

SUPRESION DE ENFERMEDADES DE PLANTAS MEDIANTE COMPOST¹

H.A.J. Hoitink^{2*}, A.G. Stone*, D.Y. Han*

RESUMEN

Los composts ofrecen la oportunidad de examinar interacciones fundamentales entre fitopatógenos, agentes de biocontrol, materia orgánica del suelo y raíces de plantas. Estas enmiendas orgánicas tienen el potencial de proveer control biológico consistente de muchas enfermedades. Tanto patógenos foliares, vasculares como radicales pueden ser afectados por composts. Muchos factores influyen en estos efectos benéficos. Por ejemplo, la composición de la base alimenticia que se usa en la preparación de composts afecta el potencial de control biológico, así como la microflora activa en tal control. El calor generado durante el compostaje mata o inactiva patógenos, si se monitorea adecuadamente el proceso. Desafortunadamente, también se matan los agentes de biocontrol, con excepción de *Bacillus* spp.; por lo tanto, esta flora beneficiosa debe recolonizar los composts primordialmente después del pico de calor. El ambiente del compostaje, y las condiciones durante el curado y utilización, también afectan el potencial de recolonización por los agentes de biocontrol, así como la inducción de supresión de la enfermedad. En la práctica ha sido necesario inocular el compost con agentes de biocontrol, para inducir niveles consistentes de supresión de enfermedades. Se debe considerar la estabilidad de los composts para efectos de control biológico; los composts inmaduros sirven de alimento a los patógenos; las poblaciones de éstos aumentan en materia orgánica fresca, y causan enferme-

ABSTRACT

Suppression of plant diseases by compost. Composts offer unique opportunities to examine fundamental interactions between plant pathogens, biocontrol agents, soil organic matter, and plant roots. These organic amendments have the potential to provide consistent biological control of many plant diseases. Foliar, vascular as well as root pathogens may be affected by composts. Many factors influence these beneficial effects. For example, the composition of the feedstock used in the preparation of composts affects the potential for biological control as well as the microflora active in control. Heat generated during composting kills or inactivates pathogens if the process is monitored properly. Unfortunately, biocontrol agents with the exception of *Bacillus* spp. are also killed. Therefore this beneficial microflora must largely recolonize composts after peak heating. The composting environment and conditions during curing and utilization also affect the potential for recolonization of composts by biocontrol agents and the induction of disease suppression. In practice, controlled inoculation of compost with biocontrol agents has proved necessary to induce consistent levels of disease suppression. Stability of composts must be considered in biological control. Immature composts serve as food for pathogens. Their populations increase in fresh organic matter and cause disease even if colonized by biocontrol agents. On the other hand, biocontrol agents inhibit or kill pathogens

1/ Documento expuesto en el III Congreso Nacional de Fitopatología. Julio, 1996. San José, Costa Rica. Traducido al inglés por la Revista y publicado con la autorización del autor y de la Revista HortScience.

2/ Autor para correspondencia.
* Department of Plant Pathology, Ohio Research and Development Center, The Ohio State University, Wooster, OH 44691. Estados Unidos.

dad aún si son colonizados por agentes de biocontrol. En cambio, los agentes de biocontrol inhiben o matan patógenos en composts maduros, y por lo tanto inducen la supresión de la enfermedad. Estos agentes pueden inducir resistencia sistémica adquirida a patógenos foliares. Al otro extremo, la materia orgánica excesivamente estabilizada no mantiene la actividad de los agentes de biocontrol; aquí predominan microorganismos incapaces de proveer control biológico. La salinidad y la tasa de liberación de nutrimentos, particularmente la cantidad de N liberado, afectan la supresividad. El pH del compost, así como el momento de la aplicación del compost en relación con la siembra del cultivo, son otros factores por considerar. En suma, es un campo complejo.

INTRODUCCION

Durante los años 60, viveristas de todo Estados Unidos exploraban la posibilidad de usar compost de cortezas de árboles como sustituto de la turba, para reducir los costos de mezclas para macetas. Al empezar a usarse los composts de corteza se observó un mejoramiento en el crecimiento de las plantas, a la vez que una disminución de las pérdidas causadas por pudriciones de raíz por *Phytophthora*. Hoy día se reconoce que el control de tales pudriciones radicales mediante composts puede ser tan efectivo como el que se obtiene con fungicidas (Hardy y Sivasithamparam 1991, Hoitink et al. 1991, Ownley y Benson 1991). En consecuencia, la industria de plantas ornamentales confía mucho en productos de compost para el combate de enfermedades causadas por fitopatógenos originados en el suelo. Los composts han reemplazado al bromuro de metilo en esta actividad (Quarles y Grossman 1995). Resultados similares se han obtenido tras aplicaciones de composts en el campo (Hoitink y Fahy 1986, Lumsden et al. 1983, Schüller et al. 1993). Hoitink y Fahy (1986) han hecho una revisión que incluye ejemplos de enfermedades combatidas por composts.

Los composts deben ser de calidad consistente para que tengan éxito en el control biológico de enfermedades de cultivos hortícolas, particularmente si se usan en sustratos para macetas

in mature composts and thereby induce disease suppression. Biocontrol agents in composts may induce systemic acquired resistance to foliar plant pathogens. Finally, excessively stabilized organic matter does not support the activity of biocontrol agents. Microorganisms incapable of providing biological control predominate here. Disease develops on plants produced in such highly mineralized organic matter. Physical and chemical properties of composts affect biological control. Salinity and the rate of release of plant nutrients, particularly the amount of nitrogen released, affect suppressiveness. Compost pH and timing of compost application relative to planting of crops are other factors to be considered. In summary, the field is very complex.

(Inbar et al. 1993). La tasa de respiración es uno de varios procedimientos que se pueden usar para monitorear la estabilidad de los composts (Iannotti et al. 1994). La variabilidad en la estabilidad del compost es uno de los principales factores que limitan su utilización generalizada. La madurez es menos importante en agricultura de eras o de campo, siempre y cuando el compost se aplique suficientemente antes de la siembra para permitir una estabilización adicional; sin embargo, también aquí causa problemas frecuentemente la falta de madurez.

Los efectos de las propiedades químicas de los composts sobre la severidad de la enfermedad a menudo pasan desapercibidos (revisión por Hoitink et al. 1991). En cambio, los composts derivados de materiales de alto C/N, como las cortezas de árbol, inmovilizan el N y disminuyen las enfermedades por *Fusarium*, si es que son colonizadas por una microflora adecuada (Trillas-Gay et al. 1986). La nutrición alta en amonio y baja en nitrato aumenta las marchiteces por *Fusarium* (Schneider 1985). Tal vez es por esto que el compost de lodos sépticos, bajo en C/N y predominantemente liberador de N amoniacal, favorece las fusariosis (Hoitink et al. 1987).

Los composts altamente salinos aumentan las enfermedades por *Pythium* y *Phytophthora*, a menos que se apliquen meses antes de la siembra para permitir la lixiviación.

QUE OCURRE CON LOS AGENTES DE BIOCONTROL DURANTE EL COMPOSTAJE?

El proceso de compostaje se divide a menudo en 3 fases. La fase inicial ocurre durante las primeras 24-48 h, cuando la temperatura gradualmente se eleva a 40-50°C y los azúcares y otras sustancias fácilmente biodegradables son destruidos. Durante la segunda fase, cuando prevalecen temperaturas de 55-70°C, son destruidas sustancias celulósicas menos biodegradables. Los organismos termofílicos predominan durante esta parte del proceso; el calor generado por esta alta fase mata los fitopatógenos y las semillas (Bollen 1993, Farrell 1993). Los montículos de compost deben ser mezclados frecuentemente para exponer todas sus partes a las altas temperaturas y así producir un producto homogéneo, libre de patógenos y semillas de malezas. Desafortunadamente, la mayoría de los microorganismos beneficiosos también son destruidos durante esta fase de alta temperatura del compostaje.

El curado comienza al declinar en los residuos la concentración de componentes fácilmente biodegradables. Como resultado, disminuyen la tasa de descomposición, la liberación de calor y la temperatura. En este momento, microorganismos mesofílicos que crecen a temperaturas <40°C recolonizan el compost desde la capa externa de baja temperatura en el montículo o era. Por lo tanto, la supresión de patógenos y/o enfermedades es inducida principalmente durante el curado, porque la mayoría de los agentes de biocontrol también recolonizan los composts después del pico de calentamiento.

Bacillus spp., *Enterobacter* spp., *Flavobacterium balustinum*, *Pseudomonas* spp., otros géneros bacterianos y *Streptomyces* spp., así como *Penicillium* spp., varios *Trichoderma* spp., *Gliocladium virens* y otros hongos, han sido identificados como agentes de biocontrol en sustratos tratados con compost (Chung y Hointink 1990, Hadar y Gorodecki 1991, Hardy y Sivasithamparam 1991, Hoitink y Fahy 1986, Nelson et al. 1983, Phae et al. 1990). El contenido de humedad del compost afecta críticamente el potencial de los mesófilos bacterianos para colonizar el sustrato después del pico de calor. Los composts secos (<34% de humedad, por peso) resultan colonizados por hongos y son proclives a enfermedades por *Pythium*. Para inducir supresión

el contenido de humedad debe ser suficientemente alto (por lo menos 40-50%) para que tanto bacterias como hongos colonicen el sustrato después del pico de calor. A menudo hay que añadir agua durante el compostaje y curado para evitar la condición seca. El pH del compost también afecta el potencial de las bacterias benéficas para colonizar el compost; un pH <5.0 inhibe agentes bacterianos de biocontrol (Hoitink et al. 1991).

La variabilidad en la supresión de mal del talluelo por *Rhizoctonia* y marchitez por *Fusarium*, que se encuentra en sustratos tratados con composts maduros, se debe en parte a la colonización al azar del compost por los agentes efectivos de biocontrol después del pico de calor. El compost de campo suprime más consistentemente las enfermedades por *Rhizoctonia* que el mismo compost producido en instalaciones parcialmente cerradas, donde pocas especies microbianas sobreviven el tratamiento de calor (Kuter et al. 1983). El compost producido al aire libre cerca de un bosque (compost de campo), un ambiente alto en diversidad de especies microbianas, es colonizado por una mayor variedad de agentes de biocontrol que el mismo compost producido en instalaciones especialmente diseñadas (Kuter et al. 1983). Frecuentemente, sin embargo, después de que los composts se han aplicado por primera vez se observa por un tiempo *Rhizoctonia* y otras enfermedades (Kuter et al. 1988, Lumsden et al. 1983). Para resolver este problema se pueden usar 3 enfoques: el primero de ellos es el curado de los composts por 4 meses o más, hecho que los vuelve más consistentemente supresivos (Kuter et al. 1988). El segundo enfoque es el de incorporar composts en los suelos de campo varios meses antes de la siembra (Lumsden et al. 1983). El tercer enfoque es el de inocular los composts con agentes de biocontrol específicos (Kwok et al. 1987).

Se ha identificado una cepa específica de *Flavobacterium balustinum* y un aislamiento de *Trichoderma hamatum* que inducen niveles consistentes de supresión de enfermedades causadas por un amplio espectro de fitopatógenos, si se inoculan al compost después del pico de calor, pero antes de que ocurran niveles significativos de recolonización. Ohio State University ha patentado este proceso (Hoitink 1990). En Japón, Phae et al. (1990) aislaron una cepa de *Bacillus* que induce control biológico predecible en composts. Por décadas se ha reconocido que las cepas

individuales no son tan efectivas en el control biológico de campo como las mezclas de microorganismos (Garrett 1955). Lo mismo se aplica a medios en recipientes (Kwok et al. 1987).

MECANISMOS DE SUPRESION EN COMPOSTS

Se han descrito dos clases de control biológico para sustratos tratados con compost, conocidos como supresión "general" y supresión "específica". Los mecanismos involucrados se basan en competencia, antibiosis, hiperparasitismo y la inducción de resistencia sistémica adquirida en la planta hospedera. Los propágulos de fitopatógenos como *Pythium* y *Phytophthora* spp. son reprimidos mediante el fenómeno de "supresión general" (Boehm et al. 1993, Chen et al. 1988a, Chen et al. 1988b, Cook y Baker 1983, Hardy y Sivasithamparam 1991, Mandelbaum y Hadar 1990). Muchos tipos de microorganismos que se encuentran en medios tratados con compost en recipientes funcionan como agentes de biocontrol contra enfermedades causadas por *Phytophthora* y *Pythium* spp. (Boehm et al. 1993, Hardy y Sivasithamparam 1991). Los propágulos de estos patógenos, si son introducidos en sustratos tratados con compost, no germinan en respuesta a nutrientes liberados en forma de exudados de la semilla o de la raíz. La gran biomasa y actividad microbianas, debidas a la "microflora general del suelo" en tales sustratos, previenen la germinación de esporas de estos patógenos y la infección del hospedante. Los propágulos de estos patógenos permanecen en dormancia y por lo general no se mueren al ser introducidos en suelo tratado con compost (Chen et al. 1998a, Mandelbaum y Hadar 1990).

Un ensayo enzimático que determina la actividad microbiana con base en la tasa de hidrólisis del diacetato de fluoresceína (FDA), permite predecir el grado de la "supresividad" de mezclas para llenado de macetas contra enfermedades por *Pythium* (Boehm y Hoitink 1992, Chen et al. 1998a, Mandelbaum y Hadar 1990, You and Sivasithamparam 1994). Información similar se ha generado para suelos en "fincas orgánicas", donde las enfermedades originadas en el suelo son menos prevalentes (Workneh et al. 1993). La duración del efecto supresor también se puede determinar mediante

actividad del FDA (Boehm y Hoitink 1992). Esto se conoce como "capacidad de mantenimiento" ("carrying capacity") del sustrato en relación con el control biológico.

El mecanismo de control biológico de *Rhizoctonia solani* en sustratos tratados con compost es diferente del de *Pythium* y *Phytophthora* spp. porque sólo un grupo limitado de microorganismos son capaces de erradicar a *R. solani*. A este tipo de supresión se le conoce como "supresión específica" (Hoitink et al. 1991). *Trichoderma* spp., incluyendo *T. amatum* y *T. harzianum*, son los hiperparásitos predominantes que se recuperan de composts preparados con desperdicios ligno-celulósicos (Kuter et al. 1983, Nelson et al. 1983). Los hiperparásitos son microorganismos capaces de colonizar fitopatógenos con resultado de lisis o muerte. Estos hongos interactúan con varias cepas bacterianas en el control biológico del mal del talluelo por *Rhizoctonia* (Kwok et al. 1987). Resulta interesante que algunos *Penicillium* son los hiperparásitos predominantes que se recuperan de esclerocios de *Sclerotium rolfsii* en pulpa de uvas compostada, un desecho alto en azúcar y bajo en celulosa (Hadar y Gorodecki 1991). No se obtuvo *Trichoderma* spp. de este compost, ni éstos fueron efectivos cuando se introdujeron. La composición del sustrato alimenticio, como es de esperar, parece tener impacto sobre la microflora de composts activos en control biológico.

DISPONIBILIDAD DE ENERGIA BIOLOGICA VERSUS SUPRESIVIDAD

El nivel de descomposición de la materia orgánica en sustratos tratados con compost tiene impacto considerable sobre la supresión de enfermedades. Por ejemplo, *R. solani* es altamente competitivo como saprófito (Garrett 1962); puede utilizar celulosa y colonizar desechos frescos, pero no composts maduros bajos en celulosa (Chung et al. 1988). *Trichoderma*, un eficaz biocontrolador de *R. solani*, es capaz de colonizar tanto compost fresco como maduro, pero crece mejor en compost fresco (Chung et al. 1988, Nelson et al. 1983). En materia orgánica fresca, sin descomponer, no ocurre control biológico porque tanto el patógeno como el biocontrolador crecen como saprófitos; por lo tanto *R. solani* (el patógeno) continúa en capacidad de causar enfermedad en este caso. Presumiblemente, la síntesis de

enzimas líticas involucradas en el hiperparasitismo de patógenos por *Trichoderma*, es inhibida en la materia orgánica fresca, a causa de la alta concentración de glucosa en estos desechos (de la Cruz et al. 1993). Los mismos procesos pueden ocurrir en la producción de antibióticos, que también juegan un papel importante en biocontrol.

En composts maduros, donde las concentraciones de nutrientes libres son bajas (Chen et al. 1988a), los esclerocios de *R. solani* son destruidos por el hiperparásito, y prevalece el control biológico (Nelson et al. 1983). Lo anterior revela que los composts deben estar adecuadamente estabilizados para alcanzar el nivel de descomposición donde el control biológico es factible. En la práctica, esto ocurre en composts (cortezas de árbol, desechos de jardín, etc.) que han sido: 1) estabilizados lo suficiente para evitar fitotoxicidad y 2) colonizados por la microflora específica apropiada. Aún no están disponibles los lineamientos prácticos que definan esta etapa crítica de descomposición en términos de control biológico. La industria de composts actualmente controla el nivel de descomposición manteniendo constantes las condiciones durante todo el proceso y siguiendo un determinado calendario. El compost de corteza de pino producido mediante este procedimiento ha sido utilizado con gran éxito en floricultura, lo que indica que este enfoque de control de calidad es bastante aceptable (Hoitink et al. 1991).

La materia orgánica excesivamente estabilizada, al extremo opuesto de la escala de descomposición, no propicia la actividad adecuada de los agentes de biocontrol. Como resultado, falta supresión y las enfermedades originadas en el suelo son severas, como ocurre en los suelos altamente mineralizados donde las sustancias húmicas son las formas predominantes de materia orgánica (Workneh et al. 1993). No se ha determinado durante cuánto tiempo los composts incorporados al suelo propician niveles adecuados de actividad bio-controladora. Presumiblemente este período varía con la temperatura y las características del suelo y el tipo de materia orgánica a partir del cual se preparó el compost. Desde luego que también influyen las cantidades aplicadas y las prácticas agrícolas. Se han estudiado la "capacidad de mantenimiento" de la materia orgánica del suelo en mezclas para macetas preparadas con turba de musgo para solucionar en parte este problema (Boehm y Hoitink 1992, Boehm et al.

1993). La turba de musgo típicamente compite con el compost como fuente de materia orgánica en horticultura.

La microflora y la materia orgánica de la misma turba pueden ambas afectar la supresión de las enfermedades originadas en el suelo. Brevemente se revisa aquí la literatura acerca de tal efecto.

La turba de musgo oscura, más descompuesta, cosechada a una profundidad de 4 pies o más en la mayoría de las turberas, tiene baja actividad microbiana y es consistentemente proclive a pudriciones radicales por *Pythium* y *Phytophthora* (Hoitink et al. 1991, Boehm y Hoitink 1992). Por otra parte, las fuentes de turba de musgo más livianas, menos descompuestas, cosechadas cerca de la superficie de las turberas, tienen mayor actividad microbiana (actividad FDA) y reducen la pudrición radical. Desafortunadamente, el efecto supresor de pudriciones radicales por *Pythium* es de poca duración en la turba liviana (Boehm y Hoitink 1992, Tahvonon 1982, Wolffechele 1988). Las turbas livianas se usan más efectivamente para ciclos de producción cortos (cultivos de 6-10 semanas), tal como en mezclas para bandejas y bloques de enraice usados en producción de ornamentales. Los composts tienen efectos más duraderos (Boehm y Hoitink 1992, Boehm et al. 1993, You y Sivasithamparam 1994).

Como se mencionó anteriormente, la tasa de hidrólisis de FDA predice la supresividad de mezclas de turba y de sustratos tratados con compost hacia pudriciones radicales por *Pythium* (Boehm y Hoitink 1992). Conforme la actividad de FDA en sustratos supresivos disminuye hasta <3,2 (o sea a menos de 5g FDA hidrolizada/min/g de peso seco de la muestra), la población de *Pythium ultimum* aumenta, hay infección y se desarrolla la pudrición radical. Durante este colapso en supresividad, la composición de especies bacterianas también cambia (Boehm et al. 1993). Una microflora típica de suelos supresivos, que incluye *Pseudomonas* y otros bacilos Gram-negativos como colonizadores predominantes de la rizosfera, es reemplazada por bacterias Gram-positivas pleomórficas (como *Arthrobacter*) y oligotrofos putativos (Wu et al. 1993). La microflora de un sustrato propicio se parece a la de nichos altamente mineralizados del suelo (Kanazawa y Filip, 1986).

El análisis no-destructivo de la materia orgánica del suelo, utilizando espectroscopía

infrarroja transformada de Fourier (FT-IR) y la polarización cruzada al ángulo mágico -resonancia magnética nuclear de carbono 13 (CPMAS-13CNMR)-, permite caracterizar los componentes biodegradables de las fracciones orgánicas del suelo (Inbar et al. 1989, Chen e Inbar 1993). La CPMAS-13CNMR permite el análisis cuantitativo de las concentraciones de sustancias fácilmente biodegradables tales como carbohidratos (hemicelulosa, celulosa, etc.), versus ligninas y sustancias húmicas, en materia orgánica del suelo (revisión de Chen e Inbar 1993). En un informe preliminar, Wu et al. (1993) indican que los carbohidratos disminuyen a medida que la supresividad se pierde. Durante el mismo período de tiempo, los géneros bacterianos capaces de causar control biológico son reemplazados por aquellos que no pueden proveer control. Los agentes de biocontrol inoculados en el sustrato más descompuesto no son capaces de inducir control biológico sostenido de pudrición radical por *Pythium*. El mismo fenómeno se ha observado en el caso de la pudrición radical por *Phytophthora* en el campo (You y Sivasithamparam 1994). Por lo tanto, el biocontrol de estas enfermedades es determinado por la "capacidad de mantenimiento" del sustrato, que regula la composición y actividad de especies y, a su vez, el potencial de mantener el control biológico.

COMPOST PARA EL CONTROL DE ENFERMEDADES FOLIARES

Durante la pasada década, se ha publicado una serie de proyectos sobre control de enfermedades de partes aéreas con extractos acuosos, también conocidos como infusiones ("steepages"), preparados a partir de composts (Weltzien 1992, Yohalem et al. 1994). Las infusiones a menudo se preparan remojando composts maduros en agua (cultivo inmóvil; 1:1 por peso) durante 7-10 días. La infusión se filtra y luego se atomiza sobre las plantas. Desafortunadamente, la eficacia varía con el compost, las partidas o lotes de infusión producidas, los cultivos y las enfermedades de que se trate. Sackenheim (1993), usando procedimientos de conteo de placas, ha informado que en estas infusiones predominan microorganismos aeróbicos; la microflora incluye cepas de bacterias y aislamientos de hongos conocidos como agentes de biocontrol. Este autor desarrolló

una serie de estrategias de enriquecimiento, que incluyen nutrientes así como microorganismos, para mejorar la eficacia de las infusiones.

El control inducido por infusiones de compost también ha sido atribuido a resistencia sistémica adquirida (SAR) inducida en las plantas por microbios presentes en los extractos (Weltzien 1992). El reciente trabajo de Sackenheim (1993) en uvas, sin embargo, no apoya tal suposición. Un factor que no ha sido evaluado pero podría jugar un papel en la eficacia de las infusiones es la condición de la materia orgánica y la microflora asociada en el suelo en el cual se producen las plantas. Los suelos naturalmente supresivos contra fitopatógenos originados en el suelo (por ejemplo, suelos tratados con compost) albergan poblaciones activas de agentes de biocontrol (Boehm et al. 1993). Algunos de estos rizobacterias y hongos pueden inducir protección contra patógenos foliares en las hojas de las plantas (Maurhofer et al. 1994, Wei et al. 1991). Zhang et al. (1994) informaron que proteínas relacionadas con patógenos eran activadas en raíces y brotes de plantas de pepino producidas en compost. Trabajos adicionales podrían revelar que los composts afectan la resistencia de raíces y follaje a enfermedades. Actualmente, el combate de enfermedades foliares con composts o infusiones es sumamente variable.

SUPRESION DE ENFERMEDADES-VISION FUTURA

El éxito del control biológico de enfermedades con composts sólo es posible si se definen y mantienen consistentes todos los factores involucrados en la producción y utilización de composts. La mayoría de los composts son de calidad variable. Por lo tanto, la corteza de pino composteada continúa (en Norteamérica) como el principal compost usado para la preparación de mezclas para macetas o de suelos naturalmente supresivos contra fitopatógenos originados en el suelo. Los estiércoles composteados y los desechos de jardín y de alimentos van ganando popularidad, y ofrecen el mismo potencial (Gorodecki y Hadar 1990, Grebus et al. 1994, Inbar et al. 1993, Marugg et al. 1993, Schüler et al. 1993).

La inoculación controlada de los composts con agentes de biocontrol es un procedimiento que debe desarrollarse en escala comercial para

inducir niveles consistentes de supresión de patógenos como *R. solani* (Hoitink et al. 1991, Phae et al. 1990, Grebus et al. 1993). Recientemente fue propuesto el uso de la corteza de árboles como base alimenticia para el cultivo de agentes de biocontrol y como portadora de estos agentes en aplicaciones agrícolas (Steinmetz y Schönbeck 1994). Sin embargo, este nuevo campo de la biotecnología todavía está en su infancia. Será necesario dirigir esfuerzos considerables en investigación y desarrollo hacia este enfoque de combate de enfermedades. El reciclaje mediante compostaje se está escogiendo como la estrategia preferida para el tratamiento de desechos. Esto se aplica también a estiércol de fincas. Por esta razón, los composts se están volviendo disponibles en mayores cantidades. La turba, por otra parte, es un recurso limitado, que no puede ser reciclado. Las oportunidades futuras para la supresión, tanto natural como controlada-inducida, de fitopatógenos originados en el suelo, parecen brillantes.

AGRADECIMIENTOS

Salarios y apoyo a la investigación fueron provistos por fondos estatales y federales asignados al Ohio Agricultural Research and Development Center, Ohio State University, y mediante Grant No.US2196-22 de BARD, United States-Israel Binational Research and Development Fund.

LITERATURA CONSULTADA

- BOEHM, M.J.; HOITINK, H.A.J. 1992. Sustenance of microbial activity and severity of *Pythium* root rot of *Poinsettia*. *Phytopathology* 82:259-264.
- BOEHM, M.J.; MADDEN, L.V.; HOITINK, H.A.J. 1993. Effect of organic matter decomposition level on bacterial species diversity and composition in relationship to *Pythium* damping-off severity. *Applied Environ. Microbiol.* 59:4171-4179.
- BOLLEN, G.J. 1993. Factors involved in inactivation of plant pathogens during composting of crop residues. *In Science and Engineering of Composting: Design, environmental, microbiological and utilization aspects.* Ed. by H.A.J. Hoitink and H. M. Keener. Worthington, OH. Renaissance Publications. p. 301-318.
- CHEN, W.; HOITINK, H.A.J.; SCHMITTHENNER, A.F.; Tuovinen, O.H. 1988a. The role of microbial activity in suppression of damping-off caused by *Pythium ultimum*. *Phytopathology* 78:314-322.
- CHEN, W.; HOITINK, H.A.J.; MADDEN, L.V. 1988b. Microbial activity and biomass in container media predicting suppressiveness to damping-off caused by *Pythium ultimum*. *Phytopathology* 78:1447-1450.
- CHEN, Y.; INBAR, Y. 1993. Chemical and spectroscopical analyses of organic matter transformations during composting in relation to compost maturity. *In Science and engineering of composting: design, environmental, microbiological and utilization aspects.* Ed. by H.A.J. Hoitink and H. M. Keener. Worthington, OH. Renaissance Publications. p. 551-600.
- CHUNG, Y.R.; HOITINK, H.A.J.; LIPPS, P.E. 1988. Interactions between organic-matter decomposition level and soilborne disease severity. *Agric., Ecosys. Environ.* 24:183-193.
- CHUNG, Y.R.; HOITINK, H.A.J. 1990. Interactions between thermophilic fungi and *Trichoderma hamatum* in suppression of *Rhizoctonia* damping-off in a bark compost-amended container medium. *Phytopathology* 80:73-77.
- COOK, R.J.; BAKER, K.F. 1983. *The Nature and Practice of Biological Control of Plant Pathogens.* St. Paul, Minnesota. Am. Phytopathol. Soc. 539 p.
- DE LA CRUZ, J.; REY, M.; LORA, J.M.; HIDALGO-GALLEGO, F.; DOMINGUEZ, J.A.; PINTOR-TORO, A.; LLOBELL T., BENITEZ. 1993. Carbon source control on -glucanases, chitobiase and chitinase from *Trichoderma harzianum*. *Microbiol.* 159:316-322.
- FARRELL, J.B. 1993. Fecal pathogen control during composting, p. 282-300. *In Science and Engineering of Composting: Design, environmental, microbiological and utilization aspects.* Wd. by H.A.J. Hoitink and H.M. Keener. Worthington, OH. Renaissance Publications, 728 p.
- GARRETT, S.D. 1955. A century of root-disease investigation. *Ann. Appl. Biol.* 42:211-219.
- GARRETT, S.D. 1962. Decomposition of cellulose in soil by *Rhizoctonia solani* Kuhn. *Trans. Br. Mycol. Soc.* 45:114-120.
- GREBUS, M.E.; FELDMAN, K.A.; MUSSELMAN, C.A.; HOITINK, H.A.J. 1993. Production of biocontrol agent-fortified compost-amended potting mixes for predictable disease suppression. *Phytopathology* 83:1406 (Abstr.).
- GREBUS, M.E.; WATSON, M.E.; HOITINK, H.A.J. 1994. Biological, chemical and physical properties of composted yard trimmings as indicators of maturity and plant disease suppression. *Compost Sci. Util.* 1:57-71.
- GORODECKI, B.; HADAR, Y. 1990. Suppression of *Rhizoctonia solani* and *Sclerotium rolfsii* in container

- media containing composted separated cattle manure and composted grape marc. *Crop Protection* 9:271-274.
- HADAR, Y.; GORODECKI, B. 1991. Suppression of germination of sclerotia of *Sclerotium rolfsii* in compost. *Soil. Biol. Biochem.* 23:303-306.
- HARDY, G. E. St. J.; SIVASITHAMPARAM, K. 1991. Suppression of *Phytophthora* Root Rot by a Composted Eucalyptus Bark Mix. *Aust. J. Bot.* 39:153-159.
- HOITINK, H.A.J. 1990. Production of disease suppressive compost and container media, and microorganism culture for use therein. US Patent 4960348. Feb. 13, 1990.
- HOITINK, H.A.J.; DAUGHTERY, M.; TAYAMA, H.K. 1987. Control of cyclamen *Fusarium* wilt - A preliminary report. *Ohio Florist's Assoc. Bull.* 693:1-3.
- HOITINK, H.A.J.; FAHY, P.C. 1986. Basis for the control of soilborne plant pathogens with composts. *Ann. Rev. Phytopathol.* 24:93-114.
- HOITINK, H.A.J.; INBAR, Y.; BOEHM, M.J. 1991. Status of composted-amended potting mixes naturally suppressive to soilborne diseases of floricultural crops. *Plant Dis.* 75:869-873.
- IANNOTTI, D.A.; GREBUS, M.E.; TOTH, B.L.; MADDEN L.V.; HOITINK, H.A.J. 1994. Oxygen respirometry to assess stability and maturity of composted municipal solid waste. *J. Env. Qual.* 23:1177-1183.
- INBAR, Y.; CHEN, Y.; HADAR, Y. 1989. Solid-state carbon-13 nuclear magnetic resonance and infrared spectroscopy of composted organic matter. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 53:1695-1701.
- INBAR, Y.; HADAR, Y.; CHEN, Y. 1993. Recycling of cattle manure: The composting process and characterization of maturity. *J. Environ. Qual.* 22:857-863.
- KANAZAWA, S.; FILIP, Z. 1986. Distribution of microorganisms, total biomass, and enzyme activities in different particles of brown soils. *Microb. Ecol.* 12:205-215.
- KUTER, G.A.; HOITINK, H.A.J.; CHEN, W. 1988. Effects of municipal sludge compost curing time on suppression of *Pythium* and *Rhizoctonia* diseases of ornamental plants. *Plant Dis.* 72:751-756.
- KUTER, G.A.; NELSON, E.B.; HOITINK, H.A.J.; MADDEN, L.V. 1983. Fungal populations in container media amended with composted hardwood bark suppressive and conducive to *Rhizoctonia* damping-off. *Phytopathology* 73:1450-1456.
- KWOK, O.C.H.; FAHY, P.C.; HOITINK, H.A.J.; KUTER, G.A. 1987. Interactions between bacteria and *Trichoderma hamatum* in suppression of *Rhizoctonia* damping-off in bark compost media. *Phytopathology* 77:1206-1212.
- LUMSDEN, R.D.; LEWIS, J.A.; MILLNER, P.D. 1983. Effect of composted sewage sludge on several soilborne pathogens and diseases. *Phytopathology* 73:1543-1548.
- MANDELBAUM, R.; HADAR, Y. 1990. Effects of available carbon source on microbial activity and suppression of *Pythium aphanidermatum* in compost and peat container media. *Phytopathology* 80:794-804.
- MARUGG, C.; GREBUS, M.E.; HANSEN, R.C.; KEENER, H.M.; HOITINK, H.A.J. 1993. A kinetic model of the yard waste composting process. *Compost Sci. & Util.* 1:38-51.
- MAURHOFER, M.; HASE, C.; MEUWLY, P.; MÉTRAUX, J.P.; DÉFAGO, G. 1994. Induction of systemic resistance of tobacco to tobacco necrosis virus by the root-colonizing *Pseudomonas fluorescens* strain CHAO: Influence of the *gac*, a gene and of pyoverdine production. *Phytopathology* 84:139-146.
- NELSON, E.B.; KUTER, G.A.; HOITINK, H.A.J. 1983. Effects of fungal antagonists and compost age on suppression of *Rhizoctonia* damping-off in container media amended with composted hardwood bark. *Phytopathology* 3:1457-1462.
- OWNLEY, B.H.; BENSON, D.M. 1991. Relationship of matrix water potential and air-filled porosity of container media to development of *Phytophthora* root rot of rhododendron. *Phytopathology* 81:936-941.
- PHAE, C.G.; SASKI, M.; SHODA, M.; KUBOTA, H. 1990. Characteristics of *Bacillus subtilis* isolated from composts suppressing phytopathogenic microorganisms. *Soil Sci. Plant Nutr.* 36:575-586.
- QUARLES, W.; GROSSMAM, J. 1995. Alternatives to methyl bromide in nurseries - Disease suppressive media. *The IPM Practitioner* 17(8):1-13.
- SACKENHEIM, R. 1993. Untersuchungen über Wirkungen von Wässerigen, mikrobiologisch aktiven Extracten aus kompostierten Substraten auf den Befall der Weinrebe (*Vitis vinifera*) mit *Plasmopora viticola*, *Uncinula necator*, *Botrytis cinerea* und *Pseudopezicula tracheiphila*. Ph.D.thesis. Rheinische Friedrich-Wilhelms Universität, Bonn, Germany. 157 p.
- SCHNEIDER, R.W. 1985. Suppression of *Fusarium* yellows of celery with potassium chloride and nitrate. *Phytopathology* 75:40-48.
- SCHÜLER, C.; PIKNY, J.; NASIR, N.; VOGTMANN, H. 1993. Effects of composted organic kitchen and garden waste on *Mycosphaerella pinodes* (Berk. et Blox) Vesterg., causal organism of foot rot on peas (*Pisum sativum* L.) *Biolog. Agric. Hort.* 9:353-360.

- STEINMETZ, J.; SCHÖNBECK, F. 1994. Conifer bark as growth medium and carrier for *Trichoderma harzianum* and *Gliodadium roseum* to control *Pythium ultimum* on pea. J. Plant Dis. Prot. 101:200-211.
- TAHVONEN, R. 1982. The suppressiveness of finnish light colored *Sphagnum* peat. J. Sci. Agric. Soc. Finl. 54:345-356.
- TRILLAS-GAY, M.I.; HOITINK, H.A.J.; MADDEN, L.V. 1986. Nature of suppression of *Fusarium* wilt of radish in a container medium amended with composted hardwood bark. Plant Disease: 70:1023-1027.
- WEI, G.; KLOEPPER, J.W.; TUZUN, S. 1991. Induction of systemic resistance of cucumber to *Colletotrichum orbiculare* by select strains of plant growth-promoting rhizobacteria. Phytopathology 81:1508-1512.
- WELTZHIEN, H.C. 1992. Biocontrol of foliar fungal diseases with compost extracts, p. 430-450. In Microbial ecology of leaves. Ed. by J.H. Andrews and S. Hirano. Brock Springer Series in Contemporary Bioscience. BSN 0387-97579-9.
- WOLFFECHEI, H. 1988. The suppressiveness of *Sphagnum* peat to *Pythium* spp. Acta Hort. 221:217-222.
- WORKNEH, F.; VAN BRUGGEN, A.H.C; DRINKWATER, L.E.; SHERMAN, C. 1993. Variables associated with a reduction in corky root and *Phytophthora* root rot of tomatoes in organic compared to conventional farms. Phytopathology 83:581-589.
- WU, T.; BOEHM, M.J.; MADDEN, L.V.; HOITINK, H.A.J. 1993. Sustained suppression of *Pythium* root rot: A function of microbial carrying capacity and bacterial species composition. Phytopathology 83:1406 (Abstr.).
- YOHALEM, D.S.; HARRIS, R.F.; ANDREWS, J.H. 1994. Aqueous extracts of spent mushrooms substrate for foliar disease control. Compost Sci. Util. 2:67-83.
- YOU, M.P.; SIVASITHAMPARAM, K. 1994. Hydrolysis of fluorescein diacetate in an avocado plantation mulch suppressive to *Phytophthora cinnamoni* and its relationship with certain biotic and abiotic factors. Soil Biol. Biochem. 26:1355-1361.
- ZHANG, W.; DICK, W.A.; HOITINK, H.A.J. 1994. Compost induced systemic acquired resistance in cucumber to *Pythium* root rot and anthracnose. Phytopathology 84:1138.