



Roya amarilla del trigo

Nuevas razas en el mundo, monitoreo y uso de fungicidas

Ing. Agr. M Sc Dr Carmona, Marcelo. Profesor Titular Fitopatología

Ing. Agr. Mg. Sautua Francisco. Docente Fitopatología

Universidad de Buenos Aires, Facultad de Agronomía, Cátedra de Fitopatología

Las citas referentes a las royas son muy antiguas y muchas de ellas aparecen en la Biblia. Se creía que su ocurrencia era consecuencia de los castigos de los dioses. A modo de ejemplo, en la época de los romanos, era tan importante la roya negra, que se realizaban procesiones implorando a Robigo, el dios de la roya. En Argentina, alrededor de 1928-1930 apareció por primera vez la roya amarilla, generando importantes daños y pérdidas y obligó a sustituir a los cultivares de trigo de la época, causando daños de alrededor de 2.000.000 toneladas (Lindquist, 1982).

Hasta recientemente, en Argentina la ocurrencia epidemiológica de la roya amarilla causada por *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* (PST), fue siempre esporádica y recluida a regiones con temperaturas medias más bajas, como el Sudesde de la provincia de Buenos Aires. Por ello, nuestro país fue considerado históricamente como zona “marginalmente favorable”. Sin embargo, debido a la difusión de variedades de trigo susceptibles, al surgimiento espontáneo de nuevas razas virulentas de PST, y al cambio climático (Lyon y Broders, 2017), en la presente campaña 2017/2018 se registran y cuantifican epifitias que, en la mayoría de los casos, con variedades susceptibles requieren intervención química. Al presente se registran epifitias en el Sur de Santa Fe, Córdoba, Entre Ríos y norte y sur de Buenos Aires. Similar situación fue observada en la campaña pasada 2016/2017.

Con gran capacidad migratoria a grandes distancias (entre continentes), considerable variabilidad y diversidad genética, altas tasas de mutación de razas avirulentas hacia virulentas, especial adaptación a diferentes ambientes agroecológicos, una alta variabilidad genética (asexual y potencialmente sexual), y significativos daños (kg/ha) y pérdidas (u\$/ha), la roya amarilla o estriada es actualmente el principal desafío fitosanitario del cultivo de trigo a nivel mundial (Chen et al., 2014; Schwessinger, 2016).

Daños

Las royas causan daños debido a la reducción del área fotosintética y del desarrollo de las raíces, lo que finalmente afecta la calidad del grano. Las plantas infectadas, normalmente, producen menor número de espiguillas y forman menor cantidad de granos por espiga. Los granos son de menor tamaño, generalmente chuzos de baja calidad industrial y de menor valor alimentario.

De manera general, los agentes causales de estas enfermedades desvían los compuestos orgánicos sintetizados convirtiéndolos en esporas que son producidas en grandes cantidades. El flujo de carbohidratos a través del floema destinado al llenado de granos, es reducido considerablemente (Carmona et al., 2000).

Históricamente la roya negra del tallo (*Puccinia graminis* f.sp. *tritici*) fue considerada la roya que mayores daños causaba al cultivo de trigo. Sin embargo, actualmente la roya amarilla es la más importante debido a la gran capacidad de expansión geográfica, su alta variabilidad, y por las recientes epidemias en todo el mundo. Actualmente, el 88% de la producción mundial de trigo es susceptible a la roya amarilla o lineal del trigo, lo que lleva, de acuerdo con estimaciones actuales, a daños globales de más de 5 millones de toneladas de trigo y pérdidas anuales equivalentes al valor de 1 billón de dólares (\$USD 1 billion = 1.000 millones usd) (Schwessinger, 2016). Existen estudios que indican que la roya amarilla puede generar el doble de daños que los que provoca la roya anaranjada (Beard et al., 2005). Los daños causados por PST pueden llegar hasta el 100% de disminución de rendimiento en variedades de trigo susceptibles (Chen, 2005; Chen y Kang, 2017). En Europa, la nueva raza Warrior/Ambition de PST afectó gravemente a la mayoría de los genotipos con pérdidas superiores al 50% del rendimiento potencial (Vergara-Díaz et al., 2015).

Nuevas razas

En las últimas campañas agrícolas de trigo en Europa, muchos de los genes de resistencia (*R*) efectivos hasta ese momento, fueron ineficaces durante la incursión devastadora más reciente de nuevas razas de PST, originarias de la región del Himalaya, probablemente a través de la dispersión del viento a larga distancia (Figura 1). En 2009/2010 se detectó por primera vez en Reino Unido, Alemania, Dinamarca, Francia y los países escandinavos la aparición de nuevas razas de roya amarilla (Hansen et al., 2012; de Vallavieille-Pope et al., 2012; Ali et al., 2014), y la enfermedad se distribuyó luego por el resto de Europa, quebrando la resistencia de gran parte de las variedades de trigo europeas. Este nuevo grupo racial de PST fue denominado “Warrior”/“Ambition” debido a que fue identificado por primera vez en las variedades de trigo inglesa y danesa “Warrior”/“Ambition” en 2011 (Hansen et al., 2012; Hubbard et al., 2015; Hovmøller et al., 2016). Esta nueva raza de PST es muy virulenta, y además reemplazó completamente a la población europea existente en 2013. Utilizando 16 marcadores SSR (microsatélite), Hovmøller et al. (2016) genotiparon un subconjunto de 239 aislados seleccionados de un total de 2605 aislados muestreados en 12 países europeos entre los años 2000 y 2014. Sobre la base de pruebas de virulencia, identificaron al menos tres razas de origen no europeo, denominadas “Warrior”, “Kranich” y “Triticale agresivo”. La raza Warrior ya existía en altas frecuencias en el primer año de detección en la mayoría de los países europeos y en gran medida reemplazó a la población

européa anterior a 2011 (Walter et al., 2016). Por el contrario, las otras dos razas exóticas se localizaron en ciertas regiones y/o tipo de cultivo (Hovmøller et al., 2016). Una comparación con aislados de referencia de seis continentes sugirió que las razas Warrior y Kranich se originaron a partir de recombinación sexual en las poblaciones de la región asiática del Himalaya, considerada un centro de diversidad de PST (Figura 1). Sin embargo, la raza Triticale agresivo fue más similar a las poblaciones del Medio Oriente / Asia Central (Hovmøller et al., 2016).

Un caso similar de adaptación de PST a regiones con temperaturas medias más cálidas fue observado en el sur de E.E.U.U. De acuerdo con las investigaciones de Milus et al. (2006), los nuevos aislamientos estaban mejor adaptados y, por lo tanto, fueron más agresivos a temperaturas más altas que los antiguos aislamientos. Estas diferencias pueden haber contribuido a la gravedad de las epidemias registradas en esa región y al rango geográfico de expansión para la roya amarilla en USA. Los nuevos aislamientos terminaron por reemplazar a los viejos, al igual que ocurrió más recientemente en Europa. En E.E.U.U. también se ha comprobado que PST es capaz de acumular diferentes genes de virulencia para producir razas más complejas (Liu et al., 2017). En comparación con la población de 1968 en E.E.U.U., en la que cada raza tenía un número medio de un gen de virulencia, la población de 2009 tenía razas que poseían cada una más de 10 genes de virulencia en promedio. Recientemente en China también se comprobó que PST posee una alta diversidad y recombinación genética (Duan et al., 2017).

Para poder avanzar en la búsqueda de resistencia genética a las nuevas razas de PST que continuamente emergen, es importante unificar y conocer la nomenclatura de las diferentes razas de PST a nivel mundial. Por lo tanto, para integrar todos los estudios previos, a las razas prevalentes asociadas con brotes epidémicos se les asignó un nombre según su linaje genético identificado a través de su genotipificación molecular, comparándolo con los grupos genéticos definidos para todo el mundo (Ali et al., 2017). Por un lado, un subconjunto de 373 aislados que representan razas que causan epidemias en diferentes regiones geográficas fueron genotipadas por marcadores SSR (microsatélite) (Walter et al., 2016); y por otro lado, un subconjunto de 273 aislamientos se genotipó con marcadores SCAR (Sequence Characterized Amplified Region) (Hovmøller et al., 2008; Walter et al., 2016). Cada linaje, que consiste en uno o más genotipos multi-locus estrechamente relacionados ("cepas") de una raza particular (fenotipo de virulencia), fue denominado *Pst* seguido por un número. Las variantes de virulencia fueron designadas por la virulencia adicional observada o (-) en caso de que una nueva variante tuviera menos virulencias que la primera raza definida dentro del linaje considerado. Muchas razas previamente detectadas en la población del noroeste de Europa desde finales de 1950 formaban parte de un solo linaje clonal denominado *PstS0* (Ali et al., 2014; Hovmøller et al., 2016; Thach et al., 2016). *PstS1* y *PstS2* representan dos linajes estrechamente relacionados previamente definidos por marcadores AFLP, microsatélites SSR y marcadores SCAR (Hovmøller et al., 2008; Ali et al., 2014; Walter et al., 2016). *PstS3* representa un linaje clonal predominante en el sur de Europa, el norte de África y el oeste de Asia (Ali et al., 2014). Otro linaje consistente en razas predominantes en triticale en el norte de Europa, denominadas *PstS4* (Hovmøller et al., 2008, 2016). *PstS5* consiste en dos razas dentro de un linaje separado con un perfil microsatélite específico en comparación con los linajes descritos anteriormente (Ali et al., 2014; Hovmøller et al., 2016; Thach et al., 2016). *PstS6* representa un linaje predominante en el este de África con un perfil microsatélite

específico en comparación con otras poblaciones mundiales (Ali et al., 2014; Hovmøller et al., 2016; Thach et al., 2016). Los linajes europeos surgidos recientemente, conocidos por la comunidad agrícola de Europa como Warrior y Kranich, fueron denominados *PstS7* y *PstS8* (Hovmøller et al., 2016). Otro linaje de Asia Central relacionado con *PstS5*, que se ha asociado con epidemias en Asia Central desde 2013, fue denominado *PstS9*. Finalmente, *PstS10* representa un linaje previamente conocido como Warrior(-), detectado por primera vez en Europa en 2012 y prevalente en la mayor parte de Europa desde 2014 (Hovmøller et al., 2017).

Recientemente, dos importantes razas nuevas con genotipos moleculares únicos se detectaron en amplias zonas de Europa/Norte de África y África Oriental/Asia Central, respectivamente (Hovmøller, 2017). Una de las razas, denominada temporalmente como "Pst(nueva)" fue detectada en Marruecos, Italia y el norte de Europa, donde el muestreo se hizo sistemáticamente durante el 2016. Los aislados de esta nueva raza en Sicilia y Marruecos tuvieron un 100% de coincidencia de genotipo. Otra raza fue detectada por primera vez en África oriental en el otoño de 2016, tras ser detectada por primera vez en Afganistán en 2012 y 2013 (temporalmente designada AF2012). Esta raza fue prevalente en epidemias en Etiopía, donde una serie de variedades se vieron gravemente afectadas por la roya amarilla. Todos los aislamientos de la raza compartieron genotipo molecular, incluyendo aislados recogidos en Afganistán y Uzbekistán en 2016, donde las epidemias de roya amarilla estaban muy extendidas (Hovmøller et al., 2017).

En relevamientos del 2016 en Europa, Warrior(-) fue la raza más prevalente, siendo ahora detectada en varios países de Europa del Este y Asia Occidental junto con la raza Warrior original (Hovmøller et al., 2016, 2017). Una nueva variante de Warrior(-) con virulencia adicional a la variedad de trigo "Ambition" fue detectada en varios países. Esta nueva variante de la raza Warrior(-) comparte el fenotipo de virulencia con los aislamientos de la raza Warrior original y sólo puede distinguirse por genotipificación con marcadores SSR. Las razas Triticale2006 y Triticale2015, que en general no infectan variedades europeas de trigo de invierno, se detectaron en triticale y trigo de primavera en varios países. Ambas razas han causado hasta un 100% de pérdida de rendimiento en variedades de triticale susceptibles, que no fueron tratadas con fungicidas (Hovmøller, 2017).

Recientemente se pudo comprobar que *Berberis* spp. también es un hospedante intermediario para la reproducción sexual de la PST (Jin et al., 2010; Jiao et al., 2017). Esta confirmación permite analizar y comprender la potencialidad de recombinaciones y variantes que este patógeno puede presentar en la naturaleza (Jin, 2011; Rodriguez-Algaba et al., 2014).

La dispersión continental de PST se ha demostrado en los últimos años, y se cree que parte de la propagación es a través del viento y parte a través de las actividades humanas. Las urediniosporas se pueden diseminar por el viento a largas distancias (Hau y de Vallavieille-Pope, 2006), y también pueden ser introducidas en nuevas áreas en forma involuntaria, a través de la ropa y los zapatos (Wellings et al., 1987, 2003; Wellings, 2007). Las urediniosporas pueden ser diseminadas por el viento desde pocos metros a 8000 km en una misma temporada de cultivo (Chen y Kang, 2017). Debido a esta capacidad de dispersión por viento por miles de kilómetros entre continentes, los análisis de estructura poblacional de patógenos a gran escala permiten identificar patrones de migración, reservorios de diversidad o longevidad de las poblaciones, la

comprensión de las trayectorias evolutivas actuales y la anticipación de las futuras (Ali et al., 2014). Los análisis confirmaron que el Medio Oriente-África Oriental son la fuente de origen más probable de las cepas recientemente propagadas, adaptadas a la alta temperatura; Europa como fuente de poblaciones sudamericanas, norteamericanas y australianas; y las poblaciones del Mediterráneo-Asia Central como origen de las poblaciones sudafricanas. De acuerdo con estudios de genotipificación con marcadores microsatélites multilocus (multilocus microsatellite), se hipotetiza que la migración de PST hacia América del Sur, estimada en principios del 1900, corresponde a una fuente del noroeste europeo (Figura 1), probablemente a través de la intervención humana y no por el viento (Ali et al., 2014). A escala internacional, un solo estudio relativamente reciente caracterizó la virulencia de la roya amarilla, sus frecuencias y distribución global (Sharma-Poudyal et al., 2013). Incluso un segundo estudio aún más reciente enfatiza la falta de modelos de predicción de aparición de nuevas razas con alto potencial epidémico, lo que subraya la necesidad de inversiones adicionales en biología poblacional, en actividades de monitoreo de patógenos en cultivos alimenticios globales, y evaluaciones de susceptibilidad a enfermedades de variedades de trigo antes del desarrollo epidémico a escala global (Ali et al., 2017). Los mecanismos moleculares y microevolutivos que facilitan el proceso de infección y causan nuevas razas patógenas devastadoras son aún hoy en gran medida desconocidos. Los genomas de PST son altamente heterocigóticos y codifican más de 1000 efectores candidatos (Cantu et al., 2013; Zheng et al., 2013). Por lo tanto, estudios adicionales son necesarios para vincular la virulencia y la estructura racial con los recientes brotes regionales de epidemia de la roya amarilla en diferentes partes del mundo. ***En nuestro país aún no se ha confirmado oficialmente la presencia de nuevas razas.***

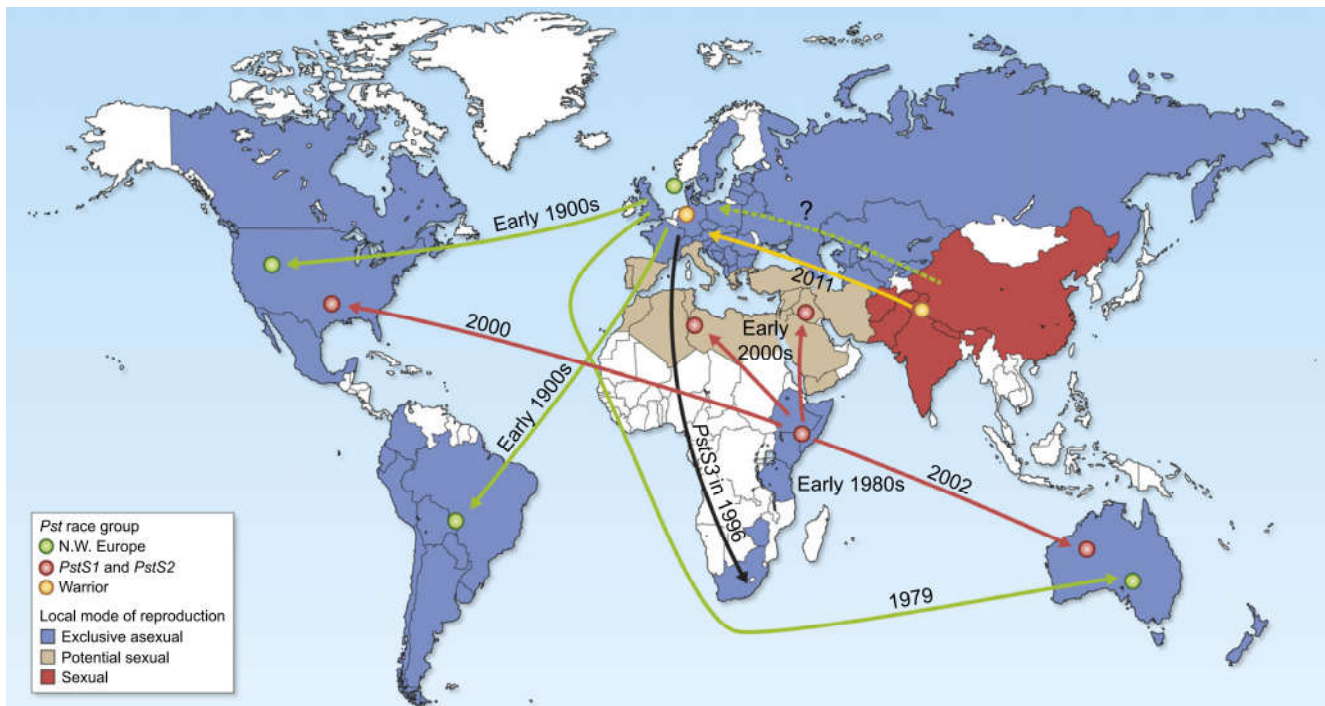


Figura 1. Origen y rutas de migración de grupos de raza de *Puccinia striiformis* f.sp. *tritici* (PST) globalmente más importantes. Los modos de reproducción locales predominantes se representan usando diferentes colores. Fuente: Schwessinger (2016).

Síntomas a nivel lote a tomar en cuenta en el monitoreo: Manchones ¿Por que?

A diferencia de otras royas, es común y frecuente visualizar en los lotes la roya amarilla en manchones o rodales. Frecuentemente pero no siempre, la epidemia crece desde primer nudo a aparición de hoja bandera. Desde lejos se observan áreas cuyo verde perdió intensidad, tornándose amarillentas. El monitoreo debe realizarse especialmente en estas áreas o manchones para recolectar plantas y observar la enfermedad. Es una particularidad de esta roya “aparecer” más ligada a manchones, o en bajos, o en lugares densamente implantados, porque es allí donde se dan mejor las condiciones predisponentes para el desarrollo de la enfermedad (temperaturas frescas y rocío). La proximidad entre las plantas de trigo en las densidades normales de siembra (200-300 plantas/m²) facilita la infección natural y consecuentemente el aumento en la velocidad de desarrollo de la epidemia. Esta misma consideración puede realizarse en el caso de cultivos muy próximos.

El patrón en manchones parecería obedecer a una combinación entre la biología y morfología de las esporas, y la humedad en la atmósfera. Si hay alta humedad relativa, como es frecuente en nuestro país en esta época invernal, las uredosporas se agrupan. Durante la alta humedad en invierno, la mayoría de las esporas permanecen en el aire en pequeños grupos: estos son relativamente pesados y caen fuera del aire rápidamente, por lo que su propagación es mayormente sobre distancias muy cortas, generando los denominados “hot-spots” o manchones.

Con menor humedad, las esporas se dispersan en el aire en forma no agrupada o agregada, y pueden viajar por distancias mucho más largas. Esto puede dar un patrón uniforme de desarrollo de la enfermedad y no en manchones.

Síntomas en planta

La enfermedad puede aparecer en cualquier estadio fenológico. En plántula o estadios vegetativos iniciales, las pústulas no se distribuyen en forma de estrías o líneas, sino más bien en forma de parches, o aglomeradas, o incluso en forma individual, semejando a la roya anaranjada (patrón disperso).

Las pústulas uredosóricas son amarillentas/anaranjadas y frecuentemente dispuestas en estrías alargadas en hojas de plantas adultas a partir de encañazón (Chen, 2010). Aún sin lupa de mano es fácil observar las líneas paralelas con pústulas amarillentas (Foto 1). Esta disposición es la que le da el nombre común a esta roya. Puede observársela también en la cara interna de las glumas, donde produce gran cantidad de uredosporas. Las pústulas teleutosóricas de PST, constituidas por teleutosporas oscuras, tienen tendencia de ocupar la cara superior de las hojas también en forma de estrías y permanecen recubiertas por los tejidos epidérmicos durante mucho tiempo.

Ambiente

De las tres royas que atacan al trigo, la amarilla es la que requiere bajas temperaturas (12-18°C temperatura). Óptimo para la germinación de esporas: 10-12°C (Kolmer et al., 2009) y de 7-15°C para la infección. Las uredosporas de PST pueden perder su viabilidad con temperaturas medias superiores a los 18°C (Kolmer et al., 2009). Sin embargo, actualmente existen cepas adaptadas a mayor temperatura cuyo origen de disseminación es África (Ali et al., 2014). Durante la campaña pasada el registro de temperaturas máximas más bajas y de temperaturas mínimas más altas del mes de julio,

ambas respecto a la media histórica, caracterizó al invierno pasado con un muy bajo valor de la amplitud térmica (Moschini, 2017, Com Pers). Este invierno 2017 parece tener registros más cálidos, lo que genera confusión acerca de las condiciones predisponentes de esta roya amarilla que históricamente estuvo adaptada a regiones y/o temperaturas frescas.

En relación a las condiciones de humedad, las uredosporas de PST necesitan al menos 3 horas con valores cercanos a la saturación. Las lluvias pueden ser predisponentes no por su impacto gravitacional sino porque podrían asegurar las horas de mojado. Sin embargo, lluvias en exceso o intensas podría remover el stock de esporas en el aire (Geagea et al., 1999).

El Jarroudi et al. (2017) desarrollaron un modelo de umbral basado en datos climáticos para predecir epidemias de roya amarilla de trigo. Este modelo predijo con exactitud los episodios de infección, con probabilidades de detección $\geq 0,90$, siendo las falsas alarmas $\leq 0,38$ en promedio, y los índices críticos de éxito oscilaron entre 0,63 y 1. Sería importante desarrollar y validar este tipo de modelos climáticos en Argentina, los cuales podrían integrarse en un sistema operacional de alerta para guiar las aplicaciones de fungicidas.

Uso de fungicidas

Se debe recordar que la resistencia genética es la principal táctica para manejar esta enfermedad. Sin embargo, para variedades susceptibles, la opción química constituye la única herramienta disponible para frenar las epidemias. Actualmente, si bien se están realizando esfuerzos para detectar fuentes de resistencia genética para ser incorporadas en la variedades de trigo (Wang et al., 2016; Wu et al., 2016; Xia et al., 2016; Brar et al., 2017; Dagvadorj et al., 2017; Muleta et al., 2017a,b; Wang et al., 2017; Wu et al., 2017; Yao et al., 2017; Zhu et al., 2017), ***aún no hay variedades resistentes a las nuevas razas de PST.***

Tratamientos de semilla con fungicidas sistémicos

Algunas moléculas triazoles tales como triticonazole, fluquinconazole y flutriafol podrían ofrecer un periodo de protección de hasta 30/40 días aproximadamente (según dosis) especialmente en ataque muy tempranos de roya amarilla.

Fungicidas foliares

En nuestro país aún no existen investigaciones relacionadas con el control químico de la roya amarilla basado en umbrales de daño.

En otros países se recomiendan umbrales de alrededor del 1% de severidad foliar promedio, que sería equivalente, aproximadamente, a la presencia de roya en 35 hojas de cada 100 muestreadas (incidencia) (McLean et al., 2010) o cuando 30-40 hojas por cada 100 presentan PST (Brown y Holmes, 1983; Murray, 2004; Murray et al., 2005).

Sin embargo, estos valores de incidencia parecerían ser elevados, especialmente por la intensidad de ataque que se registra en variedades susceptibles, por lo que se consideran desactualizados. A modo de ejemplo, y en comparación para nuestro país para la roya anaranjada, la relación entre 1% de severidad y la incidencia es de aproximadamente

20%, o sea, 20 hojas por cada 100 muestreadas presentan pústulas de roya anaranjada (Carmona et al., 2000, 2004, 2012; Sugia, 2009).

Por ello se propone como guía orientativa y preliminar, el umbral de 10-20% de incidencia foliar. Similares porcentajes de umbrales de decisión son recomendados al evaluar el momento de aplicación estudiados por Bal (2014).

Se recuerda que es importante evaluar todas las hojas de la planta de trigo, y no solamente las superiores, cercanas a la hoja bandera, ya que las primeras en infectarse son siempre las hojas más jóvenes (inferiores), que son inicialmente más susceptibles, y construyen la epidemia con un patrón de dispersión vertical intraplanta (Farber, 2017).

Las siguientes sugerencias técnicas podrán ser útiles a la hora de definir una aplicación de fungicidas

- 1) Verifique la susceptibilidad de su cultivar sembrado. Así por ejemplo, un gran número de los lotes sembrados con la variedad DM Algarrobo han mostrado la presencia de la enfermedad. Las variedades de trigo con distintos niveles de severidad de roya amarilla son DM Algarrobo, DM Fuste, Klein León, Klein Rayo, DM Ceibo, Klein Serpiente, BIOINTA 1008, Klein Lanza, Buck Claraz y Baguette 601 (Redes de Cultivares, en Campos et al., 2016).
- 2) Proceda al monitoreo de sus lotes especialmente los sembrados más tempranos con variedades susceptibles.
- 3) Si se encuentra en una región donde la amplitud térmica, la ocurrencia de rocío (mínimo de tres horas) y las temperaturas relativamente frescas, son frecuentes considere que está en un ambiente predisponente, y por lo tanto si sembró una variedad susceptible, muy probablemente deberá aplicar fungicida.
- 4) Infórmese si en localidades o regiones cercanas existe la presencia de roya amarilla, ya que es un patógeno que se disemina fácilmente por el viento a largas distancias.
- 5) La detección temprana de los focos dispuesto en “manchones amarillentos” de la roya amarilla podrían ser indicativos para planificar el uso de fungicidas en lotes con genotipos susceptible y ocurrencia de rocío o lluvias que aseguren mojado.
- 6) Planifique el control químico, porque es probable que también deba manejar químicamente a la roya anaranjada y/o roya negra, además de manchas foliares del trigo.
- 7) La posibilidad de aplicar una mezcla de estrobilurina más triazol a la dosis recomendada para roya amarilla y/o roya anaranjada podría ser una muy buena opción. Esta mezcla será también eficiente para el resto de las royas y manchas. Pero para el caso en que la elección sea de triazoles solos, conviene mencionar que además de tener menor periodo de protección y menor actividad preventiva, se deben tener en cuenta que: a) Si hubieran en el mismo lote epidemias de roya anaranjada, se observará menor eficiencia de control por parte de los triazoles (Reis y Carmona, 2011); y b) Observaciones a campo muestran que los triazoles frenan las infecciones recientes pero no pueden controlar eficientemente infecciones más viejas, que llevan una semana o más, y que seguirán su

desarrollo como estrías necróticas hasta una semana más luego de la aplicación, apareciendo visualmente como “una mayor área necrosada”.

- 8) Respete las dosis de marbete de aquellos fungicidas registrados para roya amarilla y anaranjada, especialmente porque aún no hay casos de resistencia a fungicidas de cepas de PST, y la ocurrencia a nivel mundial es intensa y prevalente (Carmona y Sautua, 2017).
- 9) El uso de adyuvantes que favorezcan la penetración (por ejemplo aceite metilado de soja), especialmente en días frescos y/o lluviosos, o en aplicaciones con umbral en exceso o alta intensidad de ataque es también recomendado, pues se requiere que el fungicida penetre y actúe rápidamente.

Si bien la influencia de los adyuvantes en las aplicaciones de fungicida han sido menos estudiados en relación a otros productos fitosanitarios, varias publicaciones muestran cómo éstos incrementan y aceleran la penetración de los fungicidas y aumentan la actividad biológica (deBoer et al., 2013; Hauser-Hahn, et al., 2004; Stock, 1996; Steurbaut, 1993; Halloway et al., 1993; Seaman, 1990). Sin embargo, desde la aparición de la roya asiática de la soja (*Phakopsora pachyrhizi*), los estudios sobre adyuvantes con fungicidas se incrementaron considerablemente. Para enfermedades foliares del trigo, recientemente se han realizado varios trabajos que evalúan el uso de adyuvantes en las aplicaciones con fungicidas (Souza et al., 2014; Coradini et al., 2016; Garcia et al., 2016).

Para roya amarilla específicamente, el uso de adyuvantes a base de ésteres metílicos de ácidos grasos de aceites vegetales (ej. aceite metilado de soja) mejora y acelera la penetración de los fungicidas, disminuye el lavado del fungicida por las lluvias, y aumenta la actividad biológica de aquel, logrando una disminución de la intensidad de la enfermedad y el consecuente aumento del porcentaje de control (deBoer et al., 2013). Sin embargo, se deberá consultar en todos los casos con el fabricante o vendedor de los fungicidas a utilizar para conocer la compatibilidad entre el producto fungicida y el tipo de adyuvante a utilizar.



Foto 1. Disposición de las pústulas en estrías de la roya amarilla en hoja (Carlos Grosso).

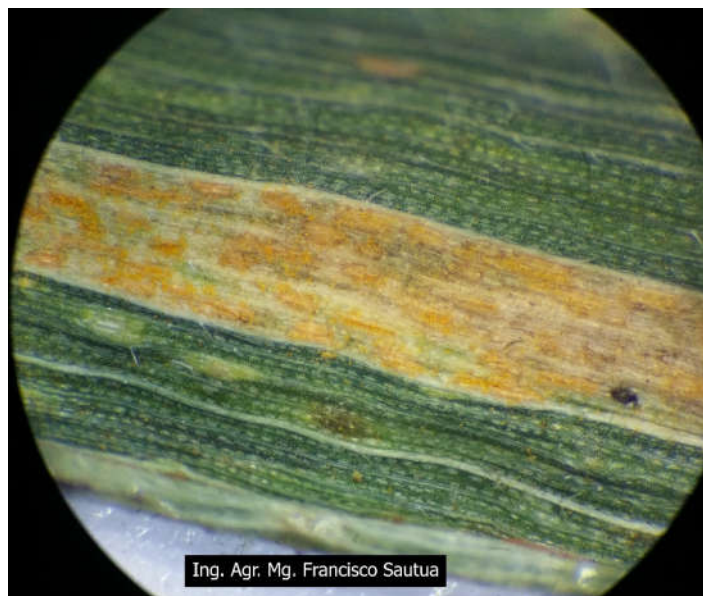


Foto 2. Detalle de pústulas con uredosporas de *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* (PST), provenientes de hojas de trigo (Francisco Sautua). Disponible en: <http://herbariofitopatologia.agro.uba.ar/>



Foto 3. Uredosporas de *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* (PST), provenientes de hojas de trigo (Francisco Sautua). Disponible en: <http://herbariofitopatologia.agro.uba.ar/>

Referencias bibliográficas

- Ali S, Gladieux P, Leconte M, Gautier A, Justesen AF, et al. (2014) Origin, Migration Routes and Worldwide Population Genetic Structure of the Wheat Yellow Rust Pathogen *Puccinia striiformis* f.sp. *tritici*. PLoS Pathog 10(1): e1003903. doi: 10.1371/journal.ppat.1003903
- Ali S, Rodriguez-Algaba J, Thach T, Sørensen CK, Hansen JG, Lassen P, Nazari K, Hodson DP, Justesen AF and Hovmøller MS (2017) Yellow Rust Epidemics Worldwide Were Caused by Pathogen Races from Divergent Genetic Lineages. Front. Plant Sci. 8:1057. doi: 10.3389/fpls.2017.01057
- Bal RS (2014) Effect of some fungicides and time of fungicidal spray on stripe rust of wheat. Journal of Plant and Pest Science 1(1): 39-43.
- Beard C, Loughman R, Thomas G (2005) Managing stripe rust and leaf rust. Farmnote núm. 43/2005. Department of Agriculture. Government of Western Australia.

- Brar GS, Graf R, Knox R, Campbell H, Kutcher HR (2017) Reaction of differential wheat and triticale genotypes to natural stripe rust [*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*] infection in Saskatchewan, Canada, Canadian Journal of Plant Pathology. doi: 10.1080/07060661.2017.1341433
- Brown JS, Holmes RJ (1983) Guidelines for use of foliar sprays to control stripe rust of wheat in Australia. Plant Disease 67: 485-487.
- Campos P, Formento N, Couretort L, Alberione E (2016) Aparición epifítica de roya amarilla del trigo en la región pampeana argentina. Disponible en: <http://inta.gob.ar/documentos/aparicion-epifitica-de-roya-amarilla-del-trigo-en-la-region-pampeana-argentina>
- Cantu D, Segovia V, MacLean D, Bayles R, Chen X, Kamoun S, Dubcovsky J, Saunders DG, Uauy C (2013) Genome analyses of the wheat yellow (stripe) rust pathogen *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* reveal polymorphic and haustorial expressed secreted proteins as candidate effectors. BMC Genomics 14: 270. doi: 10.1186/1471-2164-14-270
- Carmona M, Reis EM, Cortese P (2000) Royas del Trigo. Diagnóstico, epidemiología y estrategias de control. 21 pp. 2000. ISBN 987-43-2641-7.
- Carmona M, Sugía V, Jaeggi E, Reis EM (2004) Roya de la hoja de trigo (*Puccinia triticina*): estimación de daños y pérdidas, y su relación con el control químico como estrategia racional y económica. Fitopatología Brasileira 29: 90.
- Carmona M, Sautua F, Reis EM (2012) Sistemas de ayuda a la decisión de control químico en cultivos de trigo y cebada. 155-166 pp. En: “Cereales de invierno: la investigación científico-técnica desarrollada por el INBA, CONICET-FAUBA, el BIOLAB Azul, CIC-PBA-FIBA-FAUNCPBA, la Facultad de Agronomía-UBA y la Facultad de Agronomía-UNCPBA”. Compilado por Stenglein SA, Rogers WJ, Carmona M, Lavado R. 1ª ed., Tandil, Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires. 238 p. ISBN 978-950-658-301-9
- Carmona M, Sautua F (2017) La problemática de la resistencia de hongos a fungicidas. Causas y efectos en cultivos extensivos. Agronomía & Ambiente Rev. Facultad de Agronomía UBA 37(1): 1-19. Disponible en: <http://ri.agro.uba.ar/files/download/revista/agronomiayambiente/2017carmonamarcelo.pdf>
- Coradini, Cezar, Piccinini, Fernando, Reimche, Geovane Boschmann, Costa, Ivan Francisco Dressler da, & Machado, Sérgio Luiz de Oliveir. 2016. Efeito de óleo essencial de laranja associados a fungicidas no controle de doenças foliares do trigo. Summa Phytopathologica 42(1): 105-106. doi: 10.1590/0100-5405/2020
- Chen XM (2005) Epidemiology and control of stripe rust [*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*] on wheat. Canadian Journal of Plant Pathology 27: 314-337. doi: 10.1080/07060660509507230
- Chen XM (2010) Stripe Rust. In: Bockus WW, et al. Compendium of Wheat Diseases and Pests. 3rd edition. APS Press. pp. 55-58

- Chen W, Wellings C, Chen X, Kang Z, Liu T (2014) Wheat stripe (yellow) rust caused by *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*. Molecular Plant Pathology, 15: 433–446. doi:10.1111/mpp.12116
- Chen XM, Kang Z (2017) Stripe Rust. Springer Netherlands. 719 p. doi: 10.1007/978-94-024-1111-9
- Dagvadorj B, Ozketen AC, Andac A, Duggan C, Bozkurt TO, Akkaya MS (2017) A *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* secreted protein activates plant immunity at the cell surface. Nature Scientific Reports 7: 1141. doi:10.1038/s41598-017-01100-z
- deBoer GJ, Nott P, Kemmitt GM (2013) Use of Uptake Spraying Oil to improve fungicidal activity of the triazole fungicide fenbuconazole on *Puccinia triticina* and *Puccinia striiformis* rusts of wheat. Online. Plant Health Progress (online). doi:10.1094/PHP-2013-0528-01- RS
- de Vallavieille-Pope C, Ali S, Leconte M, Enjalbert J, Delos M, Rouzet J (2012) Virulence dynamics and regional structuring of *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* in France between 1984 and 2009. Plant Disease 96: 131-140. doi: 10.1094/PDIS-02-11-0078
- Duan X, Tellier A, Wan A, Leconte M, de Vallavieille-Pope C, Enjalbert J (2017) *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* presents high diversity and recombination in the over-summering zone of Gansu, China. Mycologia 102(1): 44-53. doi: 10.3852/08-098
- El Jarroudi M, Kouadio L, Bock CH, El Jarroudi M, Junk J, Pasquali M, Maraite H, Delfosse P (2017) A Threshold-Based Weather Model for Predicting Stripe Rust Infection in Winter Wheat. Plant Disease 101(5): 693-703. doi: 10.1094/PDIS-12-16-1766-RE
- Farber D (2017) The primary disease gradient of Wheat Stripe Rust (*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*) across spatial scales. Ph. D. Thesis, Oregon State University. 159 p. Disponible en: <https://ir.library.oregonstate.edu/xmlui/handle/1957/59932?show=full>
- Garcia LC, Machado Júnior CR, Bochnia GP, Weirich Neto PH, Raetano CG (2016) Adjuvants in fungicide spraying in wheat and soybean crops. Engenharia Agrícola 36(6): 1110-1117. doi: 10.1590/1809-4430-eng.agric.v36n6p1110-1117/2016
- Geagea L, Huber L, Sache I (1999) Dry-dispersal and rain-splash of brown (*Puccinia recondita* f.sp. *tritici*) and yellow (*P. striiformis*) rust spores from infected wheat leaves exposed to simulated raindrops. Plant Pathology 48:472–482. doi:10.1046/j.1365-3059.1999.00372.x
- Halloway PJ, Rees RT, Stock D (1993) Interactions Between Adjuvants, Agrochemicals and Target Organisms (Ernst Schering Research Foundation Workshop ; 12 Ed Springer, 192 pp. ISBN 978-3-662-02990-9 ISBN 978-3-662-02988-6 (eBook)
- Hansen JG, Lassen P, Hovmoller M, Hodson D (2012) ICT framework for global wheat rust surveillance and monitoring. 10th Conference of European Foundation for Plant Pathology, Wageningen, The Netherlands, 2012.

- Hau B, de Vallavieille-Pope C (2006) Wind-dispersed diseases. In: Cooke B, Jones D, Kaye B (eds). The Epidemiology of Plant Diseases. Springer, Dordrecht
- Herbario Virtual de Fitopatología de la Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires. Disponible en: <http://herbariofitopatologia.agro.uba.ar/>
- Hovmøller MS, Yahyaoui AH, Milus EA, Justesen AF (2008). Rapid global spread of two aggressive strains of a wheat rust fungus. *Molecular Ecology* 17, 3818-3826. doi: 10.1111/j.1365-294X.2008.03886.x
- Hovmøller MS, Walter S, Bayles RA, Hubbard A, Flath K, Sommerfeldt N, Leconte M, Czembor P, Rodriguez-Algaba J, Thach T, Hansen JG, Lassen P, Justesen AF, Ali S, de Vallavieille-Pope C (2016) Replacement of the European wheat yellow rust population by new races from the centre of diversity in the near-Himalayan region. *Plant Pathology* 65: 402–411. doi: 10.1111/ppa.12433
- Hovmøller MS, Rodriguez-Algaba J, Thach T, Justesen AF, Hansen JG (2017) Report for *Puccinia striiformis* race analyses and molecular genotyping 2016, Global Rust Reference Center (GRRC), Aarhus University, Flakkebjerg, DK- 4200 Slagelse, Denmark. 2 February, 2017.
- Hubbard A, Lewis CM, Yoshida K, Ramirez-Gonzalez RH, deVallavieille-Pope C, Thomas J, Kamoun S, Bayles R, Uauy C, Saunders DG (2015) Field pathogenomics reveals the emergence of a diverse wheat yellow rust population. *Genome Biology* 16: 23. doi: 10.1186/s13059-015-0590-8
- Jiao M, Tan C, Wang L, Guo J, Zhang H, Kang Z, Guo J (2017) Basidiospores of *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* succeed to infect barberry, while Urediniospores are blocked by non-host resistance. *Protoplasma* (online): 1-10. doi: 10.1007/s00709-017-1114-z
- Jin Y, Szabo LJ, Carson M (2010) Century-old mystery of *Puccinia striiformis* life history solved with the identification of *Berberis* as an Alternate Host. *Phytopathology* 100: 432-435. doi: 10.1094/PHYTO-100-5-0432
- Jin Y (2011) Role of *Berberis* spp. as alternate hosts in generating new races of *Puccinia graminis* and *P. striiformis*. *Euphytica* 179(1):105–108.
- Kolmer J, Chen X, Jin Y (2009) Diseases which Challenge Global Wheat Production- The Wheat Rusts, in *Wheat Science and Trade* (ed. Carver BF), Wiley-Blackwell, Oxford, UK. doi: 10.1002/9780813818832.ch5
- Lindquist JC (1982) *Royas de la República Argentina y zonas limítrofes*. Colección científica del INTA. 574 p.
- Liu T, Wan A, Liu D, Chen X (2017) Changes of Races and Virulence Genes in *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*, the Wheat Stripe Rust Pathogen, in the United States from 1968 to 2009. *Plant Disease* 101(8): 1522-1532. doi: 10.1094/PDIS-12-16-1786-RE

- Lyon B, Broders K (2017) Impact of climate change and race evolution on the epidemiology and ecology of stripe rust in central and eastern U.S. and Canada. Canadian Journal of Plant Pathology. doi: 10.1080/07060661.2017.13687+
- McLean M, Henry F, Hollaway G (2010) Stripe rust management in wheat. BCG 2010 Season Research Results: 140-142.
- Milus, E. A., Seyran, E., and McNew, R. 2006. Aggressiveness of *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* isolates in the south-central United States. Plant Dis. 90:847-852. doi: 10.1094/PD-90-0847
- Muleta KT, Bulli P, Ryneerson S, Chen X, Pumphrey M (2017a) Loci associated with resistance to stripe rust (*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*) in a core collection of spring wheat (*Triticum aestivum*). PLoS ONE 12(6): e0179087. doi: 10.1371/journal.pone.0179087
- Muleta KT, Rouse MN, Ryneerson S, Chen X, Buta BG, Pumphrey MO (2017b) Characterization of molecular diversity and genome-wide mapping of loci associated with resistance to stripe rust and stem rust in Ethiopian bread wheat accessions. BMC Plant Biology 17:134. doi: 10.1186/s12870-017-1082-7
- Murray G (2004) Stripe rust- Spray thresholds, economics of control and risks from sucker varieties, GRDC Research Updates, www.grdc.com.au.
- Murray G, Wellings C, Simpfendorfer S, Cole C (2005) Stripe rust: Understanding the disease in wheat. Department of Primary Industries, State of New South Wales, Australia.
- Rahmatov M (2016) Genetic Characterisation of Novel Resistance Alleles to Stem Rust and Stripe Rust in Wheat-Alien Introgression Lines. Alnarp: Swedish University of Agricultural Sciences.
- Reis EM, Carmona M (2011) Sensibilidade de razas de *Puccinia triticina* a fungicidas. En: II SIMPOSIO NACIONAL DE AGRICULTURA, FAGRO - GTI Agricultura y IPNI Cono Sur. pp 89-94. 29 y 30 de setiembre de 2011, Paysandu, Uruguay. Ed. Universidad de la República, Montevideo, Uruguay - Hemisferio Sur. ISBN 978-9974-0-0781-9
- Rodriguez-Algaba J, Walter S, Sørensen CK, Hovmøller MS, Justesen AF (2014) Sexual structures and recombination of the wheat rust fungus *Puccinia striiformis* on *Berberis vulgaris*. Fungal Genetics and Biology 70: 77-85. doi: 10.1016/j.fgb.2014.07.005
- Seaman D (1990) Trends in the formulation of pesticides: An overview. Pesticide Science 29: 437-449.
- Schwessinger B (2016) Fundamental wheat stripe rust research in the 21st century. New Phytologist (online). doi: 10.1111/nph.14159
- Sharma-Poudyal D, Chen XM, Wan AM, Zhan GM, Kang ZS, Cao SQ, Jin SL, Morgounov A, Akin B, Mert Z, Shah SJA, Bux H, Ashraf M, Sharma RC,

- Madariaga R, Puri KD, Wellings C, Xi KQ, Wanyera R, Manninger K, Ganzález MI, Koyda M, Sanin S, Patzek LJ (2013) Virulence characterization of international collections of the wheat stripe rust pathogen, *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*. Plant Disease 97: 379-386. doi: 10.1094/PDIS-01-12-0078-RE
- Souza BJRd, Perez PH, Bauer FC, Raetano CG, Weirich Neto PH, Garcia LC (2014) Adjuvantes em pulverizações de fungicidas na cultura do trigo. Ciência Rural 44(8): 1398-1403. doi: 10.1590/0103-8478cr20131099
- Steurbaut W (1993) Adjuvants for use with foliar fungicides. Pesticide Science 38: 85-91.
- Stock D (1996) Achieving optimal biological activity from crop protection formulations: Design or chance? Pages 791-800 In: Proc. of the Brighton Crop Prot. Conf. 1996, Pests and Diseases. Vol. 3. British Crop Prot. Counc., Farnham, Surrey, UK.
- Sugia V (2009) Impacto de la roya de la hoja del trigo (*Puccinia triticina*) sobre el rendimiento del cultivo. coeficiente de daño y curva de progreso de la enfermedad. Tesis Magister Scientiae en Protección Vegetal (Universidad Nacional de La Plata) 68 p.
- Thach T, Ali S, de Vallavieille-Pope C, Justesen AF, Hovmøller MS (2016) Worldwide population structure of the wheat rust fungus *Puccinia striiformis* in the past. Fungal Genetics and Biology 87: 1-8. doi: 10.1016/j.fgb.2015.12.014
- Vergara-Díaz O, Kefauver SC, Elazaba A, Nieto-Taladriz MT, Araus JL (2015) Grain yield losses in yellow-rusted durum wheat estimated using digital and conventional parameters under field conditions. The Crop Journal 3 200-210. doi: 10.1016/j.cj.2015.03.003
- Walter S, Ali S, Kemen E, Nazari K, Bahri BA, Enjalbert J, Hansen JG, Brown JKM, Sicheritz-Ponten T, Jones J, de Vallavieille-Pope C, Hovmøller MS, Justesen AF (2016) Molecular markers for tracking the origin and worldwide distribution of invasive strains of *Puccinia striiformis*. Ecology and Evolution 6(9): 2790-2804. doi: 10.1002/ece3.2069
- Wang X, Yang B, Li K, Kang Z, Cantu D, Dubcovsky J (2016) A Conserved *Puccinia striiformis* Protein Interacts with Wheat NPR1 and Reduces Induction of Pathogenesis-Related Genes in Response to Pathogens. Molecular Plant-Microbe Interactions 29(12): 977-989. doi: 10.1094/MPMI-10-16-0207-R
- Wang B, Sun Y, Song N, Zhao M, Liu R, Feng H, Wang X, Kang Z (2017) *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* microRNA-like RNA 1 (Pst-milR1), an important pathogenicity factor of Pst, impairs wheat resistance to Pst by suppressing the wheat pathogenesis-related 2 gene. New Phytol, 215: 338-350. doi:10.1111/nph.14577
- Wellings CR, McIntosh RA, Walker J (1987) *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* in eastern Australia-possible means of entry and implications for plant quarantine. Plant Pathology 36: 239-241. doi: 10.1111/j.1365-3059.1987.tb02230.x

- Wellings CR, Wright DG, Keiper F, Loughman R (2003) First detection of wheat stripe rust in Western Australia: evidence for a foreign incursion. *Australasian Plant Pathology* 32(2): 321–322. doi: 10.1071/AP03023
- Wellings CR (2007) *Puccinia striiformis* in Australia: a review of the incursion, evolution, and adaptation of stripe rust in the period 1979–2006. *Australian Journal of Agricultural Research* 58: 567–575. doi: 10.1071/AR07130
- Wu JH, Wang QL, Chen XM, Wang MJ, Mu JM, Lv XN, Huang LL, Han DJ, Kang ZS (2016) Stripe rust resistance in wheat breeding lines developed for central Shaanxi, an overwintering region for *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* in China. *Canadian Journal of Plant Pathology* 38(3): 317–324. doi: 10.1080/07060661.2016.1206039
- Wu J, Wang Q, Liu S, Huang S, Mu J, Zeng Q, Huang L, Han D and Kang Z (2017) Saturation Mapping of a Major Effect QTL for Stripe Rust Resistance on Wheat Chromosome 2B in Cultivar Napo 63 Using SNP Genotyping Arrays. *Front. Plant Sci.* 8:653. doi: 10.3389/fpls.2017.00653
- Xia CJ, Wang MN, Wan AM, Jiwan DA, See DR, Chen XM (2016) Association Analysis of SP-SNPs and Avirulence Genes in *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*, the Wheat Stripe Rust Pathogen. *American Journal of Plant Sciences* 7: 126–137. doi: [10.4236/ajps.2016.71014](https://doi.org/10.4236/ajps.2016.71014)
- Yao Q, He MM, Hou L, Yan JH, Guo QY, Jing JX, Kang ZS (2017) Genetic analysis and molecular mapping of stripe rust resistance genes in Chinese native wheat (*Triticum aestivum*) Lankao 5. *Australasian Plant Pathology* 46(3): 213–221. doi:10.1007/s13313-017-0478-z
- Zheng W, Huang L, Huang J, Wang X, Chen X, Zhao J, Guo J, Zhuang H, Qiu C, Liu J, Liu H, Huang X, Pei G, Zhan G, Tang C, Cheng Y, Liu M, Zhang J, Zhao Z, Zhang S, Han Q, Han D, Zhang H, Zhao J, Gao X, Wang J, Ni P, Dong W, Yang L, Yang H, Xu J-R, Zhang G, Kang Z (2013) High genome heterozygosity and endemic genetic recombination in the wheat stripe rust fungus. *Nature Communications* 4: 2673. doi: 10.1038/ncomms3673
- Zhu X, Liu W, Chu X, Sun Q, Tan C, Yang Q, Jiao M, Guo J, Kang Z (2017) The transcription factor PstSTE12 is required for virulence of *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*. *Molecular Plant Pathology*. Accepted Author Manuscript. doi:10.1111/mpp.12582