



Damping av jord mot sopp, ugras og nematoder

En litteraturoversikt

**Anne Kari Bergjord, Ada Engødegård, Arne
Hermansen, Hølge Sjursen, Bonsak Hammeraas,
Christer Magnusson og Leif Sundheim**

Grønn forskning nr 21/99

*ISBN 82-479-0161-7
1999*

Pris: NOK 100

**For bestilling kontakt:
Planteforsk Plantevernet
Høgskoleveien 7
1430 Ås**

Innhold

	<u>Side</u>
Innledning	2
Virkning mot sopp etter damping og solarisering av jord	2
Temperatortoleranse hos sopp	2
Rekolonisering etter varmebehandling	5
Resultater fra forsøk med solarisering	6
Resultater fra forsøk med damping	7
Sammenligning solarisering – damping mot sopp	8
Konklusjon for sopp	9
Virkning av varmebehandling på ugrasfrø	9
Ugrasfrø i jord	9
Varmetoleranse for ugrasfrø	10
Forsøksresultater med solarisering	10
Forsøksresultater med damping	13
Konklusjon for ugrasfrø	15
Virkning av varme mot nematoder	15
Problemstilling	16
Letaltempertur	16
Nematodenes evne til å migrere	16
Oppformeringshastighet	16
Skadeterskel	17
Effekt av varme	17
Konklusjon for nematoder	17
Litteratur	18

Innledning

Damping av jord er en gammel metode for bekjempelse av ugras, sopp, nematoder og virus. Desinfeksjon ved hjelp av damp ble tatt i bruk allerede i begynnelsen av forrige århundre, men det var først i begynnelsen av dette århundre metoden ble benyttet i større omfang, og da spesielt i veksthus. I motsetning til de kjemiske desinfeksjonsmidlene, hadde damping en mer universell virkning ved sin effekt både på ugrasfrø, nematoder, sopp og virus. Damping ble derfor av mange sett på som den beste metoden for desinfeksjon av jord (Newhall et al., 1931, og Baker, 1950). Etter hvert overtok imidlertid de kjemiske midlene markedet, og utviklingen av dampingsteknikken stoppet opp. Det er derfor relativt lite nyere litteratur og forsøksresultater fra bruk av jorddamping.

Virkning mot sopp etter damping og solarisering av jord

Det øvre jordlaget inneholder både flere arter og et større antall mikroorganismer enn dypere jordlag. Ofte kan en finne markerte forskjeller i vertikal fordeling av arter: noen er overflateorganismer mens andre opptrer i dypere jordlag. Samtidig synes spredningen av mikroorganismer å være veldig effektiv i jord. De mest vanlige artene er som oftest godt fordelt gjennom store deler av jordprofilen (Burges, 1965). I sine prøver fra et hvete felt i Sør-Australia fant også Warcup (1957) at de soppartene som var mest vanlige i overflatelaget også var vanlige i dypere lag. Det var imidlertid også flere arter som bare ble funnet i overflatejorda. Burges, (1963) mente at det ikke er dybden som har betydning når det gjelder den vertikale fordelingen, men at det er en forskjell mellom forskjellige jordlag (horisonter). Ploglaget er i så måte et ganske ensartet jordlag med liten variasjon av sopparter med dybden. Garrett, (1955) beskriver fordelingen av mikroorganismer i jord som en effekt av forskjellige næringssemner (substrat) og fordelingen av disse i jorda.

Temperaturløse hos sopp

De mange ulike sopporganismene i jorda har forskjellig temperaturløse. Normalt øker effekten mot organismene med stigende temperatur, jordfuktighet og eksponeringstid. Det er gjort flere undersøkelser på forskjellige soppers varmetoleranse, men på grunn av at det er brukt ulike forsøksmetoder og forskjellig type smittestoff (inokulum), er det vanskelig å sammenligne disse resultatene. Katan (1981) og Newhall (1940) konkluderte med at det er få patogene sopper som tåler oppvarming til 65° C i 10 minutter. Bollen (1985) utsatte forskjellige sopporganismer for varme og kom fram til at en temperatur på 70° C i 30 min. eliminerte ikke bare de patogene sopporganismene men også mange av saprophyttene (organismer som utnytter organisk stoff fra døde organismer) og sopper med antagonistisk (hemmende) virkning på patogener. Sopper med hvileorgan, som for eksempel sklerotier, tålte høyere temperaturer enn sopper uten slike hvileorgan. Bollen (1968) fant at de *Penicillium*- og *Aspergillus*-artene som dannet hvileorgan var mindre sensitive for varme.

I varmere land er det gjort flere forsøk med soloppvarming av jord under plast (solarisering) og dens effekt på jordboende organismer. Resultater har vist at varmetolerante sopper tåler

denne oppvarmingen og at populasjonene øker til høyere nivå enn i ubehandlet jord. Blant disse var blant annet *Trichoderma* spp. og *Talaromyces flavus* som er viktige antagonister overfor patogene sopper (Stapleton & DeVay, 1984). Høyeste temperatur oppnådd i disse forsøkene var 49,9° C. Også Keinath (1995) fant at populasjoner av varme-tolerante sopper som har evne til å vokse ved 46° C, vanligvis øker etter solarisering. Bollen (1968) fant imidlertid i sine studier av letaltemperaturer for forskjellige sopporganismer at *Trichoderma* spp. vanskelig overlevde selv moderat oppvarming. Han antok derfor at grunnen til at de opptrer i overflatejorda noen dager etter damping heller er en effekt av rask rekolonisering enn evne til overlevelse. Men også han fant at noen arter av *Talaromyces* tålte høye temperaturer. Stapleton & DeVay (1982) gjorde forsøk i California der de så på effekten av solarisering på andre mikroorganismer enn de patogene. De konkluderte med at mikroorganismer som er fordelaktige for plantevekst enten reagerer mindre på solariseringen (eks. *Bacillus* spp. og *Actinomyces*) eller de tar seg raskt opp igjen etter behandlingen (eks. fluoreserende *Pseudomonas*).

Eldre forsøk har vist at bakterier som omdanner organisk stoff til ammonium ikke tar skade av damping, mens de nitrifiserende bakteriene som videreomdanner ammonium til nitritt og nitrat (*Nitrosomonas* og *Nitrobacter*) ikke overlever slik behandling. En kan derfor få en midlertidig opphopning av ammonium før de nitrifiserende bakteriene igjen innfinnes i jorda (Newhall, 1935). Roll-Hansen, (1949a) fant det vanskelig å sette opp generelle regler for de forandringene som skjer i jordas mikroliv ved damping, og mente det vil variere mellom ulike jordtyper.

Det er flere eksempler på at solarisering gjør jorda mer motstandsdyktig mot rekolonisering av patogene organismer (Greenberger et al., 1987). Dette er antagelig en generell, uspesifikk mekanisme som har effekt overfor flere forskjellige patogener. Effekten antas å ha sin årsak i at mange saprofytter overlever temperaturer oppnådd ved solarisering, og at disse gjerne også har større konkurranseevne enn patogener med hensyn til kolonisering av næringsemner gjort tilgjengelige ved varmebehandlingen. De henviser til flere undersøkelser som etter solarisering finner en stimulering av antibiotika-produserende bakterier og fluoreserende *Pseudomonas*, økte populasjoner av *Trichoderma* og *Talaromyces*, og at saprofyttiske *Fusarium*-arter erstattet de patogene artene. Da temperaturer oppnådd ved solarisering er lavere enn de som brukes ved damping, er det vanskelig å vite om den samme effekten vil gjøre seg gjeldende i dampet jord.

Selv om oppvarmingen av jorda ikke medfører høy nok temperatur til at patogenet drepes, kan en likevel oppnå en hemming av sykdomsutviklingen. Det kan se ut som om varmeskaden akkumuleres gradvis inntil den når et punkt der soppen ikke klarer å reetablere seg igjen og dør. Subletale temperaturer er derfor ikke virkningsløse i det de vil kunne hindre eller utsette vekst av soppen (Pullman et al., 1981). Utsatt vekst kan være med på å utsette sykdomsangrepet lenge nok til at plantene snart er høstklare, eller at de er blitt store nok til å tåle et angrep bedre (Porter & Merriman, 1985a). Hos vekster med lang veksttid vil dette imidlertid ha mindre betydning fordi patogenet da likevel vil få tid nok til å angripe. En svekking av patogenet vil også gjøre det mer utsatt for angrep av antagonistiske organismer (Phillips, 1990). Arora et al. (1996) fant at klamydosporer av *Fusarium oxysporum* f.sp. *ciceri* ble lettere utsatt for kolonisering av mikro-organismer etter varmebehandling og at koloniserte sporer mistet mye av levedyktigheten og evnen til å angripe planter. I den eldre litteraturen, som mest omhandler varmebehandling av veksthusjord, finner en varierende anbefalinger av temperatur og varighet: 85-95° C i 1 time (Ravn, 1916), 80° C i 30 min. (Roistacher, 1952), 100° C i 10 min. (Ministry of Agriculture and Fisheries, London,

1945). Blant de patogene sopporganismene som kan bekjempes ved bruk av damp nevnes bl.a. svartskurv (*Rhizoctonia solani*), *Pythium*-arter, *Fusarium*-arter og forskjellige *Verticillium*-arter (Roll-Hansen, 1949, Roistacher & Baker, 1956).

Damping av frilandsjord ble tatt i bruk ved en planteskole i Grimstad i 1998. De damper jorda til 5-6 cm dybde og bruker en temperatur på 70-80° C (Mongstad, 1998).

Rekolonisering etter varmebehandling

Hvilke mikroorganismer som vil dominere etter varmebehandling avhenger først og fremst av hvilke organismer som har overlevd behandlingen, og i hvilken mengde de har overlevd. Tilgjengelige nærings- og energikilder, samt saprofyttisk konkurransevne har også mye å si (Kreutzer, 1965). Etter en varmebehandling vil det være store mengder lett tilgjengelige næringsstoffer i jorda. Kreutzer (1965) satte opp en hypotese på utviklingen av mikrofloraen i ei slik jord: Rasktvoksende sopper som utnytter lettomsattelige næringsstoffer vil være blant de første artene som kommer inn. Når en igjen får begynnende plantevekst, vil det dannes en næringszone rundt planterøttene (rhizosfæren) der organismer som trives i dette miljøet vil vokse inn. Utenfor denne sonen vil det etter hvert bli slutt på den lettomsattelige næringen, og sopper som vokser senere men som kan utnytte tyngre fordøyelig næring vil etter hvert overta dominansen på bekostning av "pionerorganismene". Bollen (1974) bekreftet denne hypotesen. Artssammensetningen på ulike næringssubstrat kan imidlertid variere mye. Det ser ut som at det avhenger mye av hvilke organismer som "ankommer" jorda først etter behandlingen. Han pekte på fire forskjellige kilder for rekoloniserende organismer: varmetålende (overlevende) organismer, organismer fra dypere jordlag, luftbårne organismer og organismer introdusert med nytt plantemateriale.

En kan finne forskjellige resultater med hensyn til hvor fort rekoloniseringen skjer. Waksman & Starkey (1923) fant en rask utvikling av sopp-populasjonen etter varmebehandling. Populasjonen nådde først et høyere nivå enn det en fant i ubehandlet jord for så å falle ned til "normalt" nivå igjen.

I de forsøk som beskrives av Warcup (1951) tar imidlertid rekoloniseringen lang tid. Selv 18 mnd. etter behandling var det bare omtrent halvparten av artene fra ubehandlet jord som var kommet tilbake og relativt få av disse opptrådte i store mengder. Rekoloniseringen var imidlertid ikke lik gjennom hele jorda. Det var flere arter som fantes i store mengder i noen av jordprøvene som ble tatt ut, men som ikke var til stede i det hele tatt i andre prøver. Warcup (1951) identifiserte mange av de rekoloniserende organismene i forsøket og fant bl.a. at flere av dem sjelden eller aldri forekom i ubehandlet jord. Rekoloniseringen gikk raskest i det øverste jordlaget og spredte seg så nedover i jorda. Warcup (1951) så på dette som en indikasjon på at organismer fra dypere jordlag spiller liten rolle i rekoloniseringen. Han mente at horisontal spredning av organismer fra ubehandlet jord fra sidene er den viktigste kilden for rekoloniserende organismer, samt organismer fra lufta. Forsøket viste også at prosessen gikk raskere ved grunn (20 cm) enn ved dyp damping (40 cm).

Selv om forsøk viser at antagonistiske organismer kan komme raskt inn igjen etter varmebehandling, vil dette ofte dreie seg om noen få arter. En får dermed en ganske ustabil situasjon der en liten forandring av forholdene vil resultere i forstyrrelse av likevekten.

Bollen (1974) anbefalte derfor å ikke bruke høyere temperaturer enn at en god del av den saprofyttiske mikrofloraen overlever. Den overlevende mikrofloraen vil da kunne virke som en buffer mot ny infisering av plantepatogener i jorda.

Dersom en får inn ny smitte av en sykdomsfremkallende sopp i jord der også de nyttige organismene er drept, vil denne kunne få svært gode utviklingsmuligheter. En vil dermed ofte få en enda større oppformering av soppen der enn det som er tilfelle i ubehandlet jord. Dette er vist for bl.a. svartskurvsoppen (*Rhizoctonia solani*) (Dawson et al., 1965). Forsøk viste at dersom en varmet opp jorda til 60° C i stedet for 100° C, oppnådde man god effekt mot svartskurv samtidig som en fikk begrenset spredning av soppen etter ny smitting av jorda. Dette ble antatt å være en effekt av konkurranse med overlevende bakteriepopulasjoner av *Bacillus subtilis*. Det refereres til Baker (1962) og Baker & Olsen (1964). Sammenlignet en udampet jord med jord som var oppvarmet til 60° C i 30 min., fant en likevel større skader av svartskurv i den dampede jorda etter innføring av ny smitte.

Resultater fra forsøk med solarisering

Både Phillips (1990) og Ben-Yephet (1988) har undersøkt virkningen av solarisering på storknollet råtesopp (*Sclerotinia sclerotiorum*). Solariseringen reduserte populasjonene av sklerotier. Reduksjonen var størst i de øverste 5 cm av jorda, men det var også signifikante utslag ved 10-15 cm dybde. I tillegg til reduserte populasjoner fant de også at evnen til å danne fruktlegemer (apothecier) var svekket hos de overlevende sklerotiene. En økning i prosentandelen sklerotier kolonisert av mikroorganismer, og spesielt *Aspergillus terreus*, indikerer at årsaken til reduksjonen av sklerotier er at subletale temperaturer har svekket dem og dermed gjort dem til et lettere bytte for parasitter. Sklerotier fra solarisert jord trengte også lenger tid på å spire og danne apothecier.

Effekten av solarisering på løkhvitråtesoppen (*Sclerotium cepivorum*) er undersøkt av bl.a. Basalloteureba & Melerovara (1993) i Spania. Jorda var plastdekket i 8-11 uker, og det gikk 2-3 mnd. mellom plastfjerning og planting. Det var ikke mulig å påvise smitte av løkhvitråde i de øvre 20 cm av jorda rett etter solarisering, selv ikke i sterkt smitta jord. Før planting kunne en likevel finne små smittmengder i jorda igjen, antagelig p.g.a. pløying og klargjøring av jorda for planting. Sykdomsutviklingen gikk imidlertid senere i solariserte felt. De undersøkte også langtidseffekten av behandlingen. Antall levedyktige sklerotier/kg jord var ganske lav også året etter behandlingen, men da det bare skal små smittmengder til før det blir store skader av denne soppen, var langtidseffekten likevel ikke god nok. Også Porter & Merriman (1985b) fikk god effekt av solarisering mot løkhvitråde.

I Hellas har en også studert langtidseffekten av solarisering. Der gikk forsøket på kransskimmel (*Verticillium dahliae*) i en flerårig kultur (Tjamos & Paplomatas, 1988). Forsøkene gikk over tre sesonger og det ble foretatt 6 ukers solarisering ved forsøksstart. Daglige maksimumstemperaturer ble målt på 10 etterfølgende dager og de varierte mellom 48-57° C i 10 cm dybde og 40-50° C i 20 cm dybde. Populasjonen av *V. dahliae* mikrosklerotier ble enten eliminert eller kraftig redusert og fortsatte å være lav gjennom hele forsøksperioden. Dette gjaldt helt ned til 20 cm dybde. I forhold til ubehandlede felt ble antall syke planter redusert med 87.3%, 92.1% og 77.8% i henholdsvis 1., 2. og 3. forsøksår. Forsøket viste også at soppene *Talaromyces flavus* og *Aspergillus terreus* overlevde solariseringen. Det kan ha vært en medvirkende årsak til langtidseffekten. Antagonister, som

disse soppene er eksempler på, kan ha hindret rekolonisering gjennom den 3-årsperioden forsøket pågikk. Katan, (1983) hevder også at solariseringens effektivitet tillegges muligheten for overlevelse og vekst av varmetolerante antagonister.

I Spania er det gjort forsøk med gråskimmelsoppen (*Botrytis cinera*) (Lopezherrera et al., 1994). Smittestoff ble nedgravd ved forskjellige jorddybder, og levedyktighet til mycel og sklerotier ble målt etter solarisering. Temperaturen varierte mellom 26.3-46.8° C ved 5 cm dyp, 29.2-40.3° C ved 15 cm og 30.6-36.4° C ved 25 cm. Etter to dagers solarisering hadde mycelet totalt mistet levedyktigheten helt ned til 25 cm dybde. Sklerotiene hadde mistet levedyktigheten ved 5 cm dybde. En fant også at de overlevende sklerotienes evne til å angripe planter (patogeniteten) var svekket etter solarisering. Smitte fra sklerotier fra solarisert jord gav en mindre alvorlig sykdomsreaksjon enn smitte fra sklerotier fra ubehandlet jord.

Klumprotorganismen (*Plasmodiophora brassicae*) er et viktig jordboende patogen. Forsøk har vist at solarisering kan redusere antall hvilesporer, men vanskelig eliminere organismen helt (Porter & Merriman 1985b). Gjennomsnittlige maksimumstemperaturer lå da på 46.7° C ved 5 cm jorddybde, 37° C ved 15 cm, og 31° C ved 25 cm. Det var klumprotsmitte tilstede i alle planterøttene, men sykdomsangrepene i behandlede felt var likevel ikke alvorlige nok til å redusere vekst og avling til et økonomisk uakseptabelt nivå. Heller ikke Roll-Hansen (1949b) klarte å utrydde klumprotsmitten helt under sine forsøk med bruk av damp.

Av andre sopper det er rapportert om solariseringsforsøk med kan nevnes svartskurv (Keinath, 1995) og en del forskjellige *Phytophthora*-arter (Juarezpalacios et al., 1991 og Chellemi et al., 1994).

Resultater fra forsøk med damping

Dumas et al. (1998) beskriver forsøk med damping av jord utført i Ontario, Canada. Maksimumstemperaturene oppnådd innen en totimersperiode etter damping varierte mellom 49-86° C ved 5 cm dybde, 33-57° C ved 10 cm og 16-26° C ved 20 cm, og de varte i mindre enn 1 minutt. Ved 15 og 20 cm dybde var temperaturen fortsatt litt stigende to timer etter damping. De undersøkte effekten på en patogen sopp som danner mikrosklerotier (*Cylindrocladium floridanum*) samt en del andre mikroorganismer i jord. *C. floridanum* forårsaker rotsykdom på små skogplanter. Alle mikrosklerotier av *C. floridanum* nedgravd ved 5 og 10 cm jorddybde ble drept på det ene forsøksstedet. På et annet sted gikk effekten bare ned til 5 cm dybde. Populasjonen av fluoreserende *Pseudomonas* ble helt borte rett etter damping, og det gikk 6 uker før den begynte å ta seg opp igjen. Arter av *Trichoderma* kunne ikke finnes ved 0-10 cm dybde etter behandling mens det var mindre effekter på disse soppene ved 10-20 cm dybde. Populasjonen begynte å øke igjen 8 uker etter damping og nådde samme nivå som før damping etter 10 uker. Både fluoreserende *Pseudomonas* og *Trichoderma* virker hemmende på *C. floridanum*.

Under forsøket ble det ikke funnet forskjell i spireprosent hos planter mellom dampede og ubehandlede felt, men 4 mnd. etter behandling var det høyere overlevelse av planter på dampede felt. Plantene fra disse feltene var også større både med hensyn til skudd- og rotvekst. Flere forskjellige sopper kunne isoleres fra røttene hos syke/døde planter, og *Fusarium*-arter var de mest vanlige både i dampet og ubehandlet jord.

Bødker & Noye (1994) undersøkte effekten av jorrdamping på *Fusarium* spp. og *Pythium* spp. Under forsøkene i 1992 fant de at dampingen måtte vare i 12 min. for å få god effekt mot *Fusarium*. Effekten mot *Pythium* var noe varierende. I 1993 ble det ikke funnet *Pythium* hverken i behandlede eller ubehandlede felt. En fikk god virkning mot *Fusarium* etter bare 4 min. damping. Andel av prøveplanter som var infisert med *Fusarium* var 7%, 0% og 0% etter henholdsvis 2, 4 og 6 min. damping. I kontrollfeltet var 36.7% av plantene infisert av *Fusarium*.

Målte temperaturer i 2,5 cm dybde ved 2, 4 og 6 min. damping var 58.5° C, 61.3° C og 64.7° C. (*Fusarium* kunne altså ikke finnes der temperaturen hadde vært over 60° C i 2.5 cm dybde).

Sammenligning solarisering – damping mot sopp

I Frankrike ble effekten av solarisering og damping av jorda sammenlignet (LeBihan et al., 1997). Undersøkelsen ble gjort ved to oppalingssteder for skogplanter der de hadde problemer med rotbrann, hovedsakelig forårsaket av *Pythium* spp., *Fusarium* spp. og svartskurv. Jordprøver fra solarisert og dampet jord ble tatt ut til forskjellige tider og testet for infeksjonsevne. Dampingen foregikk i 15 min. med en temperatur på over 80° C. På det ene forsøksstedet ble det bare foretatt solarisering. Her fant man at det var *Pythium* spp. som var hovedårsaken til sykdom ved 5 cm jorddybde, men at viktigheten av den avtok med dybden. Ni ukers solarisering resulterte i en signifikant nedgang i antall døde planter når de var dyrket i jord fra det øverste jordlaget (0-5 cm). *Fusarium oxysporum* var det eneste patogenet en kunne isolere fra disse plantene. Det var også en liten nedgang i dødelighet hos planter dyrket i jord fra 15 cm jorddybde som en følge av kontroll med svartskurv. Målte maksimumstemperaturer var 46° C ved 5 cm dybde og 44.5° C ved 15 cm. Temperaturen gikk imidlertid ikke over 45° C mer enn to ganger i løpet av forsøksperioden.

Ved det andre forsøksstedet fant en ingen forskjell mellom jorddybdene med hensyn til dominerende sykdomsorganisme. Der var det *Pythium* spp. som dominerte uavhengig av dybde. Solarisering gav også der god effekt ved 5 cm dybde og en liten effekt ved 15 cm. Her var 4 ukers solarisering nok til å oppnå god sykdomskontroll. Målte maksimumstemperaturer var 44.°C ved 5 cm dybde, 44° C ved 15 cm og 40° C ved 30 cm. Effekten av solariseringen ved 5 cm dybde var like god som den effekten en oppnådde ved damping. Effekten av damping gikk imidlertid ned til 15 cm. Fire uker etter damping var det også på dette forsøksfeltet bare *Fusarium oxysporum* som kunne isoleres fra syke planter. Ved 30 cm dyp hadde dampingen liten effekt. Syv uker etter damping ble sykdomsangrepene høyere. *Pythium* spp. og gråskimmel kunne isoleres fra syke planter. Ved siste prøvetaking, 11 uker etter damping, var sykdomsangrepene i de øverste 5 cm av jorda igjen like lave som de var etter 4 uker og en fant tilstedeværelse av *Trichoderma* spp.

Tabell 1. Resultat av damping målt i prosent døde planter (fra forsøk hos LeBihan et al., 1997):

Tid etter behandling:	4 uker	7 uker	11 uker
Ubehandlet, 5 cm dybde	70%	74%	42%
Dampet, 5 cm dybde	3%	11%	2%
Ubehandlet, 15 cm dybde	88%	70%	72%
Dampet, 15 cm dybde	7%	20%	57%

I følge Pullman et al. (1981) overlever *Pythium* høyere temperaturer enn svartskurv. Det stemmer imidlertid ikke overens med dette forsøket. *Pythium* var her den første sykdomsorganismen som gikk ut. Solariseringen hadde ikke effekt mot *Fusarium* spp. At *Fusarium* spp. tåler temperaturer over 46° C samsvarer med resultater som andre har fått. Croghan et al. (1984) og Ben-Yephet et al. (1987) anser *Fusarium oxysporum* for å være blant de plantepatogener som er mest tolerante overfor solarisering.

Konklusjon for sopp

Solarisering og damping kan hemme eller drepe jordboende sykdomsorganismer. Ulike organismer har forskjellig temperaturtoleranse, og *Fusarium*-arter er blant de mest varmetolerante. Både behandlingsmetode og rekolonisering avgjør hvor langvarig effektene av varmebehandling blir.

Virkning av varmebehandling på ugrasfrø

All jord vil i større eller mindre grad inneholde ugrasfrø. Selv om det har vært 100% ugrasbekjempelse i flere år vil likevel den dormante andelen av disse frøene sørge for at det fortsatt finnes ugras i åkeren.

Solarisering og jorrdamping har nå fått mer oppmerksomhet som et ikke-kjemisk alternativ til reduksjon av ugrasfrøbanken i jorda (Arora & Yaduraju, 1998). Jorrdamping er slett ikke ukjent i denne sammenhengen, fra gammelt av var metoden mye brukt i kampen mot ugras, sopp, nematoder og virus (Mongstad 1998, Ravn 1916, Roll-Hansen 1949).

Dampingsteknikken har derimot ikke blitt brukt i nevneverdig grad siden plantevernmidlene kom for fullt og mye av litteraturen er utenlandsk og tildels gammel. At det er forsket på ugrasarter som skaper problemer i de respektive land og at endel av disse ikke engang forekommer i Norge gjør at tilgangen til informasjon om dette emnet blir noe redusert.

Ugrasfrø i jord

Frøene av våre vanligste åkerugras ligger som regel nokså grunt, i øverste 5 cm av jordlaget. Optimal spiredybde for disse er 0-1 cm.

Enkelte store frø som hos hønsegras (*Persicaria maculosa*), åkervortemelk (*Euphorbia helioscopia*) og kveke (*Elymus repens*) kan spire fra dybder ned til 6-7 cm. Floghavre (*Avena fatua*) kan greie å spire selv om frøene ligger hele 20-25 cm ned i jorda (Fykse & Sjursen, 1994).

Varmetoleranse for ugrasfrø

Responser av oppvarming av jorda varierer mellom artene av frø. Arter der frøene er store og dermed i stand til å komme opp fra større jorddybder kan overleve overflatedamping.

Dormante frø kan også greie seg, eller at eneste virkning er at dormansen brytes.

I et forsøk testes ulike arter fra kjente ugras, representert av forskjellige størrelser, former og frøkappestrukturer for en serie temperaturer og varmeperioder for å finne en kombinasjon for effektiv reduksjon av frøspiring (Thompson *et al.* 1997).

Temperaturene de ble utsatt for var 31 °C, 42 °C, 56 °C, 75 °C eller 100 °C i 0,5, 1, 2, 4, 8 eller 16 dager, eller 102 °C, 155 °C, 204 °C eller 262 °C i 0,5, 1, 2, 5, 7, 5 eller 10 minutter.

Kun små forskjeller oppsto mellom frø utsatt for de laveste temperaturene, men en økning av temperaturen til 56-75 °C forhindret spiring.

Forsøk indikerer at jord (kompost, slam) må opp i temperaturer over 65-75 °C for at spiring skal reduseres i så stor grad som ønskelig.

Vanskeligheter oppstår med spiretrege frø og variasjonen mellom artene når det gjelder toleranse for varmen (Thompson *et al.*, 1997). Fordi noen frø er i stand til å overleve 60-70 °C i mange dager er det usannsynlig at solarisering eller andre naturlige metoder for å heve jordtemperaturen vil eliminere ugrasfrø fra jorda (Egley, 1990).

Forsøksresultater med solarisering

Solarisering har gitt litt forskjellige resultater fra spredte forsøk avhengig av klima, jordtype og dekkemateriale (farge, tykkelse, bredde). Solarisering har likevel funnet å være effektiv for ugraskontroll (Egley 1983, Horowitz *et al.* 1983, Rubin & Benjamin 1984, Standifer *et al.* 1984). Vizantinopoulos & Katranis (1993) har til og med funnet solarisering mer effektivt enn bruk av jordherbicer.

Hvor høye temperaturer en kan regne med bestemmes av antall soltimer, strålingsintensitet, lufttemperaturer og vindhastighet. I et forsøk fra India fikk man jordtemperaturer fra 40-60 °C nær overflaten i fullt sollys. Ved 5 cm dybde var den 60 °C og ved 15 cm dybde 45 °C. Dekket var da polyetenplast og jorda besto av 0,7 % grov sand, 70 % fin sand, 16 % silt og 14,3 % leire. I forhold til det som ikke var dekket var temperaturen hele 9 °C høyere. Resultater fra eksperimenter utført over hele verden viser at solarisering øker jordtemperaturen med 3-18 °C i forhold til ikke-solarisert jord (Arora & Yaduraju, 1998). I Syria har man oppnådd hele 57 °C under plast ved 5 cm dybde (Linke, 1994).

Når det gjelder ugrasreduksjon ved hjelp av solariseringen reduserte dekkning i 30 dager antallet ugrasfrø betraktelig, spesielt floghavre. I et tilfelle hadde floghavren en spiringsreduksjon på hele 85 % ved 5 cm dybde. Ved 15 cm dybde var reduksjonen kun 78%. Da var jorda vannet på forhånd (Arora & Yaduraju, 1998). Ellers er det observert en reduksjon i 46 av 57 ugrasarter ved samme behandlingen. Varmen reduserer spiring og antall levedyktige ugrasfrø i jorda, enten som følge av en direkte dreping av frøene nær overflaten eller at frøene lengre ned stimuleres til å spire slik at spiren drepes når den når det varmeste jordlaget (Rubin & Benjamin, 1984).

Hos noen frø av *Trianthema monogyna* ble spiringen økt da dormansen ble brutt. Egley (1990) fant at høy temperatur brøt dormansen hos ugrashamp (*Sida spinosa*), linderose (*Abutilon theophrasti*) og *Ipomoea lacunosa*, og stimulerte dem til å spire. Men når oppvarmingen fortsatte ble noen frø drept og andre ute av stand til å spire. Frøene ved 5 cm dybde blir naturlig nok påvirket i større grad og langt raskere enn frøene nede på 15 cm dybde. Spiren fra frøene som allerede har spirt vil uansett ikke være i stand til å overleve den sterke varmen, og netto resultatet vil bli en nedgang i ugrasbestanden (Arora & Yaduraju 1998, Almasoom *et al* 1993). I følge Rubin & Benjamin (1984) vil oppvarming av frøene til over optimumstemperaturen for spiring, ca. 42 °C redusere spiringshastigheten antakeligvis på grunn av denaturering av proteiner.

Varmebehandlingen har likevel i enkelte tilfeller virket motsatt av sin hensikt. Det er påvist økende antall av noen belgvekstugras, *Coronilla scorpioides* og *Scorpiurus muricatus* ved 20 dagers solarisering (Sauerborn *et al.*, 1989). Braun *et al.* (1987) observerte økt levedyktighet og vekst hos blodhirse (*Digitaria sanguinalis*).

Mange forfattere har rapportert at de fleste ettårige arter er lette å kontrollere ved solarisering. Alle de som i størst grad var utryddet i et forsøk med 50 dagers solarisering, var ettårige (Linke, 1994). Noen av de, blant annet åkersennep (*Sinapsis arvensis*), reduseres med så godt som 100 % der temperaturen var 40-50 °C i 30 minutter. Piggeple (*Datura stramonium*) og kaffimjelt (*Astragalus boeoticus*) krevde temperaturer på over 80 °C før noen virkning ble observert. Enkelte ettårige og flerårige generelt er altså vanskeligere å kontrollere. Arora & Yaduraju (1998) rapporterer om *Trianthema monogyna* og *Asphodelus tenuifolius* som var lite følsomme for varmebehandling. Enda verre å kontrollere var *Melilotus indicus*. Jorda var i dette tilfellet tildekket i 30 dager. Rhizomer fra villdurra (*Sorghum halepense*) var relativt svake for varmebehandling, døde etter å ha blitt utsatt for nokså lave temperaturer i 30 minutter (Rubin & Benjamin, 1984). Arter i snylterotfamilien, *Orobancha aegyptiaca* og *O. crenata*, byr heller ikke på de største problemene. De kan kontrolleres med solarisering i 30-50 dager (Sauerborn *et al.*, 1989). Elmore (1983) undersøkte frø av blodhirse, møllekattost (*Malva parviflora*), hønsehirse (*Echinochloa crus-galli*), meldestokk (*Chenopodium album*), *Amaranthus retroflexus* og svartsøtvier (*Solanum nigrum*) der disse var sådd i 4 cm ned i jorda. De var da alle drept etter 6 ukers solarisering.

Problemet er, som et annet forsøk viste, at 4 cm ikke er naturlig spiredybde for alle disse ugrasartene. Arter med små frø slik som portulakk (*Portulaca oleracea*) spirte fra kun 0,5-2 cm ned i jorda og bekjempes lett ved solarisering. Effekten kan holde seg i opptil 4 måneder. Myktvetann (*Lamium amplexicaule*) var også lett å bekjempe. Arter med store og tunge frø derimot, for eksempel svartsøtvier og linderose kan komme opp fra 6-8 cm dyp. Denne evnen til å spire fra dypere jordlag gir disse frøene muligheten til å unngå solariseringseffekten (Rubin & Benjamin, 1984, Horowitz *et al.* 1983, Vizantinopoulos & Katranis 1993). Et solariseringsforsøk utført av Egley (1983) viste at dekking med plast i 1 uke på midtsommeren i stor grad reduserte antall levedyktige frø av ugrashamp (*Sida spinosa*) og linderose i jorda. Behandling i 1-4 uker reduserte den totale ugrasforkomsten av ugrashamp, arter i Amaranfamilien og forskjellige arter praktvindler (*Ipomoea*).

I en annen undersøkelse ble blant annet artene tunrapp (*Poa annua*), hønsehirse og ettårige arter i storr-familien (*Cyperaceae*) studert. Etter 40 dager under klar plast var frøene av hønsehirse og storrartene drept i de øverste 3-4 cm av jorda. Populasjonen av tunrappfrø varierte voldsomt, både vertikalt og horisontalt. Ingen levedyktige frø ble observert ned til 4 cm dyp og populasjonen var betydelig redusert ned til 6 cm under jordoverflaten 1 uke etter dekking. Når det var gått 3 uker til, var det ingen frø som var spirt ned til 7 cm dyp, og etter

hele 12 uker var det ingen levedyktige frø i de øverste 10 cm av jorda. Her ble det også sammenlignet svart og klar plast og temperaturen lå 6°C høyere under den klare plasten i klart og pent vær (Standifer *et al.*, 1984). Dette bekreftes også av Horowitz *et al.* (1983). De observerte en klart større effekt på ugraset under klar plast, både under dekking og etter. For eksempel så var antallet myktvetann pr. m^2 210 på kontrollen, 171 etter svart plastikk og 0 etter klar plast 4 måneder etter at dekket var fjernet. Dette forklares med at den innkommende solstrålingen blir høyere under klar plast.

I Hellas gjorde man forsøk med plasttykkelsen (0,03 mm kontra 0,015 mm), men fant ingen forskjeller i egenskapene mellom disse to (Vizantinopoulos & Katranis, 1993)

I Israel var jordtemperaturen 5 cm under plast fra $46\text{--}49^{\circ}\text{C}$. Ikke noe ugras spirte fram mens dekket lå på, og ugrasforekomsten var redusert også etter fjerning av plasten. Under israelske sommerforhold kontrollerte man ettårig ugras effektivt med 2-4 ukers solarisering og virkningen var dessuten merkbar også året etter. Effekten av varmebehandlingen var, naturlig nok, også her forskjellig mellom artene (Horowitz *et al.*, 1983)

Almasoom *et al.* (1993) kontrollerte frø fra småsyre (*Rumex acetocella*), krushøymole (*Rumex crispus*), arter i nøkleblomfamilien (*Primula*) og meldestokk med solarisering i 2 måneder. Ugraset startet med reetablering 8 måneder etter solariseringen startet. De mest utbredte artene var da *Helitropium kotschyi*, portulakk og *Tribulus terrestris*. Av enfrøbladete var det friergras (*Erogrostis sp.*) og busthirse (*Setaria spp.*) Det er mulig at disse ugrasene spirte senere etter temperatur-indusert dormans.

Jorda fuktighetsinnhold har mye å si for effekten av solariseringen. Med tilførsel av 30-40 mm vann før tildekking økte fuktighetsinnholdet omtrent til feltkapasiteten. Etter en stund var da temperaturen nær overflaten høyere enn under plasten der jorda ikke var vannet. Dette kommer av at evaporasjonen ble forhindret under plasten og dampen ble kondensert. Solenergien som ellers vil bli brukt til fordamping ble lagret i jorda. Kondensen har også en praktisk betydning da den hjelper med å holde dekket nede til jorda slik at det blir mindre utsatt for vær og vind. Kondenseringen var en respons til innkommende kortbølget solstråling, men dekket hindret utgående langbølget stråling fra bakken. Dessuten vil frøet ta til seg vannet og få høyere vanninnhold. I dette forsøket hadde de fleste frø et vanninnhold på over 30%. Da vil det også, som kjent, bli mer følsomt for varmen og bli lettere å uskadeliggjøre (Arora & Yaduraju, 1998). Tørre frø kan være resistente for temperaturer helt opp til 120°C , mens hydrerte frø ble drept ved 50°C (Rubin & Benjamin, 1984). Egley (1990) fant at ugrasfrø i tørr jord var tolerante for temperaturer helt opp til 60°C inntil 7 dager. Etter dette ble de fleste drept. I fuktig jord derimot overlevde 1-12 % av frøene av portulakk, *Amaranthus retroflexus* og villdurra 3 dager i 70°C . 4-30 % av frøene av linderose, *Ipomoea lacunosa* og de forannevnte artene overlevde 7 dager i 60°C . Ingen frø av ugrashamp eller *Xanthium strumarium* greide mer enn en halv dag ved 60°C .

Jordarbeiding etter solarisering bør begrenses da det reduserer effektiviteten av ugraskontrollen
(Almasoom *et al.*, 1993)

Forsøksresultater med damping

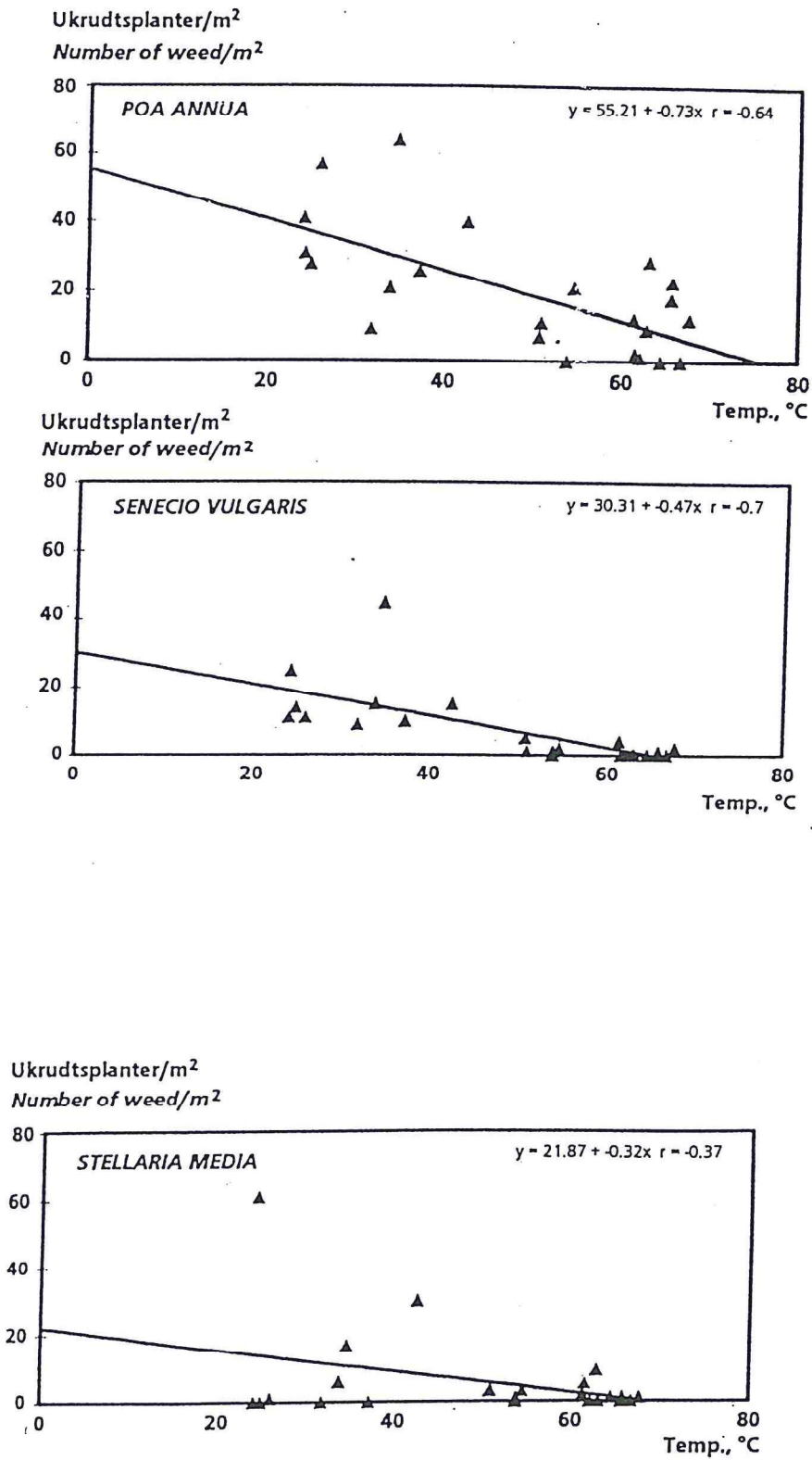
Både Ravn (1916) og Roll-Hansen (1949) stadfester at damping har en drepende effekt på ugrasfrø som ligger i jorda. Da er jorda varmet opp til 85-95 °C i omtrent en time. På en planteskole i Grimstad ble dampingsteknikken tatt i bruk med hell i 1998. Dampdybden er 7-8 cm og temperaturen i jorda kommer opp i 70-80 °C (Mongstad, 1998).

I et nyere forsøk i Danmark, sesongene -92 og -93, ble artene tunrapp, tungras (*Polygonum aviculare*), bakkeveronica (*Veronica arvensis*), vassarve (*Stellaria media*) og åkersvineblom (*Senecio vulgaris*) undersøkt for varmetoleranse. Antallet ble registrert 5 og 19 uker etter såing. Da var damp- og flammebehandling utført umiddelbart etter såingen. I 1992 viste det seg at 5-6 minutter med damp (ca. 55 l damp pr. minutt pr. m² ved ca. 0,25 bar) var tilstrekkelig til å bekjempe både ett- og tofrøbladete ugras i 5 uker etter såing. Fire måneder etter såing hadde dampingen stadig like god effekt på tunrapp, men redusert effekt (60-70 %) på tofrøbladet ugras (Bødker & Noye, 1994).

Tabell 2: Den relative effekt av damp på antallet og vekten av forskjellige ugrasarter ved henholdsvis registreringsdatoene 7/7 og 14/10 (Bødker & Noye, 1994).

	<i>Polygonum aviculare</i>				<i>Poa Annua</i>				<i>Veronica arvensis</i>				Andet tokimbl <i>Other dicotyledons</i>				Gennemsnit <i>Average</i>				
	Vægt		Antal		Vægt		Antal		Vægt		Antal		Vægt		Antal		Vægt		Antal		
	Weight	Number	Weight	Number	Weight	Number	Weight	Number	Weight	Number	Weight	Number	Weight	Number	Weight	Number	Weight	Number	Weight	Number	
	7/7	14/10	7/7	14/10	7/7	14/10	7/7	14/10	7/7	14/10	7/7	14/10	7/7	14/10	7/7	14/10	7/7	14/10	7/7	14/10	
Ubehandlet	0	-	0	-	0	0	0	0	0	-	0	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Damp, 3 min.	80	-	86	-	100	67	100	77	82	-	92	-	81	76	75	45	82	69	92	70	
Damp, 6 min.	100	-	100	-	97	97	97	97	100	-	100	-	97	67	94	41	98	89	97	84	
Damp, 9 min.	100	-	100	-	100	96	100	94	100	-	100	-	93	70	91	43	96	90	98	82	
Damp, 12 min.	100	-	100	-	100	91	100	89	100	-	100	-	94	84	97	61	97	89	99	83	
lbeh./10 m ²	1316	-	62	-	311	2218	316	622	387	-	164	-	2169	764	142	196	4182	2982	684	818	
LSD	ns		ns		ns	ns	ns	ns	ns		ns		ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	

Figur 1 : Antallet av ugrasplanter/m² som funksjon av jordtemperaturen i 2,5 cm dybde for tre ugrasarter (Bødker & Noye, 1994).



Figur 1 viser at ugrasartene har ulik overlevelsessevne overfor denne behandlingen.

Åkersvineblom og vassarve bekjempes effektivt ved oppvarming til 60 °C, hvilket jordtemperaturen var etter ca. 3 minutters damping, mens temperaturen derimot bør være enda litt høyere for tunrapp. I tillegg indikerer dette forsøket at vassarve er noe lettere å bekjempe enn åkersvineblom.

Også for damping er det viktig at jorda er fuktig (Ministry of Agriculture and Fisheries, London 1945). Den skal imidlertid ikke være våt, da dampingen vil ta unødige lang tid fordi alt vannet må varmes opp. Jorda må dessuten være godt løsnet og smuldret slik at dampen kan trenge så langt ned i jordlagene som mulig (Roll-Hansen, 1949).

Konklusjon for ugrasfrø

Varmebehandling av jord, enten i form av solarisering eller damping, kan nedsette/forhindre spiring av ugrasfrø. Da forutsettes det at temperaturen frøene utsettes for, er høyere enn en "kritisk verdi" (det foreslås 50-80 °C) og varer en over en viss tid. Dessuten må frøene være imbibert (ha trukket fuktighet). Det er generelt dårlig virkning på tørre frø.

Varmens virkning er riktignok avhengig av ugrasart. Likevel ser det ut for at varmebehandling i form av damping av jord, avhengig av artene i ugrasfrøbanken, vil kunne fungere som et godt alternativ eller supplement til kjemisk bekjempelse. Metoden bør prøves ut.

Virkning av varme mot nematoder

Varmebehandling har i lang tid vært brukt for å sanere nematodesmitte i planter og plantedeler (Bridge 1987, Maas 1987, Whitehead 1998). Brenning av halm og stubb praktiseres enkelte steder som bekjempningsmetode av nematoder (Maas 1987). I varme klimatyper brukes solarisering som bekjempelsesteknikk, hvor fuktig jord dekkes til med plast ca. én måned. Oppvarming fåes her i første rekke gjennom redusert utstråling (Maas 1987). Bestråling av jord med mikrobølger har blitt prøvd eksperimentelt i enkelte felt. Mikrobølger har imidlertid lav evne å penetrere jord, metoden er kostbar, og er også forbundet med sikkerhetsrisikoer (Maas 1987). Prosessrelatert oppvarming av nematodesmittet material skjer regelmessig innen håndteringen av avløps slam og i kompostering.

Den hyppigste anvendelsen av varme i bekjempelse av nematoder skjer i veksthus ved damping av dyrkingssubstratet (Maas 1987). Det finnes foreløpig svært lite dokumentasjon om damping av feltarealer mot nematoder.

Problemstilling

Effektiviteten ved varmeterapi mot nematoder i jord påvirkes bl.a. av:

- Nematodenes vertikalfordeling
- Letaltemperatur
- Nematodenes evne å migrere
- Oppformeringshastighet
- Skadeterskel

Nematodenes vertikalfordeling

Nematodearter som er parasitter på overjordiske plantedeler er begrensede til de helt øverste delene av jordprofilen, mens rotparasittære nematoders fordeling følger fordelingsmønstret av vertsplantenes rotsystem. Nematoder kan derfor finnes på store dyp, men vanligvis i svært lave populasjonstettheter. Generelt avtar populasjonstetthetene raskt under 40 cm dybde (Banck 1997, Haydock & Perry 1998). Potetcystencmatoden (PCN) når, i likhet med de fleste andre nematoder, de høyeste populasjonstetthetene i området fra overflaten ned til plogdybde (Widdowson 1962).

Letaltemperatur

Den letale effekten av varmebehandling på nematoder er et produkt av temperatur og eksponeringstid. For planteparasittære nematoder er det i litteraturen rapportert minimumstemperaturer for letalitet på 43,5-57,0 °C . Letaltemperaturen er bl.a. avhengig eksponeringstid og type av materiale (Maas 1987, Ambjørnrud 1995, Whitehead 1998). I temperaturintervallet 43,5-53,0 °C trengs i plantevev eksponeringstider på 10-60 minutter (Maas 1987, Whitehead 1998). I slam og vann drepes PCN på 2 minutter ved 53 °C og på 15 sekunder ved +57 °C (Ambjørnrud 1995). For hygienisering av maskiner, kasser og annet utstyr for PCN anbefaler Planteforsk Plantevernet at det i enhver punkt nåes en temperatur på minst 60 °C i en tid av 2 minutter.

Nematodenes evne å migrere

Nematodenes migrering i jord påvirkes av kroppslengde, porefordeling og feltpotensiale (Wallace 1962). Generelt har ikke nematoder noen større evne å bevege seg på kort tid over lengre distanser i jorden. Nematodenes aktive spredning er bare 10-20 cm pr. måned (Wallace 1963).

Oppformeringshastighet

Generasjonstiden for rotparasittære nematoder varierer mellom 6 dager (*Cephalenchus*) inntil 19 uker (*Longidorus elongatus*), og én hunn kan produsere over 500 egg (Norton 1978). PCN har en oppformeringsgrad på 30-150 ganger avhengig av startpopulasjonsnivå (Magnusson 1999).

Skadeterskel

For flere planteparasittære nematoder gjelder at skadeterskelen er lav. For PCN ligger denne verdien på 1-3 egg pr. gram jord på mottakelig potet (Magnusson 1999). For havrecystenematode (*Heterodera avenae*) er skadeterskelen lavere enn 1 egg pr. gram jord for havre og vårhvete, og inntil 3 egg pr. gram jord på mottakelig bygg (Holgado *et al.* 1999). For nålnematoder på jordbær regnes med en skadeterskel på 3-5 ind. pr. 250 gram jord (Planteforsk upubl.).

Effekt av varme

Brenning av halm og stubb brukes som bekjempningsmetode mot grasfrøgallnematoden *Anguina agrostis* i gras i U.S.A og Australia. Metoden brukes også mot bladnematoden *Aphelenchoides besseyi* og nematoden *Ditylenchus angustus* i ris i Asia og på Madagaskar (Maas 1987).

Damping av dyrkingssubstrat i veksthus har stor betydning innen enkelte produksjoner. God bekjempelse av *Pratylenchus penetrans* er gjennomført i veksthusproduksjon av hodesalat (Planteforsk upubl.) ved å applisere damp under presenning og ”suge” dampen 80 cm ned gjennom dyrkingssubstratet til et fast installert rørsystem med undertrykk (Fig.1-2).

Resultat fra varmeapplisering til feltarealer ved å dekke overflaten med plast, såkalt solarisering, er de eneste eksemplene på god effekt av varmeterapi mot nematoder på større arealer. Man har rapportert om smittereduksjoner på 50% for *Pratylenchus thornei*, 23-76% for *Heterodera carotae*, og på 95% for *Globodera rostochiensis*. Effekten av solarisering er vanligvis størst i de øverste 10 cm jord. Ingen effekt er registrert under 25 cm dybde (Whitehead 1998).

Konklusjon for nematoder

Disse eksemplene indikerer at varmebehandling av jord kunne være en alternativ miljøvennlig måte å redusere smittenivået av skadelige nematoder i feltarealer. Behandlingen gjøres før såing eller planting av årlige kulturer. Hvis damp injiseres i plogdybde vil nematodene fra dette øverste jordlaget ha liten mulighet å kunne migrere til dypere nivåer i jordprofilen. Den eksponeringstid som kreves forkortes raskt ved temperaturer over 50 °C . Det er derfor viktig at den operative temperaturen vesentlig overstiger 60 °C. Det er ikke mulig med damping å utrydde nematodene i jorden, men teknikken kan være tilstrekkelig effektiv for å holde populasjonene under skadeterskelen. Planteparasittære nematoder har ofte en god oppformeringssevne og en lav skadeterskel. Det er derfor hensiktsmessig hvis behandlingene kunne gjentas før hvert dyrkingsår.

Litteratur

- Almasoom, A.A., Saghir, A.R., Itani, S., 1993. Soil solarization for weed management in UAE. *Weed Technology* 7/2: 507-510.
- Ambjørnrud, H.M. 1995. Tiltak for å hindre spredning av potetecystenematoder ved utnyttelse av avfallsstoffer fra potetindustrien. Hovedoppgave i kommunalteknikk. Institutt for Tekniske Fag, NLH. 25 sider.
- Arora, A., Yaduraju, N.T., 1998. High-temperature Effects on Germination and Viability of Weed Seeds in Soil. *J. Agronomy & Crop Science* 181: 35-43.
- Arora, D.K., Pandey, A.K., Srivastva, A.K., 1996. Effects of heat stress on loss of C, germination and pathogenicity from chlamydospores of *Fusarium oxysporum* f.sp.*ciceri*. *Soil Biology & Biochemistry* 28: 399-407.
- Baker, K.F., 1950. Treatment of nursery soil for disease control. Part 3 of a discussion, "Some soil problems of nursery crops grown in containers", meeting of California Association of nurserymen, San Luis Obispo.
- Banck, A. 1997. Stubby root nematodes, *Trichodorus/Paratrichodorus* spp. in Swedish Agriculture. Report 7 SLU, Dept.of Plant Protection Sciences Alnarp Sweden. Sid. 1-24.
- Basalloteureba, M.J., Melerovara, J.M., 1993. Control of garlic white rot by soil solarization. *Crop Protection* 12: 219-223.
- Ben-Yephet, Y., 1988. Control of sclerotia and apothecia of *Sclerotinia sclerotiorum* by methan-sodium, metyl bromide and soil solarization. *Crop Protection* 7: 25-27.
- Bollen, G.J., 1968. The selective effect of heat treatment on the microflora of a greenhouse soil. *Neth. Journal of Plant Pathology* 75: 157-163.
- Bollen, G.J., 1974. Fungal recolonization of heat-treated glasshouse soils. *Agro-ecosystems* 1: 139-155.
- Bollen, G.J., 1985. Lethal temperatures of soil fungi. I Ecology and management of soilborne plant pathogens, ed. Parker, C.A., Rovira, A.D., Moore, K.J., Wong, P.T.W., Kollmorgen, J.F., The American Phytopathology Society, s. 191-193.
- Braun, M., Koch, W., Stiefvater, M., 1987. Solarisation zur Bodesanierung-Möglichkeiten und Grenzen. *Gesunde Pflanzen* 39: 301-309.
- Bridge, J. 1987. Control strategies in subsistence agriculture. I: Brown, R.H. & Kerry, B.R. (red.). *Principles and Practice of Nematode Control in Crops*. Acad. Press (Marrickville NSW). Sid. 389-420.
- Burges, A., 1963. Problems in soil microbiology. *Trans. Brit. Mycol. Soc.* 46: 1-14.
- Burges, A., 1965. The soil microflora – its nature and biology. I Ecology of soil-borne plant pathogens, ed. Baker, K.F., Snyder, W.C., University of California Press, s.21-31.
- Bødker, L., Noye, G., 1994. Effekten af varmebehandling af overfladejord i nåletræssåbede overfor ukrudt og rodpatogene svampe. SP rapport nr.7, 11. Danske Planteværns-konference: 239-247.
- Chellemi, D.O., Olson, S.M., Mitchell, D.J., 1994. Effects of soil solarization and fumigation on survival of soilborne pathogens of tomato in Northern Florida. *Plant Disease* 78: 1167-1172.
- Dawson, J.R., Johnsen, R.A.H., Adams, P., Last, F.T., 1965. Influence of steam/air mixtures, when used for heating soil, on biological and chemical properties that affect seedling growth. *Ann. App. Biol.* 56: 243-251.
- Dumas, M.T., Greifenhagen, S., Halicki-Hayden, G., Meyer, T.R., 1998. Effect of seedbed steaming on *Cylindrocladium floridanum*, soil microbes and the development of white pine seedlings. *Phytoprotection* 79: 35-43.
- Bødker, L., Noye, G., 1994. Effekten af varmebehandling af overfladejord i nåletræssåbede

- overfor ukrudt og rodpatogene svampe. SP rapport nr. 7, 11. Danske Planteværnskonference: 239-247.
- Bødker, L., Noye, G., 1994. Effekten af varmebehandling af overflatedjord i nåletræssåbede overfor ukrudt og rodpatogene svampe. SP rapport nr. 7, 11. Danske Planteværnskonference: 239-247.
- Egely, G. H.- 1983 Weed seed and seedling reduction by soil solarization with transparent polyethylene sheets. *Weed. Sci.*:31:404-409.
- Egely, G. H. 1990 High-temperature effects on germination and survival of weed seed in soil. *Weed Sci.*:38:429-435.
- Elmore, C. L. 1983 Solarization for weed control in vegetable crops. *Abs. Weed Sci. Soc. Am.* 32.
- Fykse, H., Sjørnsen H. 1994. Forelesningar i herbologi. I. Ugras. Biologiske og økologiske Egenskaper. 2. Utgåve.
- Garrett, S.D., 1955. Microbial ecology of the soil. *Trans. Brit. Mycol. Soc.* 38: 1-9.
- Greenberger, A., Yogev, A., Katan, J., 1987. Induced suppressiveness in solarized soils. *Phytopathology* 77: 1663-1667.
- Juarezpalacios, C., Felixgastelum, R., Wakeman, R.J., Paplomatas, E.J., DeVay, J.E., 1991. Thermal sensitivity of 3 species of *Phytophthora* and the effect of soil solarization on their survival. *Plant Disease* 75: 1160-1164.
- Gruenzweig, J.M., Rabinowitch, H.D., Katan, J., 1993. Physiological and developmental aspects of increased plant growth in solarised soils. *Ann. App. Biol.* 122: 579-591
- Haydock, P.P.J. & Perry, J.N. 1998. The principles and practice of sampling for the detection of potato cyst nematodes. I: Marks, R.J. & Brodie, B.B. (red.) Potato Cyst Nematodes. Biology, Distribution and Control. CAB International (Wallingford, UK). 61-74.
- Horowitz, M., Regev, Y., Herzlinger, G., 1983. Solarization for weed control. *Weed Sci.* 31: 170-179.
- Holgado, R., Magnusson, C. & Hammeraas, B. 1999. Forekomst av cystenematoder Heterodera spp. i kornfelt i Norge – Foreløpige resultater. Grønn Forskning 1/99. Sid. 112-121.
- Katan, J., 1981. Solar heating (solarization) of soil for control of soilborne pests. *Annu. Rev. Phytopathology* 19: 211-236.
- Keinath, A.P., 1995. Reductions in inoculum density of *Rhizoctonia-solani* and control of belly rot on pickling cucumber with solarization. *Plant Disease* 79: 1213-1219.
- Kreutzer, W.A., 1965. The reinfestation of treated soils. I se ref. 9, s. 495-507.
- LeBihan, B., Soulas, M.L., Camporota, P., Salerno, M.I., Perrin, R., 1997. Evaluation of soil solar heating for control of damping-off fungi in two forest nurseries in France. *Biology and fertility of soils* 25: 189-195.
- Linke, K-H., 1994. Effects of soil solarization on arable weeds under Mediterranean conditions: control, lack of response or stimulation. *Crop Protection* volume 13/2: 115-120.
- Lopezherrera, C.J., Verduvaliente, B., Melerovara, J.M., 1994. Eradication of primary inoculum of *Botrytis cinera* by soil solarization. *Plant Disease* 78: 594-597. Ministry of Agriculture and Fisheries, London, 1945. Soil sterilization. Advisory leaflet 319.
- Maas, P.W.Th. 1987. Physical methods and quarantine. I: Brown, R.H. & Kerry, B.R. (red.). Principles and Practice of Nematode Control in Crops. Acad. Press (Marrickville NSW). Sid. 265-291.
- Magnusson, C. 1999. Dyrkingsstrategi mot potetcystenematoder (PCN) Globodera spp. Grønn Forskning 02/99: 87-97.

- Ministry of Agriculture and Fisheries, London, 1945. Soil sterilization. Agricultural Engineering 16, no.2.
- Mongstad, E., 1998. Bruker damp framfor kjemikalier. Gartneryrket 11: 22-23.
- Newhall, A.G., Chupp, C., Guterman, C.E.F., 1931. Soil treatments for the control of diseases in the greenhouse and the seedbed. Cornell Extension Bulletin 217.
- Newhall, A.G., 1935. The theory and practice of soil sterilization. Agricultural Engineering 16, no. 2
- Newhall, A.G., 1940. Experiments with new electric devices for pasteurizing soils. Cornell University Agricultural Experiment Station, Bulletin 731.
- Norton, D.C. 1978. Ecology of Plant Parasitic Nematodes. John Wiley & Sons Inc. 268 sid
- Phillips, A.J.L., 1990. The effects of soil solarization on sclerotial populations of *Sclerotinia sclerotiorum*. Plant Pathology 39: 38-43.
- Porter, I.J., Merriman, P.R., 1985a. Evaluation of soil solarization for control of root diseases of rowcrops in Victoria. Plant Pathology 34: 108-118.
- Porter, I.J., Merriman, P.R., 1985b. Evaluation of soil solarization for control of clubroot of crucifers and white rot of onions in Southeastern Australia. I Ecology and management of soilborne plant pathogens, ed. Parker, C.A., Rovira, A.D., Moore, K.J., Wong, P.T.W., Kollmorgen, J.F., The American Phytopathology Society, s. 282-284.
- Pullman, G.S., DeVay, J.E., Garber, R.H., 1981. Soil solarization and thermal death: A logarithmic relationship between time and temperature for four soilborne plant pathogens. Phytopathology 71: 959-964.
- Ravn, F.K., 1916. Om jorddesinfektion. Gartner-tidende 32: 105-110.
- Roistacher, C.N., 1952. Methods used in sterilizing nursery flats. Pacific Coast Nurseryman 11 (5): 17, 34-36.
- Roistacher, C.N., Baker, K.F., 1956. An inexpensive multipurpose soil steamer. Phytopathology 46: 329-333.
- Roll-Hansen, J., 1949a. Damping av jord. A/L Norsk gartnerforenings forlag.
- Roll-Hansen, J., 1949b. Klumprotforsøk i nepe med midler spesielt til bruk i benk. Melding fra Statens Plantevern nr.3: 1-19.
- Ravn, F.K., 1916. Om jorddesinfektion. Gartnertidende 32: 105-110.
- Roll-Hansen, J., 1949. Damping av jord. A/L Norsk gartnerforenings forlag.
- Rubin, B., Benjamin, A., 1984. Solar heating of the soil: involvement of environmental factors in the weed control process. Weed Sci. 32: 138-142.
- Sauerborn, J., Linke, K-H., Saxena, M.C, Koch, W., 1989. Solarization, a physical control method for weeds and parasitic plants (*Orobanche spp.*) in Mediterranean agriculture. Weed Res. 29: 391-397.
- Standifer, L., Wilson, P.H., Porche-Sorbet, R., 1984. Effect of solarization on soil weed seed populations. Weed Sci 32: 569-573.
- Stapleton, J.J., DeVay, J.E., 1982. Effect of soil solarization on populations of selected soilborne microorganisms and growth of deciduous fruit tree seedlings. Phytopathology 72: 323-326.
- Stapleton, J.J., DeVay, J.E., 1984. Thermal components of soil solarization as related to changes in soil and root microflora and increased plant growth response. Phytopathology 74: 255-259.
- Tjamos, E.C., Paplomatas, E.J., 1988. Long-term effect of soil solarization in controlling *Verticillium* wilt of globe artichokes in Greece. Plant Pathology 37: 507-515.
- Thompson, A.J., Jones, N.E, Blair A.M, 1997. The effect of temperature on viability of imbibed weed seeds. Ann. Appl. Biol. 130/1: 123-134.
- Vizantinopoulos, S., Katranis, N., 1993. Soil Solarization in Greece. Weed Res. 33(3): 225-

230.

- Waksman, S.A., Starkey, R.L., 1923. Partial sterilization of soil, microbial activities and soil fertility. *Soil Science* 16: 137-157, 247-268 og 343-357.
- Warcup, J.H., 1951. Effect of partial sterilization by steam or formalin on the fungus flora of an old forest nursery soil. *Trans. Brit. Mycol. Soc.* 34: 519-532.
- Warcup, J.H., 1957. Studies on the occurrence and activity of fungi in a wheat-field soil. *Trans. Brit. Mycol. Soc.* 40: 237-262.
- Wallace, H.R. 1962. The movement of nematodes in relation to some physical properties of soil. I: Murphy, P.W. (red.) Progress in Soil Zoology. Butterworths (London). Sid. 59-64.
- Wallace, H.R. 1963. *The Biology of Plant Parasitic Nematodes*. Edward Arnold (Publishers) Ltd.(London). 280 sid.
- Whitehead, A.G. 1998. *Nematode Control*. CAB International (Wallingford, UK). 384 sid.
- Widdowson, E. 1962. The estimation of soil populations of *Heterodera rostochiensis* Woll. I: Murphy, P.W. (red.) Progress in Soil Zoology. Butterworths (London). Sid. 59-64.