



Mogelijkheden voor biologische onkruidbestrijding in biologische landbouwsystemen

P.C. Scheepens, C. Kempenaar & W. van der Zwerde

Plant Research International B.V., Wageningen
februari 2001

Nota 70

Inhoudsopgave

	pagina
Voorwoord	1
Samenvatting	3
1. Onkruidproblemen in biologische teelten: huidige bestrijding en knelpunten	5
2. Niet-selectieve biologische onkruid bestrijding	9
2.1 Bodembedekkende planten	9
2.2 Begrazing en zaadpredatie	9
3. Methoden die wisselen van selectief tot weinig selectief	11
3.1 Onkruidonderdrukkende rhizobacteriën	11
3.2 Endomycorrhiza	12
4. Selectieve biologische onkruidbestrijding	15
4.1 Inoculatieve biologische bestrijding met insecten of pathogenen	15
4.2 Inundatieve biologische bestrijding met bioherbiciden	15
4.3 Biologische bestrijding door een systeemmanagement-benadering	16
5. Conclusies en aanbevelingen over biologische onkruidbestrijding in biologische landbouwsystemen	17
Referenties	19
Bijlage I. Model voor berekening van de rentabiliteitsgrens voor investeringen in een biologisch bestrijdingsmiddel	2 pp.

Voorwoord

Biologische bestrijding (van onkruiden) wordt meestal gezien als een laatste redmiddel, als alle andere middelen hebben gefaald. Dit geldt tot nu toe zowel voor de gangbare landbouw als voor de biologische landbouw. Doel van dit literatuuronderzoek was om biologische onkruidbestrijding in zijn volle breedte te tonen en aan te geven wanneer welke methode toepasbaar is. Bij het zoeken van oplossingen voor onkruidproblemen kan dan op voorhand rekening worden gehouden met biologische bestrijding.

Er zijn nog geen kant-en-klare methoden beschikbaar voor biologische onkruidbestrijding. In alle gevallen gaat het om methoden of middelen die minimaal op middellange termijn (5-10 jaar) ontwikkeld of verder ontwikkeld moeten worden. Ook de integratie in teeltsystemen vergt voor iedere methode de nodige aandacht.

Samenvatting

Bij de bestrijding van onkruiden maakt de biologische landbouw bewuster dan de gangbare landbouw gebruik van preventieve maatregelen als bedrijfshygiëne, vruchtwisseling en grondbewerkingen buiten het groeiseizoen. In het groeiseizoen wordt zo veel mogelijk gebruik gemaakt van mechanische onkruidbestrijding door schoffelen, eggen en borstelen. Onkruid dat deze bewerkingen overleeft, zal met de hand moeten worden verwijderd. De grote arbeidsbehoefte voor dat handmatig wieden is een van de belangrijkste knelpunten in de biologische teelt van een aantal gewassen.

In de biologische landbouw wordt nauwelijks gebruik gemaakt van biologische onkruidbestrijding, terwijl enerzijds de grote knelpunten en anderzijds de veelheid aan biologische technieken anders zou doen vermoeden. In deze literatuurstudie zijn de sterke en zwakke punten van de meeste biologische methoden aangegeven zodat keuzes gemaakt kunnen worden in eerste instantie voor het onderzoek hoe biologische onkruidbestrijding in biologische teeltsystemen kan worden opgenomen.

Voor niet-selectieve bestrijding, gericht op vermindering van alle aanwezige onkruiden, kunnen bodembedekkende planten, grazende dieren en zaadpredatoren worden ingezet. Toepassing van bodembedekkende planten verdient nader onderzoek. Om concurrentieschade aan het gewas beperkt te houden, zullen tijdstip van zaai en tijdstip van onderwerken belangrijke factoren zijn. Het effect kan wellicht worden versterkt door bodembedekkers met een allelopatische (kiemremmende) werking te gebruiken.

Van methoden die gericht zijn tegen 1 of meer onkruiden of mogelijke vervanging van schadelijke door minder schadelijke soorten zijn het gebruik van groeiremmende rhizobacteriën (DRB) en endofytische schimmels (endomycorrhiza) onderzocht. Afhankelijk van de soort endomycorrhiza worden sommige planten in hun groei gestimuleerd, terwijl andere juist in hun groei geremd worden. Deze verschillen kunnen in principe worden gebruikt om gewenste planten (gewas) te stimuleren en ongewenste planten (onkruid) in hun groei te belemmeren. Vooralsnog ontbreekt echter een helder concept hoe het systeem over de jaren heen gestuurd moet worden om het gewenste effect te bereiken.

Groeiremmende rhizobacteriën (DRB) komen overal voor. Indien wortelstelsels ermee worden besmet, kan de groei van planten aanzienlijk worden geremd. Verder onderzoek naar toepassing van DRB in biologische teeltsystemen lijkt zeer de moeite waard. Een belangrijk pluspunt is, dat de bodem gebuifd is tegen ongunstige weersomstandigheden. Een minpunt is, dat de bacteriën vrijlevend in de bodem snel afsterven. Bij inoculeren van de bodem is toevoegen van een drager, bijvoorbeeld in de vorm van ondergewerkte gewasresten, essentieel.

In de selectieve biologische onkruidbestrijding wordt onderscheid gemaakt in éénmalige introductie van een aantastend organisme (inoculatieve bestrijding), periodieke inundatieve toepassing van bioherbiciden en systeem-management waarbij een epidemie vroeg in het seizoen wordt geïnitieerd door inoculatie of door het creëren van gunstige omstandigheden voor aantastende organismen. De inoculatieve methode ecologisch en economisch zeer attractief, maar is alleen toe te passen bij geïntroduceerde aantasters uit het oorsprongsgebied van eerder geïmporteerde onkruiden. De kosten voor ontwikkeling en toelating van bioherbiciden zullen in het algemeen te hoog zijn om middelen specifiek voor biologische teelten te ontwikkelen. Middelen die voor toepassing in gangbare systemen worden ontwikkeld, kunnen evenwel op toepasbaarheid in ecologische systemen worden beoordeeld.

In het kader van de systeem-management benadering is het aan te bevelen om aandacht te schenken aan perceelsranden als refugium voor pathogenen en fytofage insecten. Er ontbreekt nog veel kennis, maar het lijkt mogelijk om selectief aantasters van bepaalde schadelijke onkruidsoorten te stimuleren.

1. Onkruidproblemen in biologische teelten: huidige bestrijding en knelpunten

In 1998 telde Nederland volgens het CBS ongeveer 850 biologische landbouwbedrijven. Eind 1999 was dit aantal toegenomen tot ongeveer 1200 met een totaal grondoppervlak van 22.000 ha (dit is 1,2 % van het totale landbouwareaal in Nederland). De bedrijven kunnen onderverdeeld worden in veehouderijbedrijven (42% van het totale aantal bedrijven; gegevens 1999), akkerbouwbedrijven (24%), groenteteeltbedrijven (25%) en overige bedrijven (9%; o.a. boom- en bloembollenteelten). Ten opzichte van gangbare landbouwsystemen spelen onkruidproblemen een grotere rol.

Een onkruid is een plant of groep planten die op een bepaalde locatie (bijv. een landbouwperceel) interfereert met gestelde beheerdoelstellingen. Deze definitie houdt in dat de beheerder van de locatie een belangrijke rol speelt bij het classificeren van planten als onkruid. Onkruid slaat ook op plantensoorten waarvan individuen vaak een onkruidkarakter hebben.

De omvang van de onkruidproblematiek binnen de biologische landbouw verschilt per sector en per regio in Nederland. Zij is bijvoorbeeld beduidend geringer op een veehouderijbedrijf met relatief veel grasland-dat een gesloten gewasstructuur heeft, dan op een akkerbouwbedrijf met gewassen die (enige tijd) een open gewasstructuur hebben. Op zand- en dalgrond is de onkruiddruk in het algemeen groter dan op kleigrond. De onkruidproblematiek op akkerbouwbedrijven wordt algemeen als het grootste knelpunt voor omschakeling naar biologische landbouw beschouwd (Lefrink & Adriaanse 1998).

De omvang van de onkruidproblematiek in de biologische landbouw kan goed aangegeven worden aan de hand van inzet van handmatige onkruidbestrijding. Van der Weide (2000) schatte de totale tijdsinvestering voor handmatige onkruidbestrijding voor 1998 in de biologische landbouw op 223.000 uren. Deze uren kunnen niet gelijkmatig uitgesmeerd worden over een jaar, maar vallen vooral in de maanden mei en juni (omgerekend is dit 560 mensdagen aan werk in een periode van 9 weken). De benodigde uren handmatig wieden betekenen niet alleen tijdmatig gezien een grote inspanning maar ook financieel en logistiek, vanwege de schaarste op de arbeidsmarkt. Uit tabel 1 blijkt dat er grote verschillen zijn in inzet van handmatige onkruidbestrijding tussen gewassen. Gewassen als ui of peen met een relatief open gewasstructuur behoeven de meeste inzet van handmatige onkruidbestrijding. De getallen in Tabel 1 zijn een basis voor de risicoperceptie rondom onkruiden in de biologische landbouw.

Tabel 1. *Inzet van uren handmatige onkruidbestrijding in biologische teelten volgens Van der Weide (2000).*

Gewas(groep)	Areaal (ha)	Handwieden (uren per ha)		
		Flevoland	Landelijk	Biom-project (bedrijven in omschakeling)
Granen	3000	7	5	12
Aardappel	700	2	7	9
Suikerbiet	340	85	73	82
Peulvruchten	320	25	15	42
Ui	250	110	175	177
Peen	250	115	155	152
Koolsoorten	190	27	30	45
Bladgewassen	64		55	47

De omvang van de inzet van handmatige onkruidbestrijding in biologische gewassen wordt grotendeels bepaald door de dichtheid en schadelijkheid (concurrentievermogen) van de aanwezige onkruiden. Alhoewel verschillen in onkruidbezetting tussen teelten en bedrijven aanzienlijk kunnen zijn, kunnen wel onkruidsoorten aangewezen worden die dominant en meer dan gemiddeld schadelijk zijn. Uitgebreide statistieken zijn echter niet beschikbaar. In tabel 2 staat weergegeven een prioritering van belangrijke onkruiden door telers en teeltexperts op basis van schadelijkheid van het onkruid en relatieve inzet van bestrijding tegen het onkruid. De prioritering geeft niet zo zeer de relatieve dichtheid aan, maar de relatieve inspanningen die beheerders moeten doen om de soort te beheersen. Opvallend is dat in alle drie de kolommen van Tabel 2 vogelmuur (*Stellaria media*), akkerdistel (*Cirsium arvensis*) en melganzevoet (*Chenopodium album*) hoog scoren. Overblijvende onkruiden scoren gemiddeld hoger in biologische landbouw dan in gangbare landbouw.

Tabel 2. Prioritering van onkruidsoorten op basis van subjectieve weging van schadelijkheid van het onkruid en relatieve inzet van bestrijding tegen het onkruid door verschillende groepen van experts (biologische telers uit Flevoland en U.K. en de Europese situatie als referentie).

	Flevoland, biologische akkerbouw (Schotveld & Kloen 1996)	U.K., biologische groenteteelt (Peacock & Norton 1990)	Europese referentie, frequentie in gangbare akkerbouw (Schroeder et. al. 1993)
1	Vogelmuur (<i>Stellaria media</i>)	Vogelmuur	Melganzevoet
2	Klein hoefblad (<i>Tussilago farfara</i>)	Kweek (<i>Elymus repens</i>)	Vogelmuur
3	Akkermelkdistel (<i>Sonchus arvensis</i>)	Akkerdistel	Akkerdistel
4	Akkerdistel (<i>Cirsium arvensis</i>)	Zuring (<i>Rumex spp.</i>)	Varkensgras
5	Melganzevoet (<i>Chenopodium album</i>)	Melganzevoet	Straatgras (<i>Poa annua</i>)
6	Zwarte nachtschade (<i>Solanum nigrum</i>)	Akkerwinde (<i>Convolvulus arvensis</i>)	Hanepoot (<i>Echinochloa crus-galli</i>)
7	Varkensgras (<i>Polygonum aviculare</i>)		Kweek
8	Herderstasje (<i>Capsella bursa-pastoris</i>)		Akkerwinde

Biologische telers die een meerjaren-strategie volgen voor de beheersing van onkruid, zullen meer planten verwijderen dan uit oogpunt van gewasconcurrentie nodig is. Het motief hiervoor is het verminderen van de zaadvoorraad in de bodem. Volgens recent modelmatig onderzoek van Wallinga (1998) blijkt dit een zinvolle strategie omdat op de lange termijn de kosten zo het laagst zijn.

Onkruidbeheersing op biologische bedrijven begint met preventieve maatregelen. Een goede gewasrotatie is de basis van preventie. In zo'n rotatie komen regelmatig gewassen voor die een goede onkruidonderdrukkende werking hebben. Daarnaast worden rassenkeuze en teeltmaatregelen als grondbewerkingen, zaaïen en planten zodanig ingezet dat het gewas bevoordeeld wordt ten opzichte van de onkruiden. Niveau en plaatsing van meststoffen kunnen in principe de kieming en jeugdgroei van onkruiden beïnvloeden, maar in de praktijk wordt daar weinig rekening mee gehouden. Wel heeft de herkomst van de organische mest, met het oog op mogelijke aanwezigheid van onkruidzaden, aandacht van de teler. De onkruiden die vervolgens opkomen worden in eerste instantie mechanisch be-

streden via eggen, schoffelen of branden. Recentelijk zijn daar technieken bijgekomen die in gewasrijen onkruid kunnen bestrijden (bijvoorbeeld de vingervieder). De inzet van veel mechanische onkruidbestrijding is problematisch in gebieden die vorst- en erosiegevoelig zijn. Laatste in de rij van maatregelen is de inzet van handmatige onkruidbestrijding, die, uitgedrukt in mensuren, per gewas sterk verschilt (zie tabel 1). Het doel van onkruidbestrijding is om nagenoeg 100% bestrijding te krijgen, maar de realisatie hangt sterk af van de gewassenkeuze en beschikbare arbeidscapaciteit.

Uit bovenstaande kan afgeleid worden dat de grote behoefte aan handmatige onkruidbestrijding het grootste knelpunt is bij onkruidbestrijding in biologische landbouw. Dit is een gevolg van het feit dat de thans door de praktijk toegepaste systemen en bestrijdingsmethoden onvoldoende effectief zijn. De grote arbeidsbehoefte is financieel en organisatorisch een probleem. De uitweg lijkt verbetering van bestaande preventieve, mechanische en biologische technieken. Een recent overzicht wordt gegeven door Liebman & Davis (2000), die een integrale IPM aanpak nastreven met inzet van zo veel mogelijk biologische mechanismen tegen onkruiden. Op dit moment worden biologische bestrijdingsmethoden nog maar minimaal benut binnen de biologische landbouw. Dit komt o.a. doordat deze methoden nog onvoldoende ontwikkeld zijn. In potentie hebben zij de mogelijkheid om de algehele onkruiddruk te verlagen (via bijvoorbeeld bodembedekkers of allelopathische effecten) of onkruidsoorten selectief te bestrijden (via o.a. mycoherbiciden).

Verder zijn er specifieke onkruidproblemen, zoals bijvoorbeeld in peulvruchten waar giftige soorten als zwarte nachtschade (*Solanum nigrum*) niet getolereerd kunnen worden. Een ander voorbeeld vormen plaatsen die erosie- en vorstschadegevoelig zijn, waar om die redenen de inzetbaarheid van mechanische technieken beperkt is. Deze knelpunten worden onderschreven in de recentelijk gepubliceerde onderzoeksagenda voor Biologische Landbouw (Kloen & Daniels 2000). Ook hier zou biologische bestrijding uitkomst kunnen brengen.

Op de mogelijkheden van biologische onkruidbestrijding voor biologische landbouw wordt in dit rapport nader ingegaan. Oorspronkelijk zou dit literatuuronderzoek worden beperkt tot selectieve biologische onkruidbestrijding. Een vraag die hieraan vooraf gaat is of de biologische landbouw wel gediend is met zeer selectieve middelen, terwijl verwacht mag worden dat de soortenrijkdom zelfs groter zal zijn dan op gangbare bedrijven. Uiteindelijk is ervoor gekozen om een zo compleet mogelijk overzicht te geven van biologische onkruidbestrijdingsmethoden, die in werking variëren van zeer specifiek tot zeer breed.

2. Niet-selectieve biologische onkruidbestrijding

2.1 Bodembedekkende planten

Het telen van achtergrondgewassen (in het Engels aangeduid met 'cover crops' of 'living mulch') is vooral bekend vanuit de tropen. Het belangrijkste doel hierbij is om de bodem zo veel mogelijk bedekt te houden om erosie tegen te gaan. Achtergrondgewassen hebben ook een onkruidonderdrukkende werking. Ze concurreren echter ook met het gewas om water en nutriënten. Het is dus belangrijk om het juiste evenwicht te vinden tussen onkruidonderdrukking en concurrentie met het gewas. Rond 1980 werd in Nederland geëxperimenteerd met muurpeper (*Sedum acre*), een vetplantje dat met een oppervlakkig wortelstelsel weinig concurrentiekracht t.o.v. cultuurgewassen had, maar daardoor helaas als onkruidonderdrukker ook te wensen overliet (van Zon & Scheepens 1979; Groeneveld 1980). Later werd meer gekeken naar klaversoorten. In diverse veldexperimenten is gebleken, dat weliswaar een goede onkruidonderdrukking kon worden bereikt, maar ook aanzienlijke concurrentieschade aan het cultuurgewas. Zo werd met een ondergroei van klaver (*Trifolium repens* cv. Pertina of *T. subterraneum* cv. Geraldton) de opbrengst van witte kool (*Brassica oleracea*) met 15 - 43% gereduceerd (Lotz et al. 1997). Het negatieve effect op het cultuurgewas wordt bepaald door de gewassoort, maar ook door de soort bodembedekker, zaaitijdstip e.a. (Ammon & Müller-Schärer 1999; Brandsaeter et al. 1998).

Een andere benadering maakt gebruik van allelopatische effecten van de bodembedekker. Hierbij wordt de bodembedekker ondergewerkt voordat hij schadelijk wordt of zelfs voor zaai van het (tolerante) cultuurgewas. Ohno et al. (2000) lieten dit zien voor rode klaver (*Trifolium pratense*).

In zijn algemeenheid kan worden gesteld, dat de toepassing van bodembedekkers vooral als optie wordt gezien naast onkruidonderdrukking andere doelen worden nagestreefd, zoals voorkomen van erosie, nutriëntenuitspoeling of schade door trips.

Sterke punten bodembedekkers: breed werkingspectrum; gelijktijdige werking tegen bodemerosie, nutriëntenuitspoeling, insectenschade; geen registratie.

Zwakke punten bodembedekkers: concurrentie met cultuurgewas.

2.2 Begrazing en zaadpredatie

Begrazing door runderen, geiten en schapen wordt vooral gezien als een optie in het beheer van grasland. In zeer specifieke situaties (b.v. bij braak) zijn ze in gewassituaties inzetbaar (Popay & Field 1996). Hoewel deze dieren aantoonbaar kunnen leiden tot reductie van probleemonkruiden, veroorzaken ze zelf vaak weer andere problemen met onkruiden. Het blijft dus altijd zoeken naar de juiste balans, die kan worden beïnvloed door tijd en intensiteit van begrazing. Ganzen hebben in het algemeen een wat selectiever eetgedrag. Onderzochte toepassingsmogelijkheden zijn in katoen, aardbei, maïs, boomgaarden en wijndruif (Rogers 1974). Voor het gewenste effect moeten ze wel door middel van een omheining in hun bewegingsvrijheid worden beperkt.

Recentelijk (1998-2000) is bij het IAV de inzetbaarheid van kippen (mesthaantjes) bij de bestrijding van tarweopslag in de graszaadteelt onderzocht. De bedoeling was dat de kippen de uitgevallen zaden zouden oppikken voordat ze gingen kiemen. De effecten tegen tarwe varieerden van goed tot zeer matig; er was geen beschadiging aan het gewas gras (voor de zaadteelt). Een afrastering was nodig om de kippen op het gewenste perceel te houden.

Zaadetende insecten en kleine zoogdieren hebben soms een aanzienlijk effect op de hoeveelheid zaad in de bodem (o.a. Marino et al. 1997; Carmona et al. 1999; Swanton et al. 1999; Tooley et al. 1999).

Predatie vindt plaats als de zaden nog aan de plant zitten en nadat ze zijn gevallen. Swanton et. al (1999) kwantificeerden de effecten onder veldomstandigheden. Tot 40% predatie in een jaar is gemeten aan *Amaranthus* spp. vóór het uitvallen, en na uitvallen nam de dichtheid van melganzevoet en hanepoot (*Echinochloa crus-galli*) af met 3% per dag. Zij concludeerden dat predatie door insecten een behoorlijke impact kan hebben. De mate van predatie en de selectiviteit wordt onder andere beïnvloed door de aanwezige soorten insecten, het gewas en bodemeigenschappen. In Nederland is onlangs de zaadpredatie op een aantal ecologische akkerbouwbedrijven gemeten (Westerman 1999). De grootste consumptie trad op aan het begin van het seizoen. De betekenis is relatief groot voor soorten die over een lange periode zaad produceren (b.v. vogelmuur) en relatief klein voor soorten die hun zaad in een korte periode aan het eind van het seizoen produceren, zoals melganzevoet.

Sturing van zaadpredatie is in principe mogelijk met sommige cultuurmaatregelen, maar zal in de praktijk moeilijk zijn te realiseren.

Sterke punten grazers en zaadpredatoren: niet-selectief (breed scala aan onkruiden).

Zwakke punten grazers en predatoren: consumeert de meeste gewassen ook en daardoor in beperkt aantal gewassen inzetbaar; afrastering nodig (grazers en zaadetend pluimvee); soms schade aan cultuurgewas door vertrapping; moeilijk manipuleerbaar (zaadpredatoren).

3. Methoden die wisselen van selectief tot weinig selectief

In hoofdstuk 4 worden schimmels behandeld die op de bovengrondse delen van het onkruid worden aangebracht en selectief werken tegen één soort. Dit hoofdstuk gaat over schimmels en bacteriën die in de bodem rondom de wortels van het onkruid werkzaam zijn en slechts gedeeltelijk selectief zijn. In hoofdstuk 3.1 worden bacteriën behandeld die rondom de wortels leven en invloed hebben op de groei van het onkruid. In hoofdstuk 3.2 komen schimmels aan de orde die als zgn. endomycorrhiza met plantenwortels vergroeid zijn en zo een invloed hebben op de groei van de plant. In zijn algemeenheid is de werking van deze organismen minder selectief gericht op één soort en met een minder onmiddellijk effect, maar is er sprake van een veelzijdiger werking in de onkruidpopulatie. Beide systemen verkeren nog in de onderzoeksfase en het is nog af te wachten of ze de soms hooggespannen verwachtingen kunnen waarmaken.

3.1 Onkruidonderdrukkende rhizobacteriën

Van alle bacteriën die in de omgeving van de wortels (de zgn. rhizosfeer) leven gaat de aandacht in dit hoofdstuk slechts uit naar die soorten die een remmende werking hebben op de groei van onkruiden (de zogenoemde 'deleterious rhizobacteria', afgekort DRB).

De groeiremmende bodembacteriën zijn ontdekt bij gewassen, later zijn er mogelijkheden in gezien voor biologische bestrijding van onkruiden (Johnson et al. 1993; Kremer & Kennedy 1996). Voor het onkruid zwenkdravik (*Bromus tectorum*) in wintertarwe is de werking, ook onder veldomstandigheden, aangetoond. Er werd een reductie van zwenkdravik gevonden van maximaal 53 % en een stijging van de gewasopbrengst tot maximaal 35 % gemeten als gevolg van verminderde concurrentiekracht. Deze resultaten waren wel afhankelijk van het isolaat en de plaats van het proefveld. (Kennedy et al. 1991; Skipper et al. 1996).

De groeiremmende werking van deze DRB berust met name op het verminderen van de groei van wortels bij kiemende zaden, mogelijk door het uitscheiden van auxine-achtige stoffen (Sarwar & Kremer 1995).

Er zijn methoden beschreven om deze bacteriën uit de bodem te isoleren (Sugimoto et al. 1990; Kloepper et al. 1991). Zij kunnen in vitro worden vermeerderd en het is mogelijk een bacterie-suspensie in voren in de bodem aan te brengen voor infectie van de directe omgeving van de kiemwortel (Zablotowicz et al. 1991).

DRB behoren meest tot het genus *Pseudomonas*. Sommige soorten zijn soortspecifiek, andere zijn breder werkzaam en dan tegen plantensoorten uit verschillende families (Kremer & Kennedy 1996). Omdat ze op kiemende zaden aangrijpen zijn ze in principe geschikt voor de bestrijding van éénjarige soorten. Bij problemen met meerdere onkruidsoorten zouden zonodig meerdere soorten bacteriën gecombineerd kunnen worden toegediend. De overlevingstijd in de grond is vrij kort, zodat vermoedelijk meerdere keren na elkaar een bacterie-suspensie in de bodem aangebracht moet worden, tenzij het lukt een betere formulering te maken. Een groot voordeel t.o.v. de bladpathogenen is de veel mindere afhankelijkheid van weersomstandigheden.

Bij het al eerder aangehaalde werk aan de bestrijding van zwenkdravik in wintertarwe werden 1000 isolaten verkregen uit grond rondom de wortels van beide soorten. Er werd getest welke isolaten de groei van het gras remden en van de tarwe niet. In een laboratorium-test bleek dat voor 81 op te gaan.

In een vervolgt-test in een klimaatkamer bleven er van de 81 nog 6 over. In een kleinschalige veldtest bleven er nog 3 over en uiteindelijk in een grootschaliger veldtest nog 2, met het eerder vermelde effect. Uit deze cijfers blijkt het uitvoerbaar te zijn om bacteriën te selecteren met een selectieve werking. Voor een effectieve en bedrijfszekere toepassing van deze rhizobacteriën zal er vermoedelijk nog heel wat ontwikkelingswerk nodig zijn, voor stamselectie, formulering en toedieningswijze.

Het gebruik van deze bodembacteriën voor de biologische landbouw lijkt aanvaardbaar binnen de voor biologisch geteelde producten gestelde normen. Of hun ontwikkeling als bestrijdingsmiddel ook economisch haalbaar is, zal afhangen of ze al dan niet onder de bestrijdingsmiddelenwet vallen en of dus een uitgebreid en duur toelatingsonderzoek vereist zal worden.

Omdat er in de bodem geïnoculeerd moet worden, lijkt het gebruiken van DRB voor de bestrijding van kiemende onkruidzaden in de akkerbouw en vollegrondsgroententeelt goed inpasbaar. Daar is zij te combineren met groundbewerkingen als zaaibedbereiding en anaarden.

Kremer & Kennedy (1996) opperen de combinatie van DRB met andere vormen van biologische bestrijding, met name de combinatie met schimmels en met gewasresten (allelopathische effecten en deze resten als koolstofbron voor DRB).

Sterke punten van DRB: actief tegen éénjarigen; relatief weinig weersafhankelijk; in vitro te vermeerderen; inpasbaar in teeltmaatregelen; specifiek.

Zwakke punten van DRB: korte overlevingsduur (=herhaalde toepassing); soms specifiek; status registratieprocedure onbekend.

3.2 Endomycorrhiza

Bepaalde schimmels kunnen een soort wisselwerking aangaan met planten. Het meest bekend is de symbiose waar beide partners voordeel van hebben, zoals die met bomen voorkomt (de zgn. ectomycorrhiza). De schimmel voorziet de boom vooral met mineralen en krijgt er koolhydraten voor terug. Pas veel recenter blijkt bij zeer veel kruidachtige planten ook een wisselwerking met schimmels voor te komen. Dit zijn de zogenoemde endomycorrhiza. In de Engelstalige literatuur worden deze aangeduid met de termen "arbuscular mycorrhizal fungi" (afgekort AMF) en "vesicular arbuscular mycorrhiza" (afgekort VAM).

Wanneer een endomycorrhiza-vormende schimmel in contact komt met een plantenwortel, dringt deze door de cuticula heen en vormt intracellulair een boomvormig-vertakte structuur (vandaar arbuscular) en soms ook intercellulair blaasjes (vandaar vesicular). Via deze contactplaatsen vindt overdracht van stoffen plaats.

Mycorrhiza komen bij veel plantenfamilies voor en binnen één familie komen veel soorten voor die mycorrhiza vormen of slechts een enkele (Newman & Reddell 1987). Soms wordt een plantensoort slechts geïnfecteerd wanneer een andere soort in de buurt groeit. Zo vonden Hirrell et al. (1978) op melganzevoet, alleen dan mycorrhiza (en ook dan slechts maximaal in 5 % en bovendien nog slecht ontwikkeld ook) wanneer ze de planten kweekten in een pot waarin ook ui met mycorrhiza groeide. Rechtstreeks inoculeren lukte niet.

De wisselwerking tussen de schimmel en de plant kan positief zijn, neutraal of negatief (Johnson et al 1997). Over de interactie tussen endomycorrhiza en planten en de invloed daarvan op het samenleven van verschillende plantensoorten zijn in het algemeen ecologisch onderzoek al heel wat experimenten gedaan en is aandacht besteed aan theorievorming (Francis & Read 1995; Zobel & Moora 1997). In het meer toegepaste en landbouwkundige onderzoek is tot nu toe de aandacht meestal gericht geweest op

de voor de plant als gewas gunstige effecten in de vorm van verbeterde opname van mineralen en water en minder last van ziekteverwekkers, resulterend in een betere groei en hogere opbrengst (Dalpé 1997). Pas later is er aandacht gekomen voor de negatieve kant voor de plant van een relatie met een mycorrhiza-vormende schimmel. Dit zou een mogelijkheid kunnen bieden voor biologische bestrijding van een onkruid. In het ideale geval is het effect tweeledig en wel enerzijds door stimulering van de groei en dus het concurrentievermogen van het gewas, en anderzijds door een rechtstreekse benadeling van de onkruidgroei door de schimmel. Voorts kan er een verschuiving in de onkruidpopulatie optreden door verschil in de mate van beïnvloeding door endomycorrhiza van de verschillende onkruidsoorten.

Francis & Read (1995) geven b.v. aan dat melganzevoet geremd wordt door bepaalde mycorrhiza. Tezamen met andere plantensoorten die vooral op verstoorte plekken groeien (dus de typische akkeronkruiden) zouden ze daartoe beperkt worden door de verminderde aanwezigheid van mycorrhiza-vormende schimmel t.g.v. de verstoring (in de vorm van grondbewerking).

Mycorrhiza-vormende schimmels zijn compatibel of niet-compatibel met plantensoorten. In het eerste geval worden de planten waardplanten genoemd, in het tweede geval niet-waardplanten. Het niet-waardplant zijn voor mycorrhiza-vormende schimmels kan berusten op een afweer van de plant. Zo vonden Allen et al. (1989) bij loogkruid (*Salsola kali*), een versneld afsterven van de wortels als reactie op het binnendringen van de schimmel. Vierheilig et al. (1996) geven aanwijzingen voor een groei-remming van de schimmel door agglutinine dat door de grote brandnetel (*Urtica dioica*), een niet-gastheer, in de wortels gevormd wordt

Mycorrhiza-vormende schimmels hoeven niet steeds voor te komen in de vorm van een gewas dat waardplant is en een onkruid dat het niet is (dan profiteert het gewas en "lijdt" het onkruid). Allen et al. (1989) noemen de combinatie van de niet-waardplant biet (*Beta vulgaris*), met als waardplant het onkruid kweek (*Elymus repens*).

Het gebruik van kunstmest en bestrijdingsmiddelen in de huidige gangbare landbouw remt een succesvolle ontwikkeling van VAM. De biologische landbouw kent deze beperkingen niet. Kurlr & Pflieger (1994) vonden in het tweede jaar na omschakeling van een gangbaar systeem naar systemen met invoer van minder, of alleen organische stoffen niet veel invloed op VAM. Mogelijk bestaan er wel effecten op de langere termijn of na het enten van de bodem met VAM. VAM zijn niet zonder meer op kunstmatige voedingsmedia te vermeerderen. Er bestaan wel bedrijven die kweekmethodes hebben ontwikkeld.

Veelvuldige bodembewerkingen in de akkerbouw hebben een negatief effect op VAM. Om die reden lijken de VAM meer geschikt voor grasland. Zo veronderstellen Gange et al. (1999) mogelijkheden voor de bestrijding van straatgras (*Poa annua*) op golfbanen.

Marler et al. (1999) geven een voorbeeld van een sterk effect van VAM op de concurrentie tussen een niet-waardplant *Festuca idahoensis* en een exoot *Centaurea maculosa* die wel waardplant is. Alleen wanneer beide soorten tegelijkertijd voorkomen reageren ze op de mycorrhiza-vormende schimmel en wordt de inheemse *Festuca*-soort sterk benadeeld.

Vooralsnog ontbreken heldere concepten over de mogelijke toepassing van VAM voor onkruidbestrijding. De literatuur is nog te fragmentarisch, soms tegenstrijdig en zeker nog te veel theoretisch. Gezien de potentiële mogelijkheden verdient het zeker aanbeveling deze organismen op bruikbaarheid te toetsen.

Sterke punten VAM: niet al te specifiek; organische stof stimuleert; geen registratie als bestrijdingsmiddel nodig.

Zwakke punten VAM: wankel evenwicht met waardplanten; grondbewerking remt.

4. Selectieve biologische onkruidbestrijding

4.1 Inoculatieve biologische bestrijding met insecten of pathogenen

Bij de inoculatieve ('klassieke') biologische bestrijding wordt een selectief aantastend organisme éénmalig geïntroduceerd in een nieuw milieu. In de meeste gevallen gaat het om fytofage insecten, soms om pathogene schimmels uit het oorsprongsgebied van een eerder geïntroduceerde plantensoort. Er wordt in principe geen actie ondernomen om het insect of pathogeen in zijn verdere verspreiding te stimuleren of te hinderen. Na enkele jaren zal een evenwichtssituatie ontstaan bij een lagere dichtheid van het onkruid. Deze methode is aantrekkelijk door de relatief lage, éénmalige kosten. Helaas zijn de toepassingsmogelijkheden beperkt, omdat voor een succesvolle toepassing hoge eisen worden gesteld aan de aantaster en aan de stabiliteit van het milieu (Watson & Wymore 1996). Immers, de aantaster moet in staat zijn om hoge dichtheden te bereiken. Éénjarige onkruiden in akkerbouwgewassen zijn om laatstgenoemde reden een zeer moeilijk doel, omdat op de akker regelmatig verstoring plaatsvindt. De enige aansprekende praktijkvoorbeelden zijn bestrijding van *Chondrilla juncea* in de Australische tarwe-teelt met de schimmel *Puccinia chondrillina* (Cullen 1985) en van *Ambrosia artemisiifolia* met de kever *Zygo-gramma saturalis* in verschillende gewassen in Rusland, Kroatië, China en Australië (Reznik 1996). In beide gevallen komt het onkruid niet alleen in gewassen voor maar ook daarbuiten. Hierdoor weet de aantaster zich buiten het groeiseizoen te handhaven. Verder gaat het bij de bestrijding van *Chondrilla* om een schimmel die zich zeer effectief weet te verspreiden en bij de bestrijding van *Ambrosia* om een insect met excellente zoek- en verspreidings eigenschappen.

Sterke punten inoculatieve biologische bestrijding: éénmalige toepassing met permanent effect; minimale verstoring van ecosystemen; geen toelating i.v.m. de bestrijdingsmiddelenwet.

Zwakke punten inoculatieve biologische bestrijding: toepassingsmogelijkheden beperkt; langdurig onderzoek naar waardplantbinding nodig.

4.2 Inundatieve biologische bestrijding met bioherbiciden

Bij inundatieve biologische onkruidbestrijding wordt het effect van (meestal reeds in het milieu aanwezige) aantastende organismen versterkt door ze op een gewenst tijdstip massaal op het onkruid aan te brengen. Op deze wijze wordt vroeg in het seizoen een infectiedruk gecreëerd die van nature nooit of pas aan het eind van het seizoen optreedt. Een groot voordeel bij deze aanpak is, dat geen exotische organismen geïntroduceerd behoeven te worden en dus het tijdrovende onderzoek naar de selectiviteit grotendeels achterwege kan blijven. Selectiviteit is wel belangrijk, maar een minder stringente eis dan bij exotische organismen. In bepaalde situaties is het zelfs mogelijk om pathogenen met een zeer grote waardplantenreeks te gebruiken, zoals loodglans (*Chondrostereum purpureum*) tegen houtig opslag in Europa en *Sclerotinia sclerotiorum* tegen akkerdistel in Nieuw-Zeeland (de Jong 2000). In de teelt van akkerbouwgewassen zal evenwel het gewas niet aangetast mogen worden, waardoor de bruikbare organismen in principe zeer selectief zullen zijn.

Als het aanwezige onkruid is verdwenen, zal de populatie van het aantastende organisme weer tot het oorspronkelijke, lage niveau zakken. De toepassing zal daarom periodiek, in principe minimaal jaarlijks, herhaald dienen te worden. Dit houdt in, dat het organisme gemakkelijk moet zijn te vermeerderen en te verspreiden. Om die redenen worden meest schimmels (en bacteriën) gebruikt voor deze methode, omdat die vaak op eenvoudige substraten zijn te kweken en ook met conventionele spuitapparatuur zijn toe te dienen.

Na toelating van de eerste bioherbiciden in de USA rond 1980 was de verwachting dat het aantal nieuwe middelen snel zou toenemen. Deze verwachting is slechts zeer ten dele bewaarheid, vooral door de terughoudendheid van veel bedrijven om bioherbiciden te ontwikkelen en op de markt te brengen (Scheepens & Lotz 1994; Scheepens et al. 2001). De belangrijkste oorzaken hiervoor zijn onzekerheid over:

Omvang van de markt - Omdat het doel-onkruid onderdeel vormt van een onkruidflora, moet het bioherbicide meestal in combinatie met andere bestrijdingsmiddelen en -methoden worden toegepast. Meestal is niet goed te becijferen hoe groot het areaal is waar de combinatie tot de gewenste onkruidbestrijding leidt;

Ontwikkelingskosten - In veel gevallen heeft onderzoek kandidaat-pathogenen opgeleverd met voldoende selectiviteit en virulentie (vermogen om het onkruid te doden of sterk in groei te remmen). Indien de virulentie onvoldoende is, kan door toevoeging van synergisten de werkzaamheid vaak worden verbeterd. Om voldoende werkzaamheid onder een reeks van omstandigheden te waarborgen is juiste formulering een belangrijke succesfactor. Helaas is gebleken, dat een formulering die bij het ene pathogeen optimale werking garandeert, dat bij een ander pathogeen lang niet altijd doet. Hierdoor is per bioherbicide vaak een forse investering nodig;

Toelatingskosten - Ook al zijn de toelatingskosten lager dan die voor chemische bestrijdingsmiddelen, dan zullen ze voor de meeste bioherbiciden die voor een lokale markt zijn bestemd veel te hoog zijn.

Sterke punten inundatieve biologische bestrijding: selectieve werking; relatief onafhankelijk van onkruidichtheid en veel teelmaatregelen; gewenst effect wordt snel bereikt; herhaalde toediening geeft kansen voor commercialisering.

Zwakke punten inundatieve biologische bestrijding: selectiviteit betekent relatief kleine markt; toelating i.v.m. de bestrijdingsmiddelenwet nodig.

4.3 Biologische bestrijding door een systeemmanagement-benadering

De derde methode die wordt onderscheiden voor de selectieve biologische bestrijding van onkruiden beoogt het creëren van een epidemie van een aantastend organisme zodat binnen een seizoen schade door concurrentie wordt geminimaliseerd (Müller-Schärer & Frantzen 1996; Müller-Schärer et al. 2000). Dit kan gebeuren door buiten het veld aangetaste planten te laten overwinteren of vroeg in het seizoen een (relatief lage) dosering van het aantastende organisme aan te brengen, door zorgvuldige selectie binnen de pathogeenpopulatie zodat die overeenkomt met de vatbaarheid van de lokale onkruidpopulatie of door het manipuleren van de specifieke omstandigheden die voor infectie nodig zijn.

Bij inoculatieve biologische bestrijding is soms gedurende een aantal jaren na introductie een regionale herverdeling van het bestrijdend agens nodig. Feitelijk is dit een vorm van systeemmanagement met geïntroduceerde organismen. Dat het ook met inheemse aantastende organismen gaat, is o.a. gedemonstreerd door Phatak et al. (1983) bij de bestrijding van geel knolcypergras (*Cyperus esculentus*) met de schimmel *Puccinia canaliculata* en door Müller-Schärer & Frantzen (1996) bij de bestrijding van klein kruiskruid (*Senecio vulgaris*) met een andere roestschimmel *Puccinia lagenophorae*.

Sterke punten systeemmanagement-benadering: effectief als aanvulling voor inoculatieve bestrijding; beperkte hoeveelheid inoculum nodig; vermoedelijk geen toelating i.v.m. de bestrijdingsmiddelenwet.

Zwakke punten systeemmanagement-benadering: minder snel effect dan bij inundatieve bestrijding; gevoelig voor verstoringen; praktische toepassing nog weinig onderzocht.

5. Conclusies en aanbevelingen over biologische onkruidbestrijding in biologische landbouwsystemen

Bij de onkruidbestrijding in de (biologische) landbouw staan verschillende biologische methoden ter beschikking, die elk hun specifieke voordelen en beperkingen hebben. In de eerste plaats moet worden bezien of, al dan niet als aanvulling van reeds geplande onkruidbestrijding, er behoefte is aan een breedwerkende methode, een specifieke methode of iets er tussen in. In het voorgaande zijn de belangrijkste kenmerken, sterkten en zwakten van een aantal methoden genoemd. In het navolgende zal hier een waardeoordeel aan worden verbonden dat de huidige kennis en inzicht weerspiegelt.

Niet-selectieve biologische onkruidbestrijding

De toepassing van laagblijvende bodembedekkers kan op zich een doeltreffende methode zijn om onkruidgroei te onderdrukken, zeker met een soort als rode klaver die ook een zekere allelopathische werking heeft (scheidt iets uit via de wortels dat de kieming van onkruiden remt). In biologische landbouwsystemen zou het een welkom alternatief zijn voor mechanische bestrijding tussen de gewasrijen. Rode klaver zal hoe dan ook in toenemende mate ingezet moeten worden omwille van evenwichtige bemesting. Enkel tegen een aantal overblijvende onkruidsoorten is de onderdrukkende werking onvolgende. Het grote probleem is om concurrentieschade door de bodembedekker acceptabel te houden.

Het is aan te bevelen om ten behoeve van biologische landbouwsystemen onkruidonderdrukkende bodembedekkers nader te onderzoeken. Om concurrentieschade aan het gewas beperkt te houden, moet onderzoek worden gedaan waarbij tijdstip van zaai ten opzichte van het gewas en tijdstip van onderwerken belangrijke factoren zijn.

De mogelijkheden om gebruik te maken van grazers lijken voor de akkerbouw zeer beperkt. Hetzelfde geldt voor zaadpredatie door vogels of zoogdieren. Zaadpredatie door insecten biedt iets meer mogelijkheden. Door cultuurmaatregelen zouden aanwezige insecten die het cultuurgewas niet aantasten, gestimuleerd kunnen worden. Dit geldt zowel voor insecten die bovengronds als insecten die ondergronds actief zijn. Een helder beeld hoe dit zou kunnen, staat ons nog niet voor ogen.

Methoden die wisselen van niet-selectief tot selectief

Onderzoek aan onkruidonderdrukkende rhizobacteriën (DRB) is meest zeer recent; alle 'ins and outs' zijn dan ook nog lang niet bekend. Hoewel de selectiviteit per isolaat sterk kan variëren, ligt het voor de hand de bestrijding in eerste instantie te richten op één of enkele probleemsoorten. Een groot pluspunt is de werking via de bodem, een systeem dat in het algemeen beter tegen extreme weersomstandigheden is gebufferd dan de lucht bij bovengrondse toepassing van een bioherbicide. Omdat DRB in de bodem snel worden geïnactiveerd, dient een geschikte drager aanwezig te zijn.

*Onderzoeken van onkruidonderdrukking door bacteriën in de rhizosfeer lijkt zeer de moeite waard, zeker als toelatingsprocedures kunnen worden omgeild. Het is aan te bevelen om dit onderzoek in eerste instantie te richten op enkele éénjarige probleemsoorten in de biologische landbouw waaronder vogelmuur (*Stellaria media*). Voor de bestrijding zou een meerjarenstrategie ontwikkeld moeten worden waarbij geleidelijk de zaadvoorraad wordt uitgeput. Gewasresten, zoals b.v. een ondergeploegde bodembedekker, zouden als drager kunnen fungeren.*

De voorgestelde strategie is waarschijnlijk minder aantrekkelijk voor gangbare teeltsystemen, omdat het alternatief chemische bestrijding effectiever zal zijn. De kansen liggen er vooral voor biologische teelten, waar elke besparing op handmatig wieden van belang is.

De ideeën die er bestaan over de toepassing van endomycorrhiza, zijn duidelijk nog niet geheel uitgekristalliseerd. De simpelste toepassing lijkt er voor te zorgen dat endomycorrhiza die de groei van het gewas bevorderen in voldoende mate aanwezig zijn. Desnoods kunnen ze met het zaai- of plantgoed worden geïnoculeerd. Een geleidelijke verandering van de soortensamenstelling van endomycorrhiza die de groei van bepaalde soorten stimuleert (de waardplanten) en die van andere planten remt (de niet-waardplanten) lijkt moeilijk realiseerbaar, zeker in landbouwsystemen waar regelmatig bodembewerkingen plaatsvinden.

Selectieve biologische onkruidbestrijding

Inoculatieve (klassieke) biologische bestrijding is ecologisch en economisch zeer attractief, omdat de kosten éénmalig zijn, de effecten blijvend en de verstoring van het milieu minimaal. In het algemeen gaat het hier om de bestrijding van geïntroduceerde onkruiden met predatoren, parasieten of ziekten uit het oorsprongsgebied. De methode is minder geschikt voor onkruiden die vrijwel uitsluitend op akkers voorkomen.

Het aantal geïntroduceerde onkruiden met een invasief karakter in Nederland is niet groot. Soorten die een dergelijk karakter hebben, zijn o.a. geel knolcypergras (*Cyperus esculentus*), papegaaienkruid (*Amaranthus retroflexus*) en fluweelblad (*Abutilon theophrasti*). Deze komen al in Nederland voor, maar zijn nog niet van grote economische betekenis. Indien zich mogelijkheden voordoen om inoculatieve biologische bestrijding toe te passen, zal een project in Europees verband aangepakt moeten worden, en zal zich zeker niet beperken tot de biologische landbouw.

Inundatieve biologische onkruidbestrijding blijft zeker een mogelijkheid om probleemonkruiden in de akkerbouw aan te pakken. Zolang de toelatingseisen en de daaraan verbonden kosten voor biologische bestrijdingsmiddelen op het huidige niveau blijven, is het ontwikkelen van specifieke middelen voor de biologische landbouw economisch niet haalbaar.

Het is aan te bevelen om van biologische onkruidbestrijdingsmiddelen die voor gangbare teeltsystemen worden ontwikkeld, ook de toepasbaarheid in biologische teeltsystemen te onderzoeken. Meeliften dus.

Van de eerder in tabel 2 genoemde probleemonkruiden zijn er dan kansen voor biologische bestrijding van akkerdistel, melganzevoet en straatgras, maar niet voor b.v. vogelmuur omdat daarvoor in gangbare systemen voldoende chemische alternatieven zijn. Van belang is wel, dat een geformuleerd biologisch bestrijdingsmiddel alléén toevoegingen bevat die in biologische teelten zijn toegestaan.

Over de systeemmanagement-aanpak is al veel geschreven, maar er zijn nog weinig praktische uitwerkingen. Er zijn enkele voorbeelden van inoculatie vroeg in het seizoen met roestschimmels of in het lab gekweekte insecten, die zich gedurende het seizoen verder verspreiden in het gewas.

Specifiek voor ecologische teeltsystemen is het aan te bevelen om perceelsranden beter te benutten als refugium voor pathogenen en fytofage insecten. Hiertoe moet eerst worden onderzocht van welke organismen een grote impact kan worden verwacht en vervolgens moeten de overlevingskansen voor deze organismen worden geoptimaliseerd. Hierbij zal ook moeten blijken of kan worden volstaan met lintvormige elementen van enkele m² breed naast de akker of dat elementen van veel grotere omvang (kleine akkers) nodig zullen zijn.

Bij de voorgestelde benadering zal eerst een stuk fundamenteel onderzoek nodig zijn voordat aan een praktijkklare oplossing kan worden gewerkt.

Referenties

- Allen M.F., E.B. Allen & C.F. Friese (1989)
Responses of the non-mycotrophic plant *Salsola kali* to invasion by vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. *New Phytologist* 111, 45-49.
- Ammon H.U. & H. Müller Schärer (1999)
Prospects for combining biological weed control with integrated crop production systems, and with sensitive management of alpine pastures in Switzerland. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz* 106, 213-220.
- Brandsaeter L.O., J. Netland & R. Meadow (1998)
Yields, weeds, pests and soil nitrogen in a white cabbage-living mulch system. *Biological Agriculture and Horticulture* 16, 291-309.
- Carmona D.M., F.D. Menalled & D.A. Landis (1999)
Gryllus pennsylvanicus (Orthoptera: Gryllidae): laboratory weed seed predation and within field activity-density. *Journal of Economic Entomology* 92, 825-829.
- Cullen J.M. (1985)
Bringing the cost-benefit analysis of biological control of *Chondrilla juncea* up to date. In: *Proceedings Vith International Symposium on the Biological Control of Weeds*, Vancouver Canada, 1984, 145-152.
- Dalpe Y. (1997)
Biodiversity of mycorrhizal fungi. Report of the Eastern Cereal and Oilseed Research Centre, Ottawa Canada for Third meeting of the Subsidiary Body on Scientific, Technical and Technological Advice 19 p. (http://res2.agr.ca/ecorc/fr/mycorrhiz/bio_sols.htm).
- Francis R. & D.J. Read (1995)
Mutualism and antagonism in the mycorrhizal symbiosis, with special reference to impacts on plant community structure *Canadian Journal of Botany* 73 supplement, S1301-S1309
- Gange A.C., D.E. Lindsay & L.S. Ellis (1999)
Can arbuscular mycorrhizal fungi be used to control the undesirable grass *Poa annua* on golf courses? *Journal of Applied Ecology* 36, 909-919
- Groeneveld R.M.W. (1980)
Methoden van onkruidbeheer in jonge beplantingen langs wegen. *Mededelingen Faculteit Landbouwwetenschappen, Rijksuniversiteit Gent*, 45, 1153-1164.
- Hirrell M.C., H. Mehravarán & J.W. Gerdemann (1978)
Vesicular-arbuscular mycorrhiza in the Chenopodiaceae and Cruciferae: do they occur? *Canadian Journal of Botany* 56, 2813-2817.
- Johnson B.N., A.C. Kennedy & A.G. Ogg (1993)
Suppression of downy brome growth by a rhizobacterium in controlled environments. *Soil Science Society of America Journal* 57, 73-77.
- Johnson N.C., J.H. Graham & F.A. Smith (1997)
Functioning of mycorrhizal associations along the mutualism-parasitism continuum. *New Phytologist* 135, 575-585.
- Jong M.D. de (2000)
The Biochon story: deployment of *Chondrostereum purpureum* to suppress stump sprouting in hardwoods. *Mycologist* 14, 58-62.
- Kennedy A.C., L.F. Elliott, F.L. Young & C.L. Douglas (1991)
Rhizobacteria suppressive to the weed downy brome. *Soil Science Society of America Journal* 55, 722-727.
- Kloen H. & L. Daniels (2000)
Onderzoeksagenda biologische landbouw & voeding. Platform Biologica en Wageningen UR.

- Kloepper J.W., W.F. Mahaffee, J.A. McInroy & P.A. Backman (1991)
Comparative analysis of five methods for recovering rhizobacteria from cotton roots. *Canadian Journal of Microbiology*, 37, 953-957.
- Kremer R.J. & A.C. Kennedy (1996)
Rhizobacteria as biocontrol agents of weeds. *Weed Technology* 10, 601-609.
- Kurle J.E. & F.L. Pflieger (1994)
Arbuscular mycorrhizal fungus spore populations respond to conversions between low-input and conventional management practices in a corn-soybean rotation. *Agronomy Journal* 86, 467-475.
- Lefterink J. & M. Adriaanse (1998)
Omschakelen: beren en bergen; Onderzoek naar de redenen van akkerbouwers en vollegrondsgroententelers om niet om te schakelen naar de biologische landbouw. IKC-rapport no. 106.
- Liebman M. & Davis A.S. (2000)
integration of soil, crop and weed management in low-external-input farming systems. *Weed Research* 40, 27-47.
- Lotz L.A.P., R.M.W. Groeneveld, J. Theunissen & R.C.F.M. van den Broek (1997)
Yield losses of white cabbage caused by competition with clovers grown as cover crop. *Netherlands Journal of Agricultural Science* 45, 393-405.
- Marino P.C., K.L. Gross & D.A. Landis (1997)
Weed seed loss due to predation in Michigan maize fields. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 66, 189-196.
- Marler M.J., C.A. Zabinski & R.M. Callaway Mycorrhizae indirectly enhance competitive effects of an invasive forb on a native bunchgrass. *Ecology* 80, 1180-1186.
- Müller-Schärer H. & J. Frantzen (1996)
An emerging system management approach for biological weed control in crops: *Senecio vulgaris* as a research model. *Weed Research* 36, 483-491.
- Müller-Schärer H., P.C. Scheepens & M.P. Greaves (2000)
Biological control of weeds in crops in Europe. *Weed Research* 40, 83-98.
- Newman E.I. & P. Reddell (1987)
The distribution of mycorrhizas among families of vascular plants. *New Phytologist* 106, 745-751.
- Ohno T., K. Doolan, L.M. Zibilske, M. Liebman, E.R. Gallandt & C. Berube (2000)
Phytotoxic effects of red clover amended soils on wild mustard seedling growth. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 78, 187-192.
- Peacock L. & Norton G.A. (1990)
A critical analysis of organic vegetable crop protection in the U.K. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 31: 187-197.
- Phatak S.C., D.R. Summer, H.D. Wells, D.K. Bell & N.C. Glaze (1983)
Biological control of yellow nutsedge with the indigenous rust fungus *Puccinia canaliculata*. *Science* 219, 1446-1447.
- Popay I. & R Field (1996)
Grazing animals as weed control agents. *Weed Technology*. 1996, 217-231.
- Reznik S.Y. (1996)
Classical biocontrol of weeds in crop rotation: a story of failure and prospects for success. In: *Proceedings IXth International Symposium on the Biological Control of Weeds*, Stellenbosch 1996, 503-506.
- Rogers W.P. (1974)
Honk if you eat weeds. *Organic Gardening and Farming* 21, 74-75.
- Sarwar M. & R.J. Kremer (1995)
Enhanced suppression of plant growth through production of L-tryptophan-derived compounds by deleterious rhizobacteria. *Plant and Soil*, 172, 261-269.
- Scheepens P.C. & L.A.P. Lotz (1994)
Perspectief voor biologische onkruidbeheersing. *AB-DLO Nota* 1, 34 pp.

- Scheepens, P.C., H. Müller-Schärer & C. Kempenaar (2001)
Opportunities for biological weed control in Europe. *BioControl* 53 (in druk).
- Schotveld E en Kloen H. (1996)
Onkruidbeheersing in multifunctionele vruchtwisseling. DLO-Instituut voor Agrobiologisch en bodemvruchtbaarheidsonderzoek. Rapport 74.
- Schroeder D., H. Müller-Schärer & C.S.A. Stinson (1993)
A European weed survey in 10 major crop systems to identify targets for biological control. *Weed Research* 33: 449-458.
- Skipper H.D., A.G. Ogg & A.C. Kennedy (1996)
Root biology of grasses and ecology of rhizobacteria for biological control. *Weed Technology* 10, 610-620.
- Sugimoto E.E., H.A.J. Hoitink & O.H. Tuovinen (1990)
Enumeration of oligotrophic rhizosphere pseudomonads with diluted and selective media formulations. *Biology and Fertility of Soils* 9, 226-230.
- Swanton C.J., J.T. Griffiths, H.E. Cromar & B.D. Booth (1999)
Pre- and post-dispersal weed seed predation and its implications to agriculture. Proceedings of an International Conference, Brighton, UK, 15-18 November 1999, pp. 829-834.
- Tooley J.A., R.J. Froud-Williams, N.D. Boatman & J.M. Holland (1999)
Weed seed predation in arable field margins by carabid beetles (Carabidae: Coleoptera). *Aspects of Applied Biology* 54, 211-216.
- Vierheilig H., B. Iseli, M. Alt, N. Raikhel, A. Wiemken & Th. Boller (1996)
Resistance of *Urtica dioica* to mycorrhizal colonization: a possible involvement of *Urtica dioica* agglutinin. *Plant and Soil* 183, 131-136.
- Wallinga J. (1998)
Dynamics of weed populations; spatial pattern formation and implications for control. Dissertatie Wageningen Universiteit, 99 pp.
- Watson A.K. & L.A. Wymore (1989)
Biological control, a component of integrated weed management. In: VIIIth International Symposium on the Biological Control of Weeds, Rome 1988, 101-106.
- Weide R. van der (2000)
Herbicidenvrije teelt, illusie of realiteit? Workshop Duurzame Vollegrondsgroenteteelt. PAV themaboekje 23, pp. 46-49.
- Westerman P. (1999)
Zaadverliezen bij onkruiden door zaadpredatie (1). Onderzoekberichten Gewas- en Onkruidecologie, Wageningen Universiteit, september 1999, 2 pp.
- Zablutowicz, R.M., E.M. Tipping, F.M. Scher, M. IJzerman & J.W. Kloepper (1991)
In-furrow spray as a delivery system for plant growth-promoting rhizobacteria and other rhizosphere-competent bacteria. *Canadian Journal of Microbiology* 37, 632-636.
- Zobel, M. & M. Moora (1997)
Plant coexistence in the interactive environment: arbuscular mycorrhiza should not be out of mind. *Oikos* 78, 202-208.
- Zon, J.C.J. van & P.C. Scheepens (1979)
Current status of biological weed control. Proceedings EWRS-Symposium, Mainz 1979, 325-331.

Bijlage I.

Model voor berekening van de rentabiliteitsgrens voor investeringen in een biologisch bestrijdingsmiddel

I.1 Uitgangspunten:

- Om een biologisch onkruidbestrijdingsmiddel tegen een onkruid te ontwikkelen zijn investeringen nodig. De investeringen dienen terugverdiend te worden uit de inkomsten die het middel na introductie genereert.
- De inkomsten per ha die het middel kan genereren, hebben een plafond. Zij zullen nooit hoger zijn dan de kosten die nu aan onkruidbestrijding besteed worden, tenzij er andere zaken doorheen gaan spelen zoals arbeidsschaarste of positieve neveneffecten op gewas of milieu.
- Aan de hand van de kosten per ha die nu besteed worden aan onkruidbestrijding en de verwachte effectiviteit van een biologische middel kan een inschatting gemaakt worden hoe groot de afzet moet zijn (in aantal ha) om de investeringen in een biologisch middel terug te verdienen.

I.2 Financiële vergelijking biologische bestrijding met huidige bestrijding

Voor een dergelijke analyse gericht op de biologische landbouw is informatie nodig over de kostenstructuur huidige onkruidbestrijding, de te verwachten effectiviteit van het biologisch bestrijdingsmiddel en de ontwikkelingskosten voor het biologisch bestrijdingsmiddel.

- *Kostenstructuur onkruidbestrijding*- Informatie over huidige kosten voor bestrijding per ha zijn te vinden in KWIN¹. Deze kosten zijn opgebouwd uit verschillende componenten:
 - Preventieve maatregelen (b.v. vals zaaibed): **P**
 - Mechanische bestrijdingsmethoden (b.v. eggen): **M**
 - Fysische bestrijdingsmethoden (branden) : **F**
 - Handmatig wieden: **W**
 - Biologisch bestrijding: **B**

B is opgebouwd uit een component Ontwikkelingskosten (Investeringskosten) en een component Productie- en Toedieningskosten

 - Totale kosten onkruidbestrijding per ha: **P + M + F + W + B** (gulden/ha)
- *Verwachte effectiviteit van het biologische bestrijdingsmiddel* - Hiervoor wordt een schatting gemaakt. De inzet van biologische bestrijding maakt, dat overige posten dalen met een bepaald percentage.
- *Omvang investeringen voor ontwikkeling biologisch onkruidbestrijdingsmiddel* - Ook hiervoor wordt een schatting van de kosten gemaakt, inclusief die voor registratie.

¹ Kwantitatieve Informatie Akkerbouw en Vollegrondsgroenteteelt 2000-2001. Publicatie Nr. 102, PAV Lelystad.

1.3 Ontwikkelingskosten biologisch bestrijdingsmiddel

Vanwege het geringe aantal middelen dat wereldwijd op de markt is, kunnen de ontwikkelingskosten niet nauwkeurig worden geschat. Zij zullen, afhankelijk van o.a. de ontwikkelduur en regelgeving, per land sterk kunnen verschillen. In het model zijn daarom verschillende waarden aangegeven.

Het Excel-rekenmodel bestaat uit twee tabellen. Tabel 1 geeft aan welk bedrag jaarlijks vervangen kan worden door een biologisch onkruidbestrijdingsmiddel bij een gegeven mate van effectiviteit van bestrijding (relatief t.o.v. concurrerende methoden). Aangezien een biologisch onkruidbestrijdingsmiddel selectief is en in principe vooral zal worden ingezet tegen dominante soorten, kan van een effectief middel een effectiviteit van 10 - 60% worden verwacht. In Tabel 2 wordt berekend hoe groot het areaal moet zijn om de ontwikkelingskosten in 10 jaar terug te verdienen. De kosten voor productie en toediening van het biologisch bestrijdingsmiddel worden bij de berekening op 200 gulden / ha gesteld.

Tabel 1. Bedrag dat jaarlijks per ha vervangen kan worden door een biologisch onkruidbestrijdingsmiddel, gerelateerd aan de effectiviteit van het middel en de huidige bestrijdingskosten. Variabelen zijn vet weergegeven.

Effectiviteit biologisch middel (% reductie kosten onkruidbestrijding)	Kosten onkruidbestrijding in biologische landbouw (P+M+F+W+B)	
	Wintertarwe 400	Uien 8000
1	4	80
3	12	240
10	40	800
30	120	2400
60	240	4800
90	360	7200

Tabel 2. -Areaal (ha) dat nodig is om een investering in een biologisch bestrijdingsmiddel in 10 jaar terug te verdienen. Variabelen zijn vet weergegeven.

2a. Middel voor toepassing in **wintertarwe**, kosten bestrijding 400 gulden/ha.

Effectiviteit biologisch middel (% reductie kosten onkruidbestrijding)	Ontwikkelingskosten biologisch bestrijdingsmiddel (gulden)		
	5.E+05	5.E+06	5.E+07
1	-	-	-
3	-	-	-
10	-	-	-
30	-	-	-
60	1250	12500	125000
90	313	3125	31250

2b. Middel voor toepassing in **uien**, kosten bestrijding 8000 gulden/ha.

Effectiviteit biologisch middel (% reductie kosten onkruidbestrijding)	Ontwikkelingskosten biologisch bestrijdingsmiddel (gulden)		
	5.E+05	5.E+06	5.E+07
1	-	-	-
3	1250	12500	125000
10	83	833	8333
30	23	227	2273
60	11	109	1087
90	7	71	714