatment to control common bunt (*Tilletia tritici*) in wheat

Summary is submitted, and if approved by the scientific community, the full article will be submitted to: Seed treatment - Challenges and Opportunities. Symposium arranged by British Crop Protection Council..

Appendiks 6: Borgen og Davanlou 2000: **Biological control of common bunt in organic** **agriculture**

Journal of Crop Production 3(5):159-174

Også udgivet som i bogform i: "Nature Farming and Microbial Applications",

Ed: H.L. Xu , J. F. Parr og H. Umemura. Haworth Press Inc., New York. ISBN:

1-56022-082-1 / ISBN:1-56022-083-X , side 159-174.

-