

Cesare Gessler¹, Monika Maurhofer¹, Ilaria Pertot²

Biologische Bekämpfung von Schadpilzen: Probleme bei der Umsetzung der Forschung in die Praxis

Biological Control of pathogenic fungi:
problems in the transfer from research to application

112

Zusammenfassung

Im vorliegenden Beitrag werden einige erfolgreiche und nicht erfolgreiche Beispiele für die Bekämpfung pflanzenpathogener Pilze mit lebenden Organismen analysiert, und die Unterschiede zur meist erfolgreicher biologischen Bekämpfung von Arthropoden werden aufgezeigt.

Stichwörter: Biokontrollorganismen, Klassische Biokontrolle, Inundative Biokontrolle

Abstract

In this presentation some examples of successful and unsuccessful control of phytopathogenic fungi through biological living agents are analyzed and the differences with the more successful biocontrol of arthropodes are mentioned.

Key words: Classical biocontrol, inundative biocontrol

Einleitung

Biologische Schädlingsbekämpfung (Biocontrol) ist ein weitreichender Begriff, der aber oft nur aus der Sicht eines bestimmten Fachgebiets (Entomologie, Herbologie, Pflanzenpathologie) wahrgenommen wird. Biocontrol war lange hauptsächlich ein Thema in der Bekämpfung

von Schadinsekten, später gesellte sich die Herbologie dazu. Ziel der klassischen und in vielen Fällen erfolgreichen biologischen Schädlingsbekämpfung war es, landwirtschaftlich und floristisch bedeutende Schadorganismen, die in ein für sie neues Gebiet eingeschleppt wurden, zu eliminieren oder auf ein unschädliches Niveau zu reduzieren. Das Konzept dabei ist: Einfuhr der natürlichen Feinde, um das im ursprünglichen Verbreitungsgebiet herrschende Gleichgewicht (keine unerwünschte Massenvermehrung) wieder herzustellen. Diese klassische biologische Schädlingsbekämpfung kann bei der Bekämpfung von eingeschleppten Insekten und Unkräutern viele Erfolge aufweisen, mit äußerst hohen Nutzen-/Kosten-Verhältnissen (siehe weitere Beiträge in diesem Heft, sowie HAJEK et al., 2007). Leider werden diese positiven Ergebnisse oft vergessen, da in der klassischen biologischen Schädlingsbekämpfung die Erfolge dauerhaft sind und meistens keine weiteren Aktionen mehr notwendig sind. Die klassische biologische Schädlingsbekämpfung war und ist der Bereich der öffentlich finanzierten Forschung.

Die Pflanzenkrankheiten, die weltweit die größten effektiven und potenziellen Verluste verursachen, haben ein Verbreitungsgebiet, das vom Menschen in neueren Zeiten bestimmt ist: Beispiele sind die Kraut- und Knollenfäule, verursacht durch *Phytophthora infestans*, der Echte und der Falsche Rebenmehltau (*Erysiphe necator* und *Plasmopara viticola*), der Blasenrost der fünfnadligen Pinus-Arten (Weymouthskiefer und Arve, *Cronartium ribicola*) und der Kastanienkrebs (*Cryphonectria parasitica*).

Institution

Swiss Federal Institute of Technology, ETH Zürich, Schweiz¹

Fondazione Edmund Mach, IASMA Research and Innovation Centre, S. Michele all'Adige, Italien²

Kontaktanschrift

Prof. Dr. Cesare Gessler, ETH Zürich, Plant Pathology, Institute of Integrative Biology, Universitätstraße 2, 8092 Zürich, Schweiz, E-Mail: cesare.gessler@agrl.ethz.ch

Zur Veröffentlichung angenommen

Februar 2010

Diese Krankheiten verursachen entweder Bekämpfungskosten in Höhe von mehreren Milliarden Euro jährlich oder haben sogar zu drastischen Veränderungen der Flora geführt.

Dort, wo Schadpilz und Wirt natürlicherweise zusammen vorkommen, hat sich mit der Zeit (Ko-Evolution) ein Gleichgewicht eingestellt. Dies äußert sich in den meisten Fällen in einem Resistenzniveau des Wirtes, das es beiden Organismen erlaubt, zu überleben. Als Beispiele seien hier die amerikanischen Weinreben und der Echte und Falsche Mehltau sowie Nachtschattengewächse und verschiedene Phytophthora-Arten (von Mexiko bis in die Anden) genannt. Hier trägt aber nicht nur die Resistenz, sondern auch die relative Häufigkeit der Wirtspflanzen dazu bei, dass der Befall niedrig bleibt und das Überleben nicht gefährdet. Nur auf die Strategie der Häufigkeit hat hingegen der Kautschukbaum *Hevea brasiliensis* gesetzt. Im Amazonas-Gebiet sind die natürlichen Bestände locker, die Abstände zwischen einzelnen Bäumen betragen oft mehrere hundert Meter. Der Blattkrankheitserreger *Microcyclus ulei* kommt zwar regelmäßig vor, hat aber keine große Bedeutung. *Hevea*-Plantagen gibt es in Asien hauptsächlich in Malaysia, Thailand und Indonesien, wo der Schadpilz aber nicht vorhanden ist (strikte Quarantäne). Im Ursprungsgebiet Mato Grosso (Brasilien) wird ca. 5% der Weltproduktion erzeugt, rentable Plantagen sind dort fast nicht möglich. Sobald der Faktor „Häufigkeit des Wirtes“ stark erhöht wird (Plantage), kann der Schadpilz dominant werden und die Anlagen zerstören (DENIS et al., 2001).

Hat hingegen keine Ko-Evolution stattgefunden, können verschiedenste Situationen auftreten. Bekannt werden dabei wegen ihrer oft dramatischen Auswirkungen vor allem diejenigen Fälle, bei denen der potenzielle Wirt eindeutig anfälliger ist. Beispiele dafür sind das Verschwinden der einst dominierenden *Castanea dentata* in den Appalachen-Bergen im Osten der USA durch den aus Asien eingeschleppten Pilz *Cryphonectria parasitica* und die Dezimierung und Schädigung der europäischen *Castanea sativa* durch diesen Schadpilz, sowie die massive Schädigung des europäischen Weinbaus um 1850 und 1880 durch das Einschleppen des Echten und Falschen Rebenmehltaus aus dem Nord-Osten der USA. Im Ursprungsgebiet besitzen die dort vorhandenen *Vitis*-Arten quantitative Resistenz. Ein weiteres Beispiel ist das durch den Seuchenzug der *Cronartium ribicola* Anfang des 20. Jahrhunderts (GÄUMANN, 1959) verursachte Verschwinden der in Europa angebauten Weymouthskiefer.

Kein klassisches biologisches Programm zur Bekämpfung von Phytopathogenen hat einen vergleichbaren Erfolg gehabt wie in der Entomologie. Am erfolgreichsten erscheint mir die Bekämpfung des oben genannten, durch *C. parasitica* verursachten Kastanienkrebses in Europa. Das Hypovirus CHV-1 reduziert die Virulenz der *C. parasitica* stark (BISSEGGER et al., 1997). Da die europäische Kastanie (*Castanea sativa*) weniger anfällig ist als die amerikanische und die *C. parasitica*-Population genetisch einfacher strukturiert ist (nur wenige vegetative Kompatibilitätsgruppen), konnte sich das Hypovirus in Europa ausbreiten und somit die Schäden verringern, so

dass die Kastanie in einem Gleichgewicht mit dem Parasit überlebt. Künstliche Infektionen mit dem Hypovirus zeigten, dass auch in neuen Befallsgebieten eine solche Abschwächung möglich ist und somit die Kastanienbestände erhalten werden können (HEINIGER und RIGLING, 2009).

Pflanzenkrankheiten verursachende Organismen, Pilze, Oomyceten, Viren, Phytoplasmen und Bakterien – von einigen Ausnahmen abgesehen – vermehren und ernähren sich im Innern des pflanzlichen Gewebes. Da sie nur durch Zufall auf ihren Wirt gelangen, haben die meisten die Strategie der raschen Massenvermehrung und der hohen Produktion von infektiösen kleinen Partikeln (Sporen) entwickelt. Oberirdische Pathogene (Pilze, Oomyceten) bilden Sporen – wiederum von einigen Ausnahmen abgesehen – die nur bei Vorhandensein eines Wasserfilms auskeimen und in ihren Wirt eindringen können. Nur in dieser Phase sind sie Antagonisten und Konkurrenten ausgesetzt. Um in natürlichen Systemen zu überleben, haben Pflanzenpopulationen verschiedene Strategien entwickelt. Dazu zählen:

- räumliche Distanz zwischen den Wirten; die Wahrscheinlichkeit des Auftreffens eines Schadorganismus von einer kranken Pflanze auf eine gesunde nimmt im Quadrat der Distanz ab, durch den Anbau von Monokulturen hat der Mensch diese Strategie verunmöglicht;
- grundsätzliche Immunität gegen die überwiegende Anzahl von potenziellen Pathogenen (Non-Host Resistance); um ein Pathogen zu sein, muss der Organismus gezielt diese Immunität überwinden;
- genetisch bedingte quantitative (mehr oder weniger) und
- qualitative (ja oder nein) Resistenzen, meistens in komplexen und sehr unterschiedlichen Kombinationen (funktionelle Biodiversität).

Auf oberirdischen Pflanzenteilen haben Antagonismus und Konkurrenz kaum Bedeutung. Im Boden hingegen müssen die Pathogene Phasen ohne den Wirt überleben und sind somit Antagonismus und Konkurrenz ausgesetzt. Begrenzt ist auch die Überdauerungsphase etlicher Blatt-Parasiten in der wirtsfreien Zeit.

Inudative Biokontrollstrategie

Ausgehend von der klassischen biologischen Schädlingsbekämpfung wurde das Konzept der inundativen (überschwemmenden) biologischen Schädlingsbekämpfung aufgestellt. Antagonisten von „heimischen“ Schadarthropoden oder Parasiten von Pflanzenkrankheitserregern werden dabei wiederholt in großer Zahl ausgebracht (Konzept „Pestizide“). Dafür werden sie unter geschlossenen und kontrollierten Bedingungen vermehrt, formuliert, verpackt, verkauft und wie ein Pestizid appliziert. Auch hier kann die biologische Arthropodenbekämpfung etliche Erfolge feiern, viel weniger hingegen die biologische Krankheits- und Unkrautbekämpfung, auch wenn einzelne Nischenprodukte auf dem Markt sind.

Sicher ist das auch eine Folge der äußerst erfolgreichen Entwicklung von Herbiziden und Fungiziden mit konstanter und sehr hoher Wirkung und geringen Produktionskosten. Es stellt sich somit die Frage, warum die klassische biologische Krankheitsbekämpfung erfolglos ist und die inundative nur ein Schattendasein fristet.

Da etliche sehr komplette Übersichtspublikationen vorhanden sind (PAL and MCSPADDE GARDENER, 2006; VINCENT et al., 2007), werde ich nur einige Beispiele nennen.

Anwendung biologischer Präparate als Blattfungizid

Hierunter versteht man die wiederholte Ausbringung eines mikrobiellen Antagonisten in hohen Dosen, wobei sich der Antagonist nicht permanent oder zumindest nicht ausreichend etabliert, um langfristig eine Wirkung zu erzielen. Somit ist diese Strategie vergleichbar mit der Anwendung eines chemisch-synthetischen Fungizids (siehe auch in MATHRE et al., 1999). Im Blatt- und Fruchtbereich steht somit das Biokontrollprodukt in direkter Konkurrenz mit der oft großen Anzahl Fungizide. Die Fungizide können grundsätzlich in protektive (Schutzfilm) und eindringende (somit eradikative oder kurative) Mittel eingeteilt werden. Ein Biokontrollprodukt dringt nicht in das Pflanzengewebe ein und ist daher vergleichbar mit einem protektiven Fungizid. Die Applikation erfolgt vor einer Infektion, da sonst keine Wirkung besteht, außer bei Schadpilzen, die auf Oberflächen des Wirtes auftreten, wie z.B. Echte Mehltäupilze. (Bei einem darauf folgenden Regen gelangen Sporen des Schadpilzes auf das Gewebe und der Pilz dringt ein. Das Fungizid oder das Biokontrollprodukt muss also seine Wirkung in diesem Zeitfenster entwickeln, das oft nur wenige Stunden dauert). Wie protektive Fungizide müssen Biokontrollprodukte also ihre Wirkung in dem oft kurzen Zeitfenster zwischen Auftreffen von Sporen des Schadpilzes auf die Pflanze und ihrem Eindringen entfalten. Fungizide Wirkstoffe werden mit anderen Chemikalien vermischt (Formulierung), so dass eine gute Haftung besteht und sie nicht bei der ersten Nässe abgewaschen werden. Zusätzlich muss die Abbaurate des Fungizids genügend langsam sein, so dass beim Eintritt der Blattnässe noch genügend Wirkstoff vorhanden ist, um die keimenden Sporen des Schadpilzes abzutöten, bevor er eingedrungen ist. Die Anforderungen sind die gleichen wie für ein Biokontrollprodukt. In Gewächshausversuchen und meistens auch in Feldversuchen kann der Applikationszeitpunkt nahe an den Infektionszeitpunkt gelegt und die Bedingungen so gewählt werden, dass der Biokontrollorganismus überlebt. In der Praxis ist dies hingegen selten möglich. Sonneneinstrahlung (UV), geringe Feuchtigkeit, tiefere Temperaturen sowie längere Zeiträume zwischen Applikation und Blattnässe reduzieren die Menge und Aktivität des Biokontroll-Organismus. Somit wird die Wirkung in Abhängigkeit dieser in der Regel nicht erfassbaren Faktoren reduziert. Bei der Bekämpfung von Ektoparasiten, wie Echten Mehltäupilzen, kann die Applikation erfolgen, wenn der Schadpilz schon

in kleinsten Mengen vorhanden ist und somit sofort eine Besiedlung möglich ist. Ein Beispiel ist das Biofungizid AQ 10[®]; es enthält keimfähige Sporen des Pilzes *Ampelomyces quisqualis*. Nach der Ausbringung auf die Blattoberfläche der zu schützenden Pflanzen keimen die Sporen und parasitieren das Mycel echter Mehltäupilze. Das potenzielle Einsatzgebiet dieses Produkts ist somit relativ groß, da die meisten Gemüse- und Fruchtkulturen von Echten Mehltäupilzen geschädigt werden. Ein weiterer Vorteil ist die Wirkungsweise. Es sind keine Metaboliten wie z.B. Toxine beteiligt, und *A. quisqualis* wächst nur innerhalb des Schadpilzes. Ein weiteres, nicht mehr vermarktetes Präparat ist Trichodex[®]. Es wirkt hauptsächlich auf den Graufäule-Erreger und besteht aus den Sporen von *Trichoderma harzianum* T39. Dieser Pilz ist ein Antagonist sehr vieler Schadpilze; in mehr als 2300 Artikeln wird seine Wirkung als Biokontrollorganismus gegen Blatt- und auch bodenbürtige pilzliche Parasiten beschrieben. Das Produkt hatte aber keinen kommerziellen Erfolg, da die Wirkung oft ungenügend und sehr variabel war und somit nicht mit chemischen Fungiziden, inklusiv Schwefel und Kupfer, konkurrieren konnte.

Der Apfelschorf (*Venturia inaequalis*) wird sowohl im organischen (Kupfer/Schwefel) als auch im konventionellen Anbau mit sehr vielen Fungizidspritzungen (meistens mehr als 10) bekämpft. Somit ist das Interesse an einer biologischen Bekämpfung groß, zumal Kupfer im organischen Anbau teilweise (z.B. Dänemark) nicht mehr oder nur mit einer reduzierten Menge erlaubt ist. Versuche mit antagonistischen Pilzen, eingesetzt wie Fungizide während der Wachstumsaison, konnten oft eine reduzierende Wirkung nachweisen. So konnten KÖHL et al. (2009) mit der Anwendung von *Cladosporium cladosporioides* die Konidienproduktion von *V. inaequalis* um 69% am 6. August und um 51% am 16. August reduzieren, aber das Präparat war ohne Wirkung am 20. August. Bei optimaler Applikation eines synthetischen Fungizids wäre dagegen 100% Wirkung zu erwarten.

Anwendung biologischer Präparate zur Reduktion des Anfangsinokulums

Beispiel: der Apfelschorferreger *V. inaequalis* überwintert im Blattmaterial und ist dem natürlichen Abbau dieses Materials ausgesetzt. Dieser Blattabbau kann gezielt gefördert werden, zum Beispiel mit Mulchen, Einarbeiten oder mit Harnstoff-Spritzungen. Die Blätter können mechanisch entfernt werden, oder es können selektierte Antagonisten des Schorfpilzes ausgebracht werden.

Der Pilz *Athelia bombacina* verhindert die Bildung der Fruchtkörper. In Versuchen konnte eine sehr hohe Effizienz erreicht werden, trotzdem wurde nie versucht, daraus ein Produkt zu entwickeln, denn es müssen zu hohe Dosen angewendet werden, und die Produktionskosten sind prohibitiv. Ein im Jahr 1996 begonnenes kanadisches Programm konnte den Ascomycet *Microspora ochracea* soweit als Biokontrollorganismus des Apfelschorfpilzes in der Überwinterungsphase entwickeln,

dass heute berechtigte Hoffnung auf ein kommerzielles Produkt mit Zulassung besteht. Trotzdem sind die kommerziellen Chancen eher gering; einerseits sind andere Methoden der Reduktion des Frühjahrsinokulums vorhanden und andererseits beschränkt sich der potenzielle Markt auf Apfelkulturen und wahrscheinlich sogar nur auf solche Anlagen, die den Schorf nicht mit Fungizideinsatz genügend kontrollieren.

Erfolgreich ist die Anwendung von *Peniophora gigantea* (*Phlebiopsis gigantea*), um die Besiedlung von Wurzelstöcken gefällter Bäume mit *Fomes annosus* und somit das Übergreifen auf lebende Bäume zu verhindern. (RISHBETH, 1963; SOUTRENON et al., 1998).

Sonderfälle in der Anwendung biologischer Präparate

Pilze der Gattung *Aspergillus* sind weltweit verbreitet. Die Art *A. flavus* ist bekannt dafür, dass sie Aflatoxin produziert. Der Grenzwert beträgt in Europa 2 ppb und in den USA 20 ppb. Baumwollsaamen werden in den USA als Futter für Milchkühe verwendet. Der Aflatoxingrenzwert in der Milch ist 0,5 ppb. In Texas und Arizona sind die Baumwollsaamen oft stark kontaminiert und dürfen nicht verfüttert werden. Zusätzlich können nachfolgende Kulturen wie Mais und Erdnüsse auch kontaminiert werden (COTTY et al., 2007). COTTY et al. berichten über ein erfolgreiches Projekt, welches zur Identifikation von zwei nicht-Aflatoxin-produzierenden *A. flavus*-Stämmen führte. Werden diese zu Beginn der Saison (Vorblüte) angewendet, führt dies zum Verdrängen der natürlich vorkommenden Aflatoxinproduzenten. Heute werden diese Stämme auf über 50 000 ha eingesetzt und konnten das Aflatoxinproblem entschärfen (SHANAZ, 2007).

Literatur

- BISSEGGER, M., D. RIGLING, U. HEINIGER, 1997: Population structure and disease development of *Cryphonectria parasitica* in European chestnut forests in the presence of natural hypovirulence. *Phytopathology* **87**, 50-59.
- CARISSE, O., G. HOLLOWAY, M. LEGGETT, 2007: Potential and limitations of *Microsphaeropsis ochraceae*, an agent for biosanitation of apple scab. *Biological control: A global perspective*. CABI Wallingford UK report, 234-240.
- COTTY, P.J., L. ANTILLA, P.J. WAKELYN, 2007: Competitive Exclusion of Aflatoxin Producers: Farmer-driven Research and Development. *Biological control: A global perspective*. CABI Wallingford UK report, 241-253.
- DENIS, C., V. TROISPOUX, F. PINARD, 2001: The South American leaf blight of rubber tree, due to *Microcyclus ulei*. *Phytoma* **535**, 37-40.
- GÄUMANN, E., 1959: Die Rostpilze Mitteleuropas. Beiträge zur Kryptogamenflora der Schweiz, Band XII, 1407 S.
- HAJEK, A.E., M.L. MCMANUS, I. DELALIBERA, 2007: A review of introductions of pathogens and nematodes for classical biological control of insects and mites. *Biological Control* **41**, 1-13.
- HEINIGER, U., D. RIGLING, 2009: Application of the *Cryphonectria hypovirus* (Chv-1) to control the chestnut blight, experience from Switzerland. *Acta Horticulturae* **815**, 233-246.
- KÖHL, J.J., W.W.M.L. MOLHOEK, B.B.H. GROENENBOOM-DE HAAS, H.H.M. GOOSSEN-VAN DE GELN, 2009: Selection and orchard testing of antagonists suppressing conidial production by the apple scab pathogen *Venturia inaequalis*. *Eur. J. Plant Pathology* **123**, 401-414.
- MATHRE, D.E., R.J. COOK, N.W. CALLAN, 1999: From discovery to use: Traversing the world of commercializing Biocontrol Agents for plant Disease Control. *Plant Disease* **83**, 972-983.
- PAL, K.K., B. McSPADEN GARDENER, 2006: Biological Control of Plant Pathogens. *The Plant Health Instructor* DOI: 10.1094/PHI-A-2006-1117-02.
- RISHBETH, J., 1963: Stump protection against *Fomes annosus* III. Inoculation with *Peniophora gigantea*. *Ann. Appl. Bot.* **52**, 63-77.
- SHANAZ, B., 2007: Aflatoxin Control in Cotton and Groundnuts: Regulatory Aspects. *Biological control: A global perspective*. CABI Wallingford UK report, 254-261.
- VINCENT, C., M.S. GOETTEL, G. LAZAROVITS (Eds.), 2007: *Biological control a Global Perspective. Case Studies from Around the World*. CABI Wallingford UK report, 456 S.
- SOUTRENON, A., A. LEVY, P. LEGRAND, B. LUNG-ESCAVANT, J.J. GUILLAUMIN, C. DELATOUR, 1998: The effectiveness of tree stump treatments against *Heterobasidion annosum*. *Revue Forestiere Francaise* **50**, 4, 317-327.