



Claudio Aloï, Mario Arteconi, Lucio Filippini,
Chiara Sargiotto, Isagro Ricerca Srl - Novara
Fedor Jelusic, Guido Martignoni, Flavio Storace
Isagro BioFarming Srl - Corbetta (Milano)
lpfilippini@isagro.it

MICROORGANISMI PER LA DIFESA DELLE PIANTE

L'utilizzo di microrganismi per la difesa delle piante sta trovando un crescente interesse applicativo per il controllo dei fitopatogeni fungini e dei nematodi che si annidano nel terreno causando rilevanti danni alle colture agricole, soprattutto in vista del bando del bromuro di metile, ad oggi il mezzo di controllo principe per questi nemici delle piante.

I microrganismi rappresentano una delle maggiori cause di perdita economica dell'attività agricola ma, allo stesso tempo, stanno anche diventando un valido e affidabile ausilio per una sostenibile difesa delle piante, utilizzabili in alternativa oppure in associazione con i tradizionali agrofarmaci sintetici, che vengono così usati in modo più razionale ed in misura minore. Sfruttando la naturale competizione tra ceppi microbici oppure la loro aggressività verso specie differenti (per esempio, la capacità di alcune specie fungine di parassitizzare alcuni insetti) è, infatti, possibile contribuire qualitativamente e quantitativamente all'incremento della produzione agricola (1).

Cenni storici

L'impiego di microrganismi per la difesa delle colture si è imposto come un'affascinante prospettiva fin dalla prima metà del Novecento, con la scoperta delle proprietà insetticide del *Bacillus thuringiensis*. Questa attività biologica è dovuta ad un "assortimento" di proteine insetticide specificamente prodotto da ciascuna varietà di *Bacillus thuringiensis* ed in grado di assicurare un selettivo controllo di determinate specie di insetti (Tabella 1). Il successo del *Bacillus thuringiensis* è stato perciò assicurato soprattutto dalla sua completa innocuità verso uomo e mammiferi, caratteristica certamente non condivisa dagli insetticidi generalmente in uso a quell'epoca.

Da allora l'attenzione per le possibilità di utilizzare microrganismi in sostituzione, almeno parziale, degli agrofarmaci di sintesi è cre-

sciuta parallelamente alla spinta verso un uso più accorto dei prodotti chimici in agricoltura al fine di minimizzarne i possibili effetti dannosi sull'ambiente.

È negli anni Ottanta che si registra un forte incremento delle attività di ricerca nel campo della lotta biologica ed, in particolare, di quella microbiologica. In questo periodo, oltre ai batteri, anche numerosi microrganismi fungini suscitano l'interesse da parte dei ricercatori come possibili agrofarmaci naturali.

Inizialmente ricevono un notevole impulso le ricerche sui funghi definiti entomopatogeni perché in grado di infettare selettivamente alcune specie di insetto. Sono ad esempio identificati la *Beauveria* ed il *Metarhizium*, che recentemente hanno trovato una valida applicazione rispettivamente nella lotta ai maggiolini (regioni alpine) ed alle locuste (Africa).

Successivamente l'attenzione è stata concentrata anche su funghi in grado di antagonizzare i microrganismi fitopatogeni presenti nel terreno. La società Siapa, la cui esperienza in questo settore è oggi confluita nel gruppo Isagro, è stata tra i pionieri nello sviluppo commerciale di tali biofungicidi in Italia, ad esempio, sviluppando in collaborazione con il Divapra dell'Università di Torino, un ceppo di *Fusarium oxysporum* non fitopatogeno in grado di antagonizzare efficacemente molti *Fusaria* fitopatogeni.

L'impiego di microrganismi fungini per la lotta agli insetti ed alle malattie della parte aerea delle piante (quali, ad esempio, l'oidio e la botrite), ha invece registrato risultati agronomici a volte incoraggianti, ma quasi mai risolutivi, richiedendo la necessaria

integrazione del prodotto biologico con prodotti chimici tradizionali, anche se a dosaggio ridotto. Al contrario, il particolare campo di applicazione della lotta ai patogeni presenti nel terreno è risultato di maggiore interesse applicativo per quanto riguarda i microrganismi fungini, soprattutto perché permette di inserire il fungo utile nel suo habitat naturale ed in condizioni ambientali sicuramente più stabili dal punto di vista, ad esempio, di temperatura ed umidità, rispetto alle parti epigee delle piante: ciò elimina almeno in parte alcuni dei problemi applicativi che si pongono su superfici soggette a temperature elevate e/o repentine perdite di umidità come foglie, frutti, o corpi di insetti (2). Queste condizioni particolarmente favorevoli permettono di raggiungere con mezzi di difesa biologici livelli di efficacia assolutamente in linea, quando non addirittura superiori, rispetto ai tradizionali fungicidi di sintesi (3).

Il loro utilizzo in associazione con prodotti di sintesi consente inoltre efficaci sinergie nelle applicazioni al suolo in quanto il prodotto chimico, più rapido nell'azione, può garantire un significativo abbassamento del livello di infezione consentendo una più efficiente colonizzazione da parte del microrganismo utile. A questo viene quindi demandato il presidio a lungo termine dell'apparato radicale della pianta, ottenibile con il prodotto di sintesi tradizionale soltanto con dosi applicative molto elevate.

Tabella 1 - Principali prodotti a base di proteine insetticide del *Bacillus thuringiensis* (B.t.)

Microrganismo produttore delle proteine insetticide	Bersaglio	Principali produttori
<i>B.t. kurstaki</i>	Larve di lepidotteri	Valent, Isagro Biofarming, Thermo Trilogy, Ecogen Inc.
<i>B.t. aizawai</i>	Lepidopteri (nottue)	Valent
<i>B.t. aizawai</i> (ceppo transconiugante)	Lepidopteri (nottue)	Thermo Trilogy
<i>B.t. kurstaki</i> (ceppo transconiugante)	Coleotteri	Certis
<i>B.t. morrisoni</i>	Coleotteri	Valent, Thermo Trilogy
<i>B.t. morrisoni</i>	Coleotteri	
<i>B.t. kurstaki</i> (ceppo ricombinante)	Lepidotteri/coleotteri	Certis
<i>B.t. kurstaki</i> (ceppo ricombinante)	Larve di lepidotteri	Certis
<i>Pseudomonas fluorescens</i> esprimente geni di <i>B.t. kurstaki</i>	Larve di lepidotteri	Mycogen
<i>Pseudomonas fluorescens</i> esprimente geni di <i>B.t. morrisoni</i>	Coleotteri	Mycogen
<i>Israelensis</i>	Ditteri (larve di zanzare)	Valent, Thermo Trilogy

Come agiscono

I microrganismi possono agire attraverso numerosi modi d'azione, i più frequenti riportati in Tabella 2. Questi modi d'azione sono di fatto riconducibili ad un utilizzo di sostanze chimiche specifiche, prodotte in loco dal microrganismo stesso ed utilizzate secondo strategie peculiari per ciascuna specie (ad esempio, interferenza con il metabolismo del fitopatogeno oppure della pianta, lisi di pareti cellulari, abbassamento delle difese innate del fitopatogeno stesso ecc.).

Si deve quindi riconoscere che l'uso di microrganismi rappresenta soprattutto una rivoluzione di tipo logistico nella lotta ai parassiti delle piante, comportando la produzione di una o più sostanze attive (enzimi, macrocicli, sostanze aromatiche ecc.) da parte di nano-fabbriche microbiche in prossimità del parassita da controllare, in sostituzione della preparazione di prodotti chimici in macro scala in macro-fabbriche, successivamente veicolate verso il luogo di applicazione attraverso una lunga sequenza di movimentazioni.

Come agenti microbici sono attualmente commercializzati funghi, batteri e virus, mentre i settori di applicazione riguardano in particolare il controllo dei funghi fitopatogeni, degli insetti e dei nematodi. Poco diffusi sono ancora i prodotti microbici per applicazioni erbicide (5-7).

Tabella 2 - Principali modi d'azione di microrganismi utilizzati nella difesa delle piante

- Competizione:** l'antagonista colonizza il terreno e compete con successo per lo sfruttamento di alcuni nutrienti presenti in quantità limitata ed essenziali al patogeno per il suo sviluppo o per l'attacco parassitario, oppure per l'occupazione fisica della rizosfera e dei siti d'infezione sulla pianta
- Antibiosi:** l'antagonista produce e libera nel terreno metaboliti che inibiscono lo sviluppo del patogeno (9, 10)
- Parassitismo (o iperparassitismo, o micoparassitismo):** è l'attacco diretto del fungo antagonista ad altre particolari specie di funghi. Si tratta di un meccanismo altamente specifico, fondato su un'attrazione chimica e un sistema di riconoscimento, che portano l'antagonista a sviluppare il proprio micelio addossato al micelio o agli organi di sopravvivenza (sclerosi) del patogeno; ed alla produzione di enzimi litici (chitinasi) in grado di digerire e lesionare le pareti delle cellule del patogeno
- Induzione delle difese naturali della pianta:** il microrganismo rilascia sostanze in grado di indurre l'espressione di geni della pianta ospite, responsabili della biosintesi di sostanze

Tabella 3 - Principali micoinsetticidi

Fungo	Bersaglio	Produttore
<i>Beauveria bassiana</i>	Cavalette, mosca bianca coleotteri	Troy Biosciences
<i>Beauveria bassiana</i>	Ostrinia	Npp (Calliope)
<i>Beauveria bassiana</i>	Afidi, mosche bianche, tripidi	Mycotech Corp.
<i>Beauveria brognarti</i>	Melolonta	Andermatt Biocontrol, Kwizda
<i>Verticillium lecanii</i>	Mosche bianche, tripidi, afidi	Koppert
<i>Metarhizium anisopliae</i>	Oziorinco	Bayer
<i>Metarhizium flavoviridae</i>	Cavalette	Cabi
<i>Paecilomyces fumosoroseus</i>	Mosche bianche	Biobest
<i>Lagenidium giganteum</i>	Larve di zanzare	Agraquest

I bioinsetticidi microbici

Nonostante il citato interesse iniziale, soltanto alcuni ceppi appartenenti ai generi *Metarhizium*, *Beauveria* e *Verticillium* hanno avuto un significativo sviluppo commerciale tra il centinaio di specie fungine entomopatogene note dalla letteratura. L'impiego dei micoinsetticidi, infatti, è stato ostacolato dalla criticità delle condizioni di impiego soddisfatte solo dalle applicazioni in serra, oltre alla relativa lentezza d'azione che talvolta non argina sufficientemente il danno alle colture.

I funghi entomopatogeni sono comunque utilizzati nella lotta contro gli afidi e le mosche bianche, soprattutto su colture ad alto valore aggiunto come ortaggi e ornamentali, dove la lotta chimica ha registrato problemi di resistenza oppure è osteggiata per il timore di un'eccessiva persistenza residuale (in Tabella 3, alcuni micoinsetticidi commerciali) (8).

I baculovirus sono invece virus entomopatogeni altamente selettivi poiché in grado di infettare una singola specie di insetti. Efficaci nel caso di popolazioni di insetti a medio-bassa pressione, possono non

essere in grado di contenere efficacemente il danno causato dalle larve per la lenta azione infettante, quando in presenza di forti livelli di infestazione. Tra i prodotti oggi commercializzati con successo, citiamo il baculovirus prodotto dalla ditta Valent, per il controllo della *Cydia pomonella*, un lepidottero infestante i meli.

Biofungicidi

I biofungicidi sono tuttora una parte trascurabile del mercato complessivo dei fungicidi. In Europa, ad esempio, le vendite di fungicidi microbici sono stimate essere l'1% del mercato totale (nella Tabella 4 sono elencati alcuni biofungicidi per il controllo dei patogeni terricoli). Il loro utilizzo, infatti, è stato eccessivamente penalizzato da un'affidabilità a volte dipendente dalle condizioni ambientali e pedologiche, ma ampiamente controbilanciata dai frequenti, eccellenti controlli di patogeni ipogei, quali il *Fusarium sp.*, il *Pythium sp.*, la *Rhizoctonia sp.*, con livelli di efficacia a volte superiori e comunque generalmente prossimi a quelli ottenuti con i prodotti chimici tradizionali. In aggiunta, come già riportato nella parte introduttiva, anche la scarsa efficienza dei micofungicidi nelle applicazioni fogliari ha contribuito ad offuscare le reali potenzialità di questa tecnologia.

L'eliminazione del bromuro di metile dagli impieghi agricoli, prevista per la fine del 2005, potrebbe invece rappresentare un'opportunità per un loro significativo sviluppo, particolarmente in associazione con prodotti chimici in grado di incrementare l'affidabilità del risultato agronomico. Analogamente, un'ulteriore importante opportunità di sviluppo potrebbe essere rappresentata dal controllo dei marciumi post-raccolto (Tabella 5) a seguito della crescente richiesta di frutta esente da residui chimici, unitamente alla resistenza ai tradizionali prodotti chimici sviluppata dagli agenti che causano i marciumi. Sono infatti già stati selezionati alcuni agenti microbiologici (es. il lievito *Candida oleophila*) che, da soli o in miscela con dosi molto ridotte di fungicidi di sintesi, sembrano consentire un'accettabile controllo del patogeno.

Tabella 4 - Alcuni biofungicidi registrati contro i patogeni terricoli

Microrganismo	Bersaglio	Principali produttori	Registrato in:
<i>Gliocladium virens</i>	<i>Rhizoctonia</i> , <i>Pythium</i>	Sierra	Usa
<i>Streptomyces griseovirides</i>	<i>Fusarium</i> , <i>Pythium</i>	Kemira Agro	Unione Europea
<i>Phlebiopsis gigantea</i>	<i>Heterobasidion annosum</i>	Kemira Agro	Finlandia, Norvegia, Danimarca
<i>Trichoderma spp.</i>	Tattamento semi	Agrimm	Nuova Zelanda
<i>Trichoderma viride</i> e <i>trichoderma harzianum</i>	Tattamento semi, fitopatogeni	ipogei Isagro Biofarming	Unione Europea
<i>Verticillium dahliae</i>	Dutch elm disease	Heidemij	Paesi Bassi
<i>Trichoderma polysporum</i> e <i>trichoderma harzianum</i>	Fitopatogeni ipogei	Binab	Svezia
<i>Coniothyrium minitans</i> e <i>sclerotinia minor</i>	<i>Sclerotinia sclerotiorum</i>	Prophyta	Germania, Ungheria
<i>Bacillus subtilis</i>	<i>Pythium</i> , <i>Rhizoctonia</i> , <i>Fusarium</i>	Gustafson	Usa
<i>Pseudomonas fluorescens</i>	<i>Fusarium sp.</i>	S&G Seeds	Paesi Bassi

Tabella 5 - Principali biofungicidi registrati contro i marciumi post-raccolto e contro le malattie della parte aerea delle piante

Microrganismo	Bersaglio	Principali produttori	Registrato in:
<i>Candida oleophila</i>	Marciumi post-raccolto	Ecogen Inc.	Usa, Israele
<i>Ampelomyces quisqualis</i>	Mal bianco	Ecogen	Usa, Italia
<i>Trichoderma harzianum</i>	Botrite	Makteshim	Israele, Usa, Grecia, Svizzera, Romania, Ungheria, Croazia

Bionematocidi microbici

Per la loro elevata affinità agli ambienti ipogei, i prodotti microbiologici stanno anche registrando un crescente interesse come agenti per il controllo dei nematodi fitopatogeni. Il mercato mondiale dei nematocidi (ca. 560 milioni di dollari) è infatti generato per il 70% da bromuro di metile, il cui bando dagli usi agricoli è previsto per la fine del 2005 e nuove soluzioni sono attese dagli agricoltori. Come riportato nella Tabella 6, alcuni prodotti nematocidi a base di microrganismi sono già in commercio oppure in avanzata fase di sviluppo (9), ma un forte impegno di ricerca per nuove soluzioni microbiologiche è tuttora evidente.

I fattori critici

Nella ricerca di nuovi prodotti a base di assumono un'importanza cruciale i seguenti aspetti:

- la selezione di un ceppo oppure di una comunità di ceppi tra loro compatibili in grado di garantire un efficiente controllo di specie fitopatogene in un ampio spettro di situazioni ambientali;
- la messa a punto di un metodo fermentativo che consenta un costo accettabile del prodotto;
- la disponibilità di una formulazione che consenta una logistica competitiva;
- l'individuazione delle condizioni di applicazione che massimizzino il successo dell'applicazione.

La possibilità di produrre biomasse su ampia scala e realizzare industrialmente formulazioni con caratteristiche adeguate all'applicazione in campo sono state in molti casi una strozzatura fondamentale nel percorso di diversi microrganismi dotati di caratteristiche promettenti dalla ricerca sperimentale al pieno sviluppo industriale e commerciale.

Infatti, mentre ad esempio i batteri sporigeni, una volta trasfor-

mati in spore, rimangono in uno stato fisiologico di praticamente assoluta quiescenza, che ne consente l'essiccamento anche drastico, la sopravvivenza in matrici liquide a base olio (e quindi in assenza di scambi gassosi) e la possibilità di tipologie di formulazione abbastanza affini a quelle di tradizionali preparati chimici, i funghi presentano, da questo punto di vista, un quadro di problematiche piuttosto complesso.

In generale le spore fungine quiescenti necessitano di un minimo di scambi gassosi, e quindi sono difficilmente formulabili in olio, e comunque tendono all'asfissia anche in formulati liquidi a base acqua, una volta confezionati e sigillati.

Molto spesso risultano praticabili solo formulazioni secche, in polvere, granuli ecc. Tuttavia, non tutte le forme vitali del fungo presentano la stessa resistenza all'essiccamento (10).

Normalmente il micelio, la forma filamentosa con la quale in natura il fungo si diffonde nel terreno, perde rapidamente vitalità se essiccato. Più resistenti possono essere, a seconda delle specie, le varie forme di spore, e comunque in molti casi incidono fortemente sulla loro sopravvivenza non solo le modalità di essiccamento, ma anche le condizioni nelle quali esse vengono prodotte.

La maggior parte dei funghi di interesse come agenti di lotta biologica in agricoltura sono Deuteromiceti; per essi, il micelio è generalmente molto semplice da produrre in qualsiasi condizione, ed è sufficiente un supporto nutritivo adeguato per ottenerne la crescita sia in fermentazione sommersa sia in superficie. In molti casi, però, la sporulazione, e quindi la produzione di propaguli più resistenti e meglio disperdibili e formulabili, richiede condizioni colturali più stringenti, e per di più con un'ampia variabilità tra diverse specie, che raramente permette di trasferire da un fungo all'altro le esperienze

Tabella 6 - I nematocidi microbiologici registrati oppure in sviluppo

Microrganismo	Bersaglio	Principali produttori	Registrato in:
<i>Paecilomyces lilacinus</i>	Uova di nematodi, nematodi	Bioact Corporation	Filippine
<i>Myrothecium verrucaria</i>	Nematodi	Abbott	Usa
<i>Burkholderia (Pseudomonas)</i>	Cepacia, nematodi su soia	Stine Microbial Products	Usa
<i>Bacillus firmus</i>	Nematodi	Minerav	Israele



acquisite: non sempre i conidi (spore asessuate di propagazione) vengono prodotti in coltura sommersa, e nei casi in cui questo avviene può verificarsi che essi abbiano una ridotta resistenza all'essiccamento rispetto a conidi prodotti all'aria, quando non vi siano addirittura evidenti differenze morfologiche (11).

In altri casi la produzione di conidi in coltura sommersa può risultare agevole, ma successivamente il processo di essiccamento deve essere realizzato con metodiche tali da permettere alle spore di modificare ed ispessire la struttura della propria parete cellulare durante la disidratazione, per poter ottenere un prodotto dotato di buone caratteristiche di conservabilità (12). Tutte le problematiche descritte finora, in modo necessariamente molto sommario e solo per grandi linee, sono fortemente condizionanti per la scelta delle metodiche di processi produttivi industriali per prodotti a base di funghi.

Ove possibile, naturalmente, la produzione in mezzo di coltura liquido per fermentazione sommersa si fa preferire per facilità di trasferimento ad una scala preparativa industriale e la maggiore disponibilità di impianti per grandi volumi.

Tuttavia, per i motivi sopra accennati, questo tipo di processo, se applicato ad alcune specie di funghi, permette di ottenere grandi quantità di biomassa la quale però risulta difficilmente

formulabile e conservabile, ed in tal caso la scelta deve necessariamente rivolgersi verso procedimenti alternativi che consentano di ottenere rese elevate in biomassa di qualità.

Essenzialmente, in questi casi, ci si trova nella necessità di produrre conidi sviluppati all'aria, e quindi si tratta di mettere in atto fermentazioni di superficie, che possono essere realizzate su supporto sia solido sia liquido.

Le fermentazioni di superficie non sono identificabili strettamente con le fermentazioni su substrato solido (SSF), poiché queste comprendono anche substrati solidi agitati (ad esempio in processi di compostaggio, o in alcune produzioni alimentari tradizionali ecc.), mentre nella maggior parte dei casi le fermentazioni per la produzione di conidi sono statiche, e possono utilizzare, come si è detto, anche substrati liquidi.

Ovviamente, lo scaling-up del sistema, in superficie anziché in volume, risulta estremamente più dispendioso come ingombri e infrastrutture, per elementari motivi geometrici.

C'è poi una maggiore incidenza dei costi della manualità degli operatori, dovuta essenzialmente alla mancanza di tecnologie impiantistiche e di automazioni acquisite per questo particolare tipo di processi. Un ulteriore svantaggio risiede nella maggiore facilità di contaminazioni, poiché difficilmente si opera in condizioni sterili.

Tuttavia, le fermentazioni di superficie presentano anche alcuni aspetti vantaggiosi, che possono risultare di particolare interesse. Il più evidente è il bassissimo input energetico: il dispendio di energia del processo si limita in pratica a quello della sola termostatazione, essendo ridotti a zero quelli relativi ad agitazione ed ossigenazione. Da non trascurare anche il ridotto consumo di acqua, e quindi il modico scarico di effluenti (13).

In conclusione, sebbene siano da molti, e tutto sommato non a torto, considerate un passo indietro tecnologico rispetto alla fermentazione sommersa, le fermentazioni su substrato solido e di superficie si presentano oggi come un percorso obbligato per raggiungere rese produttive elevate per alcuni tipi di funghi, e l'ampliarsi degli studi e delle applicazioni, non solo in campo agronomico, di tali microrganismi potrebbe portare ad ulteriori sviluppi industriali di questo tipo di tecniche.

A sua volta, l'allargamento delle prospettive di industrializzazione dei processi avrebbe sicuramente ricadute positive sullo sviluppo della tecnologia impiantistica, contribuendo a ridurre sia le problematiche sia i costi.

Microorganisms for Crops Defense

An increasing attention is paid to microorganisms as a tool for an effective control of soilborne phyto-pathogens and nematodes, causative agents of a significant loss in crop yield. Methyl bromide ban from crop management is accelerating this approach, prompting selections of new, more effective strains and the optimization of fermentative and formulative technologies.

ABSTRACT 



Un esempio di sviluppo

Quale esempio di micofungicida presentiamo una miscela di due ceppi di *trichoderma* che Isagro sta sviluppando per il controllo di fitopatogeni ipogei.

I *Trichoderma* sono funghi saprofiti, molto comuni nei terreni a quasi tutte le latitudini, in particolare in suoli acidi e ricchi di sostanza organica. Si trovano spesso su legno e radici marcescenti come colonizzatori secondari, che intervengono cioè dopo che altri microrganismi hanno iniziato il processo di degradazione; come si è detto, svariati ceppi di questi funghi sono stati identificati come responsabili della repressività di certi terreni verso alcune malattie.

I due funghi presenti nella composizione in sviluppo, sono stati entrambi isolati da terreni italiani caratterizzati da repressività verso patogeni dei generi *Rhizoctonia* e *Sclerotinia*, e selezionati per la loro efficacia nella prevenzione di attacchi di *R. solani*, *Sclerotinia spp.*, *Thielaviopsis basicola*, *Pythium spp.* e *Phytophthora capsici*.

La specificità con la quale alcuni funghi antagonisti sono in grado di contrastare uno o più patogeni e non altri, può essere dovuta alla complessità e diversità dei meccanismi d'azione. In particolare, sono tre le ipotesi studiate per spiegare l'attività antagonistica di *Trichoderma* verso diversi patogeni, e tutte e tre si sono rivelate, nelle diverse situazioni, valide: la competizione, l'antibiosi e il parassitismo (Tabella 2). I due ceppi *Trichoderma harzianum* (ICC012) e *T. viride* (ICC080), selezionati per la capacità antagonistica nei confronti di *Rhizoctonia*, *Sclerotinia* e *Phytophthora capsici*, già da diversi anni oggetto di sperimentazione di campo, vengono oggi preparati in miscela, formulati come conidiospore in polvere.

Prove sperimentali di efficacia dei vari *Trichoderma* antagonisti contro svariati patogeni, e contro *Sclerotinia*, *Sclerotium* e *Rhizoctonia* in particolare, vengono condotte da tempo in ogni parte del mondo ed hanno prodotto una letteratura vastissima che conferma la validità di

questi mezzi biologici come efficaci difese dai funghi patogeni (2).

In particolare, la sperimentazione condotta da IsagroRicerca sulla miscela di I252 e T14-2, mostra una capacità di prevenzione delle malattie suindicate vicina a quella ottenibile con prodotti chimici: dall'80-90% in condizioni normali di infezione al 60-70% in terreni fortemente infetti (con 75-90% di mortalità in assenza di trattamenti). I risultati migliori si ottengono comunque su terreni preventivamente sterilizzati o disinfettati, per esempio per applicazione di fungicidi triazolici, quali il tetraconazolo, o fungicidi antiperonosporici, quali il benalaxyl, dove l'introduzione dell'antagonista impedisce la ricolonizzazione del terreno da parte del fungo patogeno, che altrimenti avviene generalmente in tempi rapidi.

Quale il futuro per questa tecnologia?

Ad oggi il mercato dei prodotti a base di microrganismi (5) è ancora notevolmente limitato rispetto al mercato globale degli agrofarmaci. È infatti ragionevole stimare un valore complessivo di vendite pari a 250-300 milioni di dollari, comprensivo dei prodotti a base di *Bacillus thuringiensis* che ne rappresentano la voce maggiore (ca. 75%).

Tuttavia il bando de bromuro di metile e le altre opportunità citate, unitamente ad una costante crescita delle tecnologie fermentative e formulative, spingono molte società ed organismi pubblici (tra cui la FAO) a prevedere ottimistiche crescite incrementali del settore anche del 10-15% per anno successivamente al 2005 contro una stagnazione del mercato degli agrofarmaci di sintesi. Al contrario, le grandi aziende focalizzate sullo sviluppo di colture geneticamente modificate sostengono che quest'approccio abbia oramai raggiunto il suo apice (6). Ai posteri l'ardua sentenza... (14). Sicuramente questo approccio è comunque sinergico alla ricerca di nuove strutture chimiche di origine naturale che possono essere isolate ed utilizzate tal quali oppure diventare prodotti capostipiti per nuove ricerche strutturali di principi attivi.

Bibliografia

- (1) F.R. Hall *et al.*, *Biopesticides: Use and Delivery*, Humana Press, May 1999.
- (2) R. Baker, *Canadian Journal of Plant Pathology*, 1986, **8**, 218.
- (3) M. Arteconi *et al.*, *Notiziario sulla protezione delle piante*, 1998, **8**, 145.
- (4) G.J. Boland *et al.*, *Plant-Microbe Interactions and Biological control*, Marcel Dekker Inc., 1998.
- (5) *Agrow*, *World Crop Protection News*, No. 272-290, 1997.
- (6) *New Horizons in Pest control (DS 105) (Agrow Reports)*, 1995.
- (7) *Biopesticides in Crop Protection (DS 95) (Agrow Reports)*, 1994.
- (8) H. Clark, *Entomophaga*, 1996, **41**, 41.
- (9) *Products and Opportunities in Nematode Control (DS 108) (Agrow Reports)*, 1995.
- (10) E. Aregger, *Journal of Invertebrate Pathology*, 1992, **59**, 2.
- (11) M.C. Rombach, *Entomophaga*, 1989, **34**, 45.
- (12) E.J. Ford *et al.*, *Phytopathology*, 1970, **60**, 124.
- (13) M. Raimbault, *Electronical Journal of Biotechnology*, 1998, **1**, 26.
- (14) A. Manzoni, *Ode "Il 5 maggio"*.