Respuestas fisiológicas de *Zea mays* durante la infección por *Ustilago maydis* bajo diferentes concentraciones de humus en suelo

Physiological responses of *Zea mays* during *Ustilago maydis* infection in different soil humus concentrations

MÉNDEZ-MORÁN, Lucila†*¹, MEZA-CANALES, Iván David¹, ROBLES-MURGUÍA, Celia¹ y LOZA-LLAMAS, América²

¹Departamento de Ecología, ²Departamento de Ciencias Ambientales, Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Camino Ramón Padilla Sánchez No. 2100 Nextipac, Zapopan, Jalisco

ID 1^{er} Autor: Lucila, Méndez-Morán / ORC ID: 0000-0003-4733-6153, Researcher ID Thomson: U-1401-2018, CVU CONACYT ID: 121862

ID 1^{er} Coautor: Iván David, Meza-Canales / ORC ID: 0000-0003-1969-1692, Researcher ID Thomson: U-1531-2019, CVU CONACYT ID: 76500

ID 2^{do} Coautor: Celia, Robles-Murguía / ORC ID: 0000-0001-6413-0478, CVU CONACYT ID: 81038

ID 3^{er} Coautor: América, Loza-Llamas / ORC ID: 0000-0003-1135-0754, Researcher ID Thomson: U-1402-2018, CVU CONACYT ID: 92423

DOI: 10.35429/JBEB.2019.7.3.1.7

Recibido 10 de Enero, 2019; Aceptado 30 Marzo, 2019

Resumen

Los recursos disponibles para el desarrollo de plantas, en ocasiones puede estar limitado ante el gasto energético que se requiere para solventar la defensa fisiológica al ataque contra patógenos. El objetivo del trabajo fue el análisis fisiológico del desarrollo de plantas de *Zea mays* L. crecidas bajo diferentes sistemas de fertilización sostenible, como es el humus de lombriz, y su relación con la respuesta a la infección por *Ustilago maydis*, un hongo biótrofo causante de la enfermedad conocida como carbón común o cuitlacoche en maíz. Plántulas de maíz desarrolladas con diferente % de humus/suelo en condiciones de invernadero se inocularon con *U. maydis* (T1), y plantas no inoculadas como testigo (T0). Las mediciones fisiológicas y de crecimiento en T1 mostraron un efecto significativo en la planta, siendo mayor a 25, 50 y 75%. Tras la infección, el crecimiento de las plantas disminuyó, esto posiblemente a consecuencia de una disminución en la fotosíntesis, sin embargo, la presencia de humus contrarresta parcialmente la infección por el hongo. Las concentraciones altas de humus reflejo un efecto negativo en el crecimiento de la planta. En el futuro, los estudios en campo servirán para deducir la importancia de estas prácticas agrícolas en las respuestas planta-hongo.

Maíz, Humus, *Ustilago maydis*

Abstract

The available resources during plant development, sometimes plant can be limited due to energy used during physiological plant defense to pathogens attacks. The main of this work was the physiological analysis of *Zea mays* plants development under different sustainable fertilization systems, as the earthworm-humus, and their relation with the response to *Ustilago maydis* infection, a biotrophic fungus that causes the disease known as common coal or cuitlacoche in corn. Mize seedlings developed with different % of humus/soil under greenhouse conditions were inoculated with *U. maydis* (T1), and plants not inoculated as control (T0). Physiological and growth measurements in T1 showed a significant effect on the plant, the best was a 25%. After infection, the plants growth was lower as a result in decrease in photosynthesis activity, however, the presence of humus partially counteracts the fungus infection. High concentrations of humus reflected a negative effect on plant growth. In the future, the studies in the field will serve to deduce the importance of these agricultural practices in plant-fungus responses.

Maize, Humus, *Ustilago maydis*

Citación: MÉNDEZ-MORÁN, Lucila, MEZA-CANALES, Iván David, ROBLES-MURGUÍA, Celia y LOZA-LLAMAS, América. Respuestas fisiológicas de *Zea mays* durante la infección por *Ustilago maydis* bajo diferentes concentraciones de humus en suelo. Revista de Ingeniería Biomédica y Biotecnología. 2019. 3-7: 1-7

* Correspondencia del autor (Correo electrónico: lucila.mendez@academicos.udg.mx)
† Investigador contribuyendo como primer autor

Introducción

Ustilago maydis L. es un hongo patógeno que infecta tanto a maíz (*Zea mays*) y teozintle (*Zea mays* ssp. *parviglumis*), este hongo basidiomiceto es el agente etiológico de la enfermedad llamada carbón común o “Cuitlacoche” (Banuett, 1992). El desarrollo del hongo en plantas de maíz depende de su capacidad de establecimiento, siendo un hongo biotrofo depende de la capacidad nutritiva de la planta para establecerse (Zuo W et al., 2019). La adecuada nutrición mineral de un cultivo lo determinan los requerimientos de la planta y la cantidad y disponibilidad de nutrimentos del suelo (Novoa et al. 2018).

La aplicación de materia orgánica humificada al suelo, aporta nutrientes y funciona como base para la formación de múltiples compuestos que mantienen la actividad microbiana, como son: las sustancias húmicas (ácidos húmicos, fulvicos, y huminas) (González et al., 1996). Que al incorporarla ejercerá distintas reacciones en el suelo como son: a) mejora la estructura del suelo, facilitando la formación de agregados estables con lo que mejora la permeabilidad de éstos, aumenta la fuerza de cohesión a suelos arenosos y disminuye ésta en suelos arcillosos, b) mejora la retención de humedad del suelo y la capacidad de retención de agua, c) estimula el desarrollo de plantas (Hartwigsen y Evans, 2000), d) mejora y regula la velocidad de infiltración del agua, disminuyendo la erosión producida por el escurrimiento superficial, e) eleva la capacidad tampón de los suelos, f) su acción quelante contribuye a disminuir los riesgos carenciales y favorece la disponibilidad de algunos micronutrientes (Fe, Cu y Zn) para la planta, g) el humus aporta elementos minerales en bajas cantidades (Piccolo 1996), y es una importante fuente de carbono para los microorganismos del suelo (Félix-Herrán, 2008, Nardi et al., 2009)

El óptimo desarrollo de plantas está determinado por el medio ambiente en el cual se desarrolla, así como de su crecimiento en suelos fértiles. El humus es un fertilizante orgánico que determina un aporte de nutrientes en suelo importantes para la fisiología de la planta. El desarrollo de las plantas en suelos fértiles favorece su desarrollo.

El proceso infectivo de *Ustilago maydis* se encuentra determinado por la fisiología de la planta y susceptibilidad (Zuo W et al., 2019), por lo que el objetivo de este trabajo fue el de analizar el desarrollo de la infección por parte del hongo en plántulas de maíz a diferentes concentraciones de humus y determinar si este tiene un efecto positivo en su proliferación.

Metodología a desarrollar

Material biológico. semillas de maíz (*Zea mayz* L.) obtenidas de semilla comercial variedad cacahuazintle. Las cepas de *U. maydis* fueron obtenidas del cepario del Laboratorio de Biología Molecular interacción planta-patógeno del CUCBA. El humus utilizado fue Fertiquim® Sulfato de amonio 20.5-00-00+24S (N total 20.50%, N total como NH₄ 20.50%, Azufre soluble como S% 24.00% y Acidez libre % H₂SO₄ 0.05% Max). Las mezclas de sustrato se estableció en combinaciones suelo/humus en una relación humus:peat most 0%, 25%, 50%, 75%, 100%).

Establecimiento de tratamientos. Las semillas de maíz se sembraron en condiciones de invernadero en 3 repeticiones por tratamiento; inoculadas (T1) y plantas no inoculadas con *Ustilago maydis* (T2) por cada concentración de humus. Durante el desarrollo de las plantas se consideró el seguimiento de las condiciones ambientales con medición de humedad relativa, temperatura mínima y máxima del ambiente, así como temperatura de suelo. La inoculación de plantas de maíz se hizo a los 12 días después de la germinación por goteo con una solución de una mezcla de cepas de *U. maydis a1b1+a2b2* a una concentración de 1X10⁶ células, aplicando aproximadamente 200 µL por planta con una micropipeta.

Medición de condiciones climáticas. Las plantas se crecieron bajo condiciones de invernadero y se monitoreó temperatura mínima, máxima, humedad relativa y temperatura del suelo, durante todo el muestreo (Supplemental 1). **Análisis de crecimiento.** Para cada tratamiento se registró el crecimiento de plantas mediante medición con flexómetro tomando en cuenta la altura desde la base (suelo) de la planta hasta el ápice, considerando la medición de la hoja más alta en la planta. El ancho de hoja se midió con un vernier de la hoja principal o más alta de la planta.

Actividad fotosintética. Para el análisis fotosintético se cuantificó la actividad de clorofila utilizando el equipo analizador SPAD 502 de medición de Chl-fluorescencia considerando 10 plantas por Tratamiento por duplicado tanto para plantas inoculadas como no inoculadas. Los tiempos de medición fueron considerados a partir del día de inoculación (tiempo 0), y después del tiempo cero se consideró muestreos a los, 7, 11, 14 y 17 días. Los mismos periodos fueron utilizados para la obtención de muestras para la extracción y cuantificación de clorofila a, clorofila b y clorofila Total.

La clorofila se obtuvo por extracción de tejido de hoja, homogeneizado con acetona fría (80% acetona/agua v/v) y centrifugados a 8,000 xg por 10 min a 4° C. El contenido de clorofila fue cuantificado mediante espectrofotometría a 645 y 663 nm según el método de Bruinsma (1961).

Análisis estadístico. El análisis de datos se llevará a cabo estadísticamente para el seguimiento del desarrollo de la planta y actividad fotosintética comparando entre % de humus y plantas inoculadas y no inoculadas con *U. maidis*. Los datos fueron analizados con RStudio (Version 3.5, 2009-2018 RStudio, Inc.). Los supuestos de normalidad y la homogeneidad de la varianza fueron analizados con las pruebas de Shapiro-Wilk y Bartlett, respectivamente. Todos los datos cumplieron los supuestos salvo especificados. Las diferencias estadísticas se analizaron usando tanto con Modelos Lineales Generalizados (GLM) y ANOVAs. Las diferencias específicas entre grupos se realizó tanto con pruebas Posthoc de TukeyHSD ó T de Student (DS reportadas, donde p es: < 0.0001 = '***', < 0.001 = '**', < 0.01 = '*', < 0.05 = '.').

Resultados

Crecimiento del maíz bajo diferentes concentraciones de humus.

Con la intención de visualizar la actividad de la fertilización orgánica en el crecimiento del maíz, se creó a concentraciones crecientes de humus de 0, 25, 50, 75 y 100 % y se monitoreó el crecimiento del tallo y hoja de la planta.

En cualquier concentración de humus se favorece el crecimiento del maíz, tanto del tallo como del ancho de la hoja (Fig. 1 y suplemental-1) con relación a cultivos sin humus (0%). No obstante, no se observaron cambios en la tasa de crecimiento del tallo (Fig.1 cuadro superior). Lo que sugiere que la actividad diferencial del crecimiento en tallo debió ser en etapas tempranas del desarrollo.

Por el contrario, el desarrollo de las hojas si presenta cambios en la tasa de crecimiento a partir del día 7 de análisis (19 de cultivo). Con un mayor incremento en las plantas tratadas con 50% de humus (Fig.1).

En general, se observó una importante actividad del humus en el crecimiento de la planta, sin embargo, las concentraciones intermedias (25, 50, 75 %) de humus mostraron un mayor crecimiento en comparación a las plantas tratadas con 100 % y 0% de humus.

Figura 1 El crecimiento del maíz mejora en condiciones de suelo con un 50% de humus. Las concentraciones de humus se establecen en la imagen como 0%, ○, negro; 25%, △, gris suave; 50%, ◇, gris fuerte; 75%, ▽, verde suave; 100%, □, verde fuerte. Crecimiento foliar (cuadro inferior) y de tallo (cuadro superior). Los tiempos reportados en la figura 1 corresponden a días después de la germinación. Diferencias fueron analizadas por GLM y Tukey HSD.

Crecimiento del maíz infectado con *U. maydis*.

A la par del crecimiento del maíz a concentraciones crecientes de humus (control, T2), se realizó un segundo experimento inoculo al maíz con el hongo *U. maydis* (tratamiento, T1) y se comparó su crecimiento (Fig. 2). La infección redujo la tasa de crecimiento de todas las plantas cultivadas en humus (Fig. 2a), tanto en la altura (cuadros superiores) como en el ancho de las hojas (cuadros inferiores). Las plantas infectadas y con 0% de humus no presentaron diferencias de crecimiento con respecto al control. Sugiriendo plasticidad en el crecimiento de la planta durante la interacción de esta con la disponibilidad de nutrientes proporcionados por el humus.

Figura 2 La infección con *U. maydis* reduce el crecimiento del maíz solo en condiciones fertilizadas con humus. Plantas infectadas (Δ, azul) y controles no infectados (+, negro). Los tiempos reportados en la figura corresponden a días después de la inoculación con *U. maydis*. Los datos en el tiempo cero fueron capturados antes de la inoculación. (b) Muestra la respuesta para cada cultivo (% humus) en los puntos de tiempos de respuesta temprana, media y tardía (días 3, 7 y 17, respectivamente) extraídos de los mismos datos que en (a). Todos los grupos cumplieron con el supuesto de normalidad y la homogeneidad y las diferencias fueron analizados por GLM, ANOVA y prueba t de Student

Pese a ello, el tamaño de la planta y hoja fue mayor en presencia de alguna concentración de humus infectada o no con *U. maydis* en comparación al control con 0% de humus.

La reducción en el crecimiento por *U. maydis* sobre *Z. mays*, se observó solo hasta el día 7 después de la inoculación en todas las concentraciones de humus y se sostuvo por todo el periodo del cultivo (29 días).

Las plantas en condiciones de invernadero a diferentes concentraciones de humus (0, 25, 50, 75, 100%), a doce días después de la germinación, fueron inoculadas con el hongo *U. maydis*, y se analizaron las diferencias en el crecimiento foliar y de tallo en los diferentes tipos de suelo.

Cambios en fluorescencia de la hoja preceden a cambios en crecimiento

Se sabe que muchos estreses bióticos, como la infección por *U. maydis*, afectan los sistemas fotosintéticos. Cambios en la eficiencia de la fotosíntesis podrían explicar parcialmente los cambios en crecimiento, por lo que se midió la fluorescencia de la clorofila como un *proxy* al estado de salud de la maquinaria fotosintética. Las mediciones se realizaron en condiciones estacionarias bajo condiciones de luz estables, donde la señal de fluorescencia de clorofila (Chl)-a puede servir de *proxy* para medir la actividad fotosintética general (Genty et al. 1990; M.Kalaji et al. 2017). Estas mediciones fueron a demás corroboradas con la cuantificación de clorofila (Supplemental). Esta reducción en la fluorescencia presidio a la reducción en las tasas de crecimiento observadas (Fig. 2).

Interesantemente, la reducción en la fluorescencia no fue sostenida durante todo el periodo de cultivo en todos los cultivos. Para los cultivos de 0 a 75% de humus los niveles de fluorescencia volvieron a su estado basal pasado el día 7 después de la inoculación. Las plantas en cultivo con 100% de humus mantuvieron una reducida fluorescencia durante todo el periodo.

Figura 3 Cambios en fluorescencia de la clorofila-a anticipan cambios en el crecimiento de las plantas infectadas con *U. maydis*. Diferencias fueron analizados por GLM, ANOVAs y t de Student.

En la figura 3 se muestra la comparación de la medición de fluorescencia entre plantas infectadas (Δ , azul) y controles no infectados (+, negro) durante el tiempo de cultivo de la planta. Los resultados reflejaron una reducción importante en la fluorescencia de la clorofila en cultivos infectados con respecto a controles no infectados a partir del 3 día después de la inoculación, para todos los cultivos (Fig.3).

Discusión

En este trabajo analizó las respuestas de crecimiento de *Z. mays* al uso del fertilizante orgánico a base de humus de lombriz y a la infección con el hongo biotrófico *U. maydis*. En general, observamos un aumento en la altura y el ancho de las hojas de las plantas que crecieron bajo condiciones de fertilización con humus, sin importar la concentración (Fig. 1). Inesperadamente, el crecimiento en el porcentaje mayor de humus (100%) fue significativamente menor que el observado para concentraciones menores (25, 50 y 75 %). La disminución en el crecimiento de la planta a concentraciones mayores a 75% de humus se puede deber a una deficiencia de P y N disponible en suelo.

Se ha demostrado que un exceso de fertilización en suelo puede disminuir la biodisponibilidad de estos compuestos, menguando su absorción y uso por la planta en su desarrollo (Novoa et al. 2018). Sin embargo, según lo reportado por Novoa et al. (2018) la deficiencia de K y P podría influir en la cantidad de clorofila. Nuestro estudio no observó cambios significativos en la cantidad de clorofila analizado por fluorescencia en condiciones control (sin infección), sugiriendo otros procesos. Alternativamente, la acides del sustrato con 100% de humus, producto de los ácidos contenidos, podría haber generado un efecto tóxico en la planta limitando su crecimiento.

Adicionalmente, no se observaron cambios en la tasa de crecimiento del tallo en ningunas de las condiciones de cultivo (% humus), sugiriendo que la actividad de promoción por la fertilización puede deberse a un desarrollo temprano (previo a las mediciones) o en la germinación de la planta. Por otro lado, la tasa de crecimiento foliar (ancho de hojas, Fig.1) si presento incrementos en condiciones de fertilización media (25 a 75%). En estudios posteriores se deberá evaluar si este crecimiento foliar podría coadyuvar en un crecimiento posterior de la planta o la producción de semillas.

Interesantemente, solo el crecimiento de los cultivos fertilizados se vio afectado cuando se les desafió con el patógeno *U. maydis* (Fig. 2). La altura y el ancho de la hoja de las plantas cultivadas sin humus no se vieron afectadas por la infección, aunque su fluorescencia si se redujo de manera similar al resto de cultivos (Fig.3). Esto podría explicarse a una plasticidad habilitada solo en presencia de recursos no limitados. De acuerdo con la teoría de recursos limitantes, las plantas deben sopesar entre crecer, tolerar o defenderse (Huot et al. 2014). Bajo recursos limitados es posible que la planta invierta todos los recursos a sus actividades básicas de crecimiento y desarrollo. Sin embargo, en presencia de excedentes las plantas podrían redirigir parte de estos recursos a defensas (Yang et al. 2018). La inversión de recursos en defensas en los cultivos fertilizados explicaría el decremento en la tasa de crecimiento en presencia del patógeno.

Alternativamente, el uso de los recursos por parte del hongo podría reducir la tasa de crecimiento del cultivo, sin embargo, no hay razón para sugerir que esto no suceda en los cultivos no fertilizados, donde no se observan cambios en la tasa de crecimiento.

El humus es una mezcla compleja de materia orgánica resultante de la descomposición de la materia vegetal y animal en suelos. La actividad fotosintética de la planta a concentraciones adecuadas de fertilización con niveles de P y K favorables, el crecimiento puede incrementarse, así como la actividad fotosintética lo que claramente se observó en el trabajo a concentraciones de 25, 50 y 75%%. Estos resultados concuerdan con los de Chanca-Poma y Lulo-Taype (2018), donde reportan resultados similares al comparar dosis de fertilizante en suelo. El hecho de que las propiedades de los cultivos con 25 % de humus no difieran significativamente de los cultivos con mayor concentración de humus (50 y 75%), alude a que esta concentración como la más eficiente para el cultivo de maíz.

Conclusiones

El abono orgánico mantiene un efecto positivo en el desarrollo de las plantas de maíz, así como también proporcionó una estabilidad en su crecimiento durante la infección por el patógeno *U. maydis*. Esto demuestra un claro efecto entre % de humus y tiempo de infección.

Durante la infección el crecimiento de la planta disminuyó solo en condiciones de fertilización, probablemente por una plasticidad habilitada por los recursos. Tanto 25 %, como 50 % y 70 % de humus favorecieron el crecimiento y la respuesta ante el patógeno *U. maydis*. Resultados que pueden corresponder a que un estado nutritivo en la planta determina la resistencia al patógeno. Esto además alude al uso de 25 % como el método de fertilización más eficiente, aunque estudios posteriores deberán analizar la calidad y cantidad de semillas.

Finalmente, a concentraciones mayores a 75% de humus en suelo ejercen un efecto tóxico en ambos tratamientos durante el crecimiento de la planta, limitando parcialmente su crecimiento y la respuesta ante el patógeno *U. maydis*.

Anexos

Supplemental 1. Variables ambientales recabadas durante el crecimiento de los cultivos en invernadero. Se monitoreó temperatura ambiental mínima y máxima (ambiental, negro), temperatura del suelo (suelo, café) y humedad relativa (HR%, azul). A la izquierda (grafico de cajas) se muestran los promedio y variación durante todo el monitoreo y a la derecha la temperatura promedio de al menos 3 mediciones independientes recabadas durante el día (9:00, 12:00, 15:00 hrs)

Supplemental 2. Respuestas de crecimiento (altura) del maíz en diferentes % de humus con (azul) y sin infección (blanco) con *U. maydis*, por día. Los días corresponden a tiempos post-infección. Los datos fueron analizados de acuerdo a con lo establecido en la sección de estadística.

Supplemental 3. Mediciones de fluorescencia de la clorofila-a. Se midió la fluorescencia previo a la inoculación con *U. maydis* (tiempo 0) y 2, 3, 8, 11, y 14 días posteriores a la inoculación (tiempos 1 – 5, respectivamente). Diferencias fueron analizados por GLM, ANOVAs y t de Student.

Agradecimiento

Nos gustaría agradecer al apoyo para llevar acabo los experimentos a Goretti Arreola Vázquez, Karen Elizabeth Hernández Contreras, estudiantes de Licenciatura en Biología de la Universidad de Guadalajara. Este proyecto fue financiado por subsidio ordinario para apoyo a proyectos de investigación interno del Departamento de Ecología Aplicada, CUCBA, Universidad de Guadalajara.

Referencias

Banuett F. (1992). *Ustilago maydis*, the delightful blight. Trends Genet., 8, 174-80.

Bellapart. (1996). Nueva Agricultura Biológica. Rio de Janeiro, Brasil: Mundi prensa.

Bollo T. (1999). Enzo Lombricultura: una alternativa de reciclaje. Quito, Perú: Ilus, tab.

Bruinsma J. (1961). A comment on the spectrophotometric determination of chlorophyll. Biochimica et Biophysica Acta, 52, 578-582.

Chanca-Poma W. I. y Lulo-Taype P.J. (2018). Efecto de 05 dosis del BIOL para el rendimiento del cultivo de maíz (*Zea mays* L.) variedad blanca, en condiciones agroecológicas del distrito de huando-provincia y departamento Dehuancavelica. Tesis para obtener el grado de Ingeniero Agrónomo de la Facultad de Ciencias Agrarias, Escuela Profesional de Agronomía de la Universidad Nacional Dehuancavelica, Acombada-Huancavelica Perú.

Félix-Herrán J. A., Sañudo-Torres R. R., Rojo-Martínez G. E., Martínez-Ruiz R. y Olalde-Portugal V. (2008). Importancia de los abonos orgánicos. Ra Ximhai, 4, 57-67.

González P. J., Navarro G., y Fernández O. (1996). La lombricultura, una opción productiva. Agricultura Orgánica, 21, 15-17.

Guerrero A. (1996). El suelo, los abonos y la fertilización de los cultivos. Bilbao, España: Ediciones Mundi-Prensa.

Hartwigsen J. A. y Evans M. R. (2000). Humic Acid Seed and Substrate Treatments Promote Seedling Root Development. Hortscience, 35, 1231-1233

Huot B., Yao J., Montgomery B. L. y Sheng M, He Y. (2014). Growth-Defense Tradeoffs in Plants: A Balancing Act to Optimize Fitness. Molecular Plant, 7, 1267-1287

Nardi S., Carletti P., Pizzeghello D. y Muscolo A. (2009) Biological Activities of Humic Substances, in Senesi, N., Xing, B. & Huang, P. M. (eds) Biophysico-Chemical Processes Involving Nonliving Organic Matter in Environmental Systems. Wiley, Hoboken, NJ, USA, 305-340.

Novoa M. A., Miranda D. y Melgarejo L. M. (2018). Efecto de las deficiencias y excesos de fósforo, potasio y boro en la fisiología y el crecimiento de plantas de aguacate (*Persea americana*, cv. Hass), Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas, 12, 293-307.

Piccolo A. (1996). Humic Substances in Terrestrial Ecosystems. Humus and Soil Conservation. Elsevier science, 225-264.

Yang L., Wen K. S., Ruan X., Zhao Y. Z., Wei F., y Wang Q. (2018). Response of Plant Secondary Metabolites to Environmental, Factors Molecules, 23, 762

Zuo W., Ökmen B., Depotter J. R. L., Ebert M. K., Redkar A., Misas V. J., Doehlemann G. (2019). Molecular Interactions Between Smut Fungi and Their Host Plants. Annu Rev Phytopathol., 57, 411-430