

Ketahanan Sepuluh Genotipe Kedelai terhadap Penyakit Karat

The Resistance of Ten Soybean Genotypes to Rust Disease

Sumartini dan Apri Sulisty*o

Balai Penelitian Tanaman Aneka Kacang dan Umbi, Malang 65101

ABSTRAK

Infeksi penyakit karat yang disebabkan oleh *Phakopsora pachyrhizi* dapat menyebabkan kehilangan hasil pada kedelai hingga 75%. Salah satu cara mengatasinya ialah dengan menanam varietas tahan. Tujuan penelitian ialah menguji ketahanan 10 genotipe kedelai terhadap penyakit karat. Penelitian dilaksanakan di rumah kaca menggunakan rancangan acak kelompok dengan 3 ulangan. Inokulasi pada tanaman berumur 3 minggu dilakukan dengan menyemprotkan suspensi spora *P. pachyrhizi* (kepadatan urediniospora 10^4 mL^{-1}) ke permukaan daun pada 10 genotipe kedelai (MLGG 0005, MLGG 0253, MLGG 0465, MLGG 0470, var. Argomulyo, var. Tanggamus, var. Wilis, var. Burangrang, var. Grobogan, dan var. Dering 1). Hasil penelitian menunjukkan bahwa seluruh genotipe kedelai yang diuji tergolong agak tahan terhadap penyakit karat berdasarkan metode IWGSR. Pada kondisi terinfeksi penyakit karat, kedelai var. Wilis dan Dering 1 mampu menghasilkan biji per tanaman tertinggi, masing-masing seberat 7.15 dan 5.21 g.

Kata kunci: aksesi plasma nutfah, IWGSR, *Phakopsora pachyrhizi*, varietas kedelai

ABSTRACT

Rust disease caused by *Phakopsora pachyrhizi* can reduce soybean yields up to 75%. One solution to overcome the rust disease is by planting resistant varieties. The aim of this study was to evaluate the resistance of 10 soybean genotypes to rust disease. The research was conducted in the greenhouse. The experiment was arranged in a randomized complete block design with three replications. Inoculation of rust pathogen on 3 weeks-old plants was done by spraying urediniospore suspension (density 10^4 mL^{-1}) to the surface of the leaves on the 10 soybean genotypes (MLGG 0005, MLGG 0253, MLGG 0465, MLGG 0470, var. Argomulyo, var. Tanggamus, var. Wilis, var. Burangrang, var. Grobogan, dan var. Dering 1). The results showed that all soybean genotypes were classified as moderately resistant to rust diseases based on the method of IWGSR. Although the plants were infected by rust disease, var. Wilis and Dering 1 produced the highest seed yield per plant (7.15 and 5.21 g, respectively), due to the good appearance of the plants, and the high number of branches, reproductive nodes, and number of filled pods. Therefore, these genotypes might be used as a good germplasm accession.

Key words: germplasm accession, IWGSR, *Phakopsora pachyrhizi*, soybean variety

PENDAHULUAN

Kedelai merupakan salah satu komoditas pangan terpenting di Indonesia. Tahu, tempe, kecap, dan susu merupakan produk olahan yang menggunakan biji kedelai. Umumnya kedelai berbiji besar berwarna kuning untuk

pembuatan tempe dan susu, sedangkan biji kecil berwarna kuning untuk kecambah sayur dan tahu, dan kedelai biji kecil dan besar berwarna hitam untuk pembuatan kecap. Usaha meningkatkan produksi kedelai di Indonesia sering menemui hambatan, salah satunya adalah infeksi penyakit karat.

*Alamat penulis korespondensi: Balai Penelitian Tanaman Aneka Kacang dan Umbi, Jalan Raya Kendalpayak Km 8, Kotak Pos 66, Malang 65101.
Tel: 0341-801468, Faks: 0341-801496, Surel: apri.sulisty*o@gmail.com

Penyakit karat yang disebabkan oleh *Phakopsora pachyrhizi* telah menyebar luas di sentra penghasil kedelai di dunia dan mengakibatkan kehilangan hasil. Laporan pertama penyakit karat dimulai dari Jepang pada tahun 1902, lalu menyebar ke India tahun 1951 dan Afrika (Kenya, Rwanda, dan Uganda) pada tahun 1996 (Miles *et al.* 2003). Di benua Amerika, penyakit ini terdeteksi pertama di Paraguay tahun 2001 dan di Brasil tahun 2002. Kehilangan hasil akibat cendawan karat bervariasi dari 28% di Argentina (Formento 2008) dan 75% di Brasil (Yorinori *et al.* 2005).

Salah satu cara pengendalian penyakit ini ialah dengan menanam varietas tahan. Ketahanan kedelai terhadap penyakit karat dikendalikan secara poligenik. Sampai saat ini, 6 gen dominan, yaitu *Rpp1*, *Rpp2*, *Rpp3*, *Rpp4*, *Rpp5*, dan *Rpp?* *Hyuuga* diketahui mengendalikan ketahanan kedelai terhadap penyakit karat (Tukamuhabwa dan Maphosa 2010). Garcia *et al.* (2008) menambahkan bahwa terdapat gen resesif yang ikut berperan dalam mengendalikan sifat ketahanan terhadap penyakit karat.

Di Indonesia, ketahanan terhadap penyakit karat merupakan salah satu syarat wajib dalam pelepasan varietas kedelai. Di antara varietas kedelai yang telah dilepas, hanya beberapa saja yang tahan terhadap penyakit karat. Varietas kedelai yang tahan terhadap penyakit karat saat ini kemungkinan akan menjadi tidak tahan di masa yang akan datang karena *P. pachyrhizi* dapat membentuk ras-ras baru yang lebih virulen. Oleh karena itu, pengembangan kedelai galur-galur unggul tahan penyakit karat masih dibutuhkan. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi ketahanan genotipe-genotipe kedelai terhadap penyakit karat.

BAHAN DAN METODE

Penelitian menggunakan 10 genotipe kedelai yang terdiri atas 4 aksesori plasma nutfah (MLGG 0005, MLGG 0253, MLGG 0465, dan MLGG 0470) dan 6 varietas (Argomulyo, Tanggamus, Wilis, Burangrang, Grobogan, dan Dering 1). Seluruh materi genetik uji

ditanam dalam pot kantong plastik berdiameter 35 cm dan tinggi 35 cm masing-masing 5 biji per pot. Sebanyak 2 tanaman yang tumbuh baik dipilih saat tanaman berumur 2 minggu setelah tanam (MST). Medium tanam yang digunakan adalah tanah dan pupuk kompos dengan perbandingan 1:1. Pupuk NPK dengan dosis 5 g per pot diberikan pada saat tanam. Penelitian disusun dalam rancangan acak kelompok dengan 3 ulangan.

Suspensi urediniospora *P. pachyrhizi* disiapkan di laboratorium sehari sebelum inokulasi. Tanaman yang terinfeksi penyakit karat secara alami di lapangan digunakan sebagai sumber inokulum. Daun yang terinfeksi diinkubasi pada kelembapan 100%. Setelah 24 jam, spora yang dihasilkan diambil menggunakan kuas lalu disuspensikan menggunakan air suling hingga diperoleh kepadatan urediniospora 10^4 mL⁻¹. Selanjutnya, suspensi spora dihomogenkan menggunakan Tween-20, 2 tetes per liter. Inokulasi dilakukan pada tanaman berumur 3 MST dengan cara menyemprotkan suspensi spora ke permukaan daun.

Pengamatan keparahan penyakit karat mengikuti metode *international working group on soybean rust rating system* (IWGSR) dan dilakukan 3 kali, mulai dari 1 minggu setelah inokulasi (MSI) hingga 3 MSI. Metode IWGSR menggunakan sistem skor 3 angka untuk mengelompokkan ketahanan kedelai terhadap penyakit karat (Tukamuhabwa dan Maphosa 2010). Angka pertama menunjukkan posisi teratas dari daun yang terinfeksi (1 = 1/3 bagian bawah, 2 = 1/3 bagian tengah, dan 3 = 1/3 bagian atas kanopi). Angka kedua menunjukkan kepadatan pustul karat pada daun yang paling terinfeksi (1 = tidak ada pustul, 2 = 1–8 pustul cm⁻², 3 = 9–16 pustul cm⁻², dan 4 = >16 pustul cm⁻²). Angka ketiga menunjukkan jenis infeksi (1 = tidak ada pustul, 2 = pustul tanpa ada spora, dan 3 = pustul dengan spora) (Tabel 1). Pengamatan karakter agronomi meliputi umur berbunga, tinggi tanaman, jumlah cabang, jumlah buku subur, jumlah polong isi, dan hasil biji per tanaman. Seluruh data yang diperoleh kemudian dianalisis menggunakan perangkat

lunak statistik PKBT-STAT 1.0, kecuali untuk keparahan penyakit.

HASIL

Masa inkubasi penyakit karat ialah 7–14 hari setelah inokulasi (HSI). Ada beda jumlah pustul yang diamati baik intergenotipe maupun antargenotipe, terutama setelah 2 dan 3 MSI (Tabel 2). Hasil pengamatan pada 2 MSI memperlihatkan bahwa jumlah pustul terendah terdapat pada varietas Burangrang (6 pustul cm⁻²) dan tertinggi pada aksesori MLGG 0465 (18 pustul cm⁻²). Sementara pengamatan pada 3 MSI, aksesori MLGG 0470 memiliki jumlah pustul terendah (8 pustul cm⁻²) dan MLGG 0465 memiliki jumlah pustul tertinggi (20 pustul cm⁻²). Hal ini berarti bahwa terdapat perbedaan respons dari genotipe kedelai yang diuji terhadap penyakit karat.

Walaupun terdapat perbedaan jumlah pustul antargenotipe, tetapi reaksi ketahanan genotipe-genotipe kedelai tersebut terhadap penyakit karat adalah sama berdasarkan metode IWGSR. Hasil pengamatan pada 1 dan 2 MSI memperlihatkan bahwa seluruh genotipe kedelai tergolong tahan,

tetapi pada pengamatan minggu berikutnya terjadi perubahan reaksi 10 genotipe kedelai terhadap penyakit karat. Seluruh genotipe kedelai menunjukkan reaksi agak tahan pada 3 MSI (Tabel 3). Hal ini berarti telah terjadi perkembangan dan penyebaran penyakit karat di lokasi penelitian.

Semua karakter pada 10 genotipe yang diamati menunjukkan berbeda sangat nyata (Tabel 4). Pada karakter umur berbunga, aksesori MLGG 0005 merupakan genotipe yang lambat berbunga, diikuti oleh Tanggamus, Wilis, dan Dering 1. Pada karakter hasil biji, varietas Wilis dan Dering 1 merupakan genotipe dengan bobot biji per tanaman tertinggi, dan berbeda sangat nyata dengan aksesori MLGG 0005 dan Tanggamus.

Meskipun seluruh genotipe kedelai tergolong agak tahan, namun infeksi penyakit karat yang terjadi mampu mempengaruhi hasil biji dari genotipe-genotipe yang diuji, terutama pada aksesori MLGG 0005 dan varietas Tanggamus. Kedua genotipe tersebut memiliki bobot biji per tanaman terendah, berturut-turut 2.96 dan 3.55 g. Hal ini kemungkinan dipengaruhi oleh

Tabel 1 Hubungan antara reaksi penyakit dan skor IWGSR pada karat kedelai

Reaksi penyakit	Skor IWGSR
Sangat tahan	111
Tahan	122, 123, 132, 133, 222, 223
Agak tahan	142, 143, 232, 233, 242, 243, 322, 323
Agak rentan	332, 333
Rentan	343

Tabel 2 Jumlah pustul karat dari 10 genotipe kedelai selama 3 kali pengamatan

Genotipe	Jumlah pustul karat								
	1 MSI			2 MSI			3 MSI		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
MLGG 0005	4	3	3	14	9	9	14	9	9
MLGG 0253	5	5	3	8	12	9	10	17	12
MLGG 0465	3	2	3	18	10	7	20	11	9
MLGG 0470	3	4	3	9	7	10	12	8	14
Argomulyo	2	3	4	13	10	12	13	10	12
Tanggamus	3	3	4	13	12	8	14	12	10
Wilis	3	3	4	14	11	14	14	11	14
Burangrang	4	3	3	14	11	6	15	11	9
Grobogan	4	4	3	16	8	7	16	9	11
Dering 1	3	3	4	13	8	7	13	10	10

umur berbunga. Kedua genotipe tersebut termasuk kedelai yang lambat berbunga. MLGG 0005 berbunga pada 45 hari setelah tanam (HST), sedangkan Tanggamus berbunga pada 42 HST.

Tidak semua genotipe kedelai yang diuji terpengaruh oleh infeksi penyakit karat. Hal ini terlihat pada varietas Wilis dan Dering 1. Kedua genotipe tersebut memiliki hasil biji tertinggi, masing-masing sebesar 7.15 dan 5.21 g per tanaman (Tabel 4). Selain berproduksi tinggi, kedua varietas tersebut memiliki penampilan yang lebih baik dibandingkan dengan genotipe lainnya. Kedelai varietas Wilis memiliki penampilan tertinggi (51.72 cm) dengan jumlah cabang, buku subur, dan polong isi terbanyak (berturut-turut 4.06 cabang, 22.28 buku subur, dan 48.11 polong). Sementara itu, Dering 1 memiliki tinggi

49.28 cm dengan 3.56 cabang, 20.00 buku subur, dan 40.89 polong isi (Tabel 4).

PEMBAHASAN

Masa inkubasi penyakit karat pada penelitian ini sedikit lebih lama jika dibandingkan dengan hasil penelitian di Afrika. Twizeyimana *et al.* (2007) menemukan bahwa di Nigeria membutuhkan 5–7 HSI untuk muncul gejala penyakit karat pada permukaan daun kedelai. Sementara di Uganda, Maphosa *et al.* (2013) melaporkan gejala penyakit karat mulai terlihat sejak 4–5 HSI. Perbedaan ini disebabkan oleh faktor lingkungan. Selama penelitian, kelembapan udara berkisar antara 56–81% dengan suhu antara 22–31 °C. Kondisi lingkungan seperti ini secara teori kurang mendukung spora cendawan karat

Tabel 3 Skor dan kategori ketahanan 10 genotipe kedelai terhadap penyakit karat

Genotipe	1 MSI		2 MSI		3 MSI	
	Skor	Kategori	Skor	Kategori	Skor	Kategori
MLGG 0005	122	T	132	T	233	AT
MLGG 0253	122	T	132	T	233	AT
MLGG 0465	122	T	132	T	233	AT
MLGG 0470	122	T	132	T	233	AT
Argomulyo	122	T	132	T	233	AT
Tanggamus	122	T	132	T	233	AT
Wilis	122	T	132	T	233	AT
Burangrang	122	T	132	T	233	AT
Grobogan	122	T	132	T	233	AT
Dering 1	122	T	132	T	233	AT

T, tahan, AT, agak tahan

Tabel 4 Hasil dan komponen hasil 10 genotipe kedelai setelah diinokulasi cendawan karat

Genotipe	Umur berbunga	Tinggi tanaman (cm)	Jumlah cabang	Jumlah buku subur	Jumlah polong isi	Bobot biji per tanaman (g)
MLGG 0005	45.00 a	57.39 a	3.17 abc	19.39 ab	38.56 ab	2.96 e
MLGG 0253	38.67 cd	48.00 bc	3.50 ab	20.55 a	45.22 a	4.67 bcd
MLGG 0465	33.33 ef	42.22 cde	3.39 ab	17.56 abc	39.78 ab	4.71 bcd
MLGG 0470	33.00 f	35.56 e	0.61 e	8.00 e	14.83 c	3.94 cde
Argomulyo	33.00 f	37.83 de	1.83 cde	10.78 de	22.56 c	4.97 bc
Tanggamus	42.00 b	42.56 cde	2.28 bcd	14.94 bcd	29.11 bc	3.55 de
Wilis	40.33 bc	51.72 ab	4.06 a	22.28 a	48.11 a	7.15 a
Burangrang	36.00 de	45.78 bcd	1.55 de	11.55 de	27.50 bc	3.75 de
Grobogan	33.00 f	42.11 cde	1.83 cde	13.61 cd	27.11 bc	4.31 bcd
Dering 1	40.33 bc	49.28 abc	3.56 ab	20.00 ab	40.89 ab	5.21 b

Angka pada kolom yang sama dan diikuti oleh huruf yang sama berbeda tidak nyata berdasarkan uji BNT pada taraf 5 %

untuk berkecambah dan tumbuh optimal. Perkecambahan spora dan perkembangan penyakit karat optimal pada kelembapan udara 85% (Twizeyimana dan Hartman 2010) selama 14 jam (Nunkumar *et al.* 2009), dengan suhu 17–28 °C (Bonde *et al.* 2007; Del Ponte dan Esker 2008). Jika dibandingkan dengan kondisi optimal yang dibutuhkan penyakit karat untuk berkembang, terlihat bahwa kelembapan udara pada penelitian ini terlalu rendah dengan suhu terlalu tinggi. Hal ini menyebabkan gejala penyakit karat tampak terlihat setelah 1 MSI.

Inokulasi yang dilakukan mampu memunculkan respons yang berbeda di antara genotipe kedelai meskipun masa inkubasi penyakit karat sedikit terlambat. Perbedaan reaksi genotipe kedelai juga dilaporkan oleh Pham *et al.* (2009) dan Twizeyimana *et al.* (2008). Menurut Pham *et al.* (2010), genotipe-genotipe kedelai yang belum teridentifikasi gen-gen ketahanannya, dapat dimanfaatkan untuk studi ketahanan dan sebagai sumber gen ketahanan pada perakitan varietas kedelai tahan terhadap penyakit karat.

Perubahan reaksi ketahanan antara 1 dan 2 MSI dengan hasil pada 3 MSI terjadi karena spora *P. pachyrhizi* membutuhkan waktu untuk berkecambah dan membentuk spora baru. Marchetti *et al.* (1975) menyebutkan bahwa hifa membutuhkan 5–7 hari untuk memproduksi uredinium dan 10–20 hari untuk menghasilkan spora baru. Perbedaan reaksi ketahanan pada 3 kali pengamatan ini dapat dimanfaatkan oleh pemulia tanaman untuk menentukan waktu yang tepat melakukan seleksi.

Hasil biji yang rendah pada genotipe MLGG 0005 dan Tanggamus diduga berkaitan dengan interaksi antara infeksi penyakit karat dengan umur berbunga. Menurut Kumudini *et al.* (2008), infeksi penyakit karat yang terjadi pada fase R2 (berbunga penuh) akan menyebabkan kehilangan hasil sebesar 66–68%. Pada penelitian ini, ketika MLGG 0005 dan Tanggamus memasuki fase R2, spora cendawan karat yang diinokulasikan telah memasuki minggu ke-3. Artinya, pustul penyakit karat pada kedua genotipe tersebut

telah berkembang optimal dan menutupi sebagian besar permukaan daun sehingga mengganggu proses fotosintesis dan mengurangi hasil fotosintat untuk pengisian biji. Hal inilah yang menyebabkan rendahnya hasil biji pada kedua genotipe tersebut. Kekecualian hubungan antara umur berbunga, infeksi penyakit karat dan hasil biji ditunjukkan oleh varietas Wilis dan Dering 1. Walaupun kedua varietas tersebut berbunga pada 40 HST, tetapi mampu menghasilkan biji yang banyak, sehingga kedua genotipe tersebut memiliki toleransi terhadap infeksi penyakit karat.

Tingginya hasil biji pada varietas Wilis dan Dering 1 didukung oleh penampilan tanaman yang baik. Kedua varietas tersebut memiliki penampilan tanaman yang tinggi dengan banyak jumlah cabang, buku subur, dan polong isi. Oz *et al.* (2009) menemukan bahwa jumlah polong berkorelasi dengan hasil biji dan memberikan pengaruh langsung yang positif. Valencia-Ramirez dan Ligarreto-Moreno (2012) menambahkan bahwa jumlah polong yang banyak ditentukan oleh jumlah buku yang banyak.

Penampilan tanaman yang tinggi pada varietas Wilis dan Dering 1 ikut mempengaruhi kedua genotipe tersebut terhindar dari infeksi penyakit karat yang berkelanjutan. Terdapat korelasi negatif ($r = -0.118$, $P > 0.05$) antara tinggi tanaman dengan jumlah pustul pada 3 MSI. Artinya, semakin tinggi tanaman semakin sedikit jumlah pustul. Cendawan *P. pachyrhizi* tidak memiliki mekanisme penyebaran spora yang aktif, sehingga angin mempunyai peranan penting untuk menyebarkan dan mengangkat spora keluar dari kanopi (Isard *et al.* 2005). Oleh karena itu, dibutuhkan angin yang cukup kencang untuk menyebarkan spora karat pada genotipe kedelai dengan penampilan tanaman yang tinggi.

Sepuluh genotipe kedelai yang diuji tergolong agak tahan terhadap penyakit karat, dan hanya varietas Wilis dan Dering 1 yang menghasilkan biji terbanyak karena mempunyai penampilan tanaman yang tinggi dan jumlah cabang, buku subur serta polong isi yang banyak.

DAFTAR PUSTAKA

- Bonde MR, Berner DK, Nester SE, Frederick RD. 2007. Effects of temperature on urediniospore germination, germ tube growth, and initiation of infection in soybean by *Phakopsora* isolates. *Phytopathology*. 97(8):997–1003. DOI: <http://dx.doi.org/10.1094/PHYTO-97-8-0997>.
- Del Ponte EM, Esker PD. 2008. Meteorological factors and asian soybean rust epidemics—a systems approach and implications for risk assessment. *Sci Agric*. 65:88–97. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-90162008000700014>.
- Formento AN. 2008. Epidemiology of Asian soybean rust (*Phakopsora pachyrhizi*), range of hosts and management in the Pampa region of Argentina. Di dalam: Suenaga K, Kudo H, Oshio S, editor. *Comprehensive studies on the development of sustainable soybean production technology in South America*. Tsukuba (JP): JIRCAS. Hlm 6–13
- Garcia A, Calvo ES, Kiihl RAS, Harada A, Hiromoto DM, Vieira GE. 2008. Molecular mapping of soybean rust (*Phakopsora pachyrhizi*) resistance genes: discovery of a novel locus and alleles. *Theor Appl Genet*. 117(4):545–553. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s00122-008-0798-z>.
- Isard SA, Gage SH, Comtois P, Russo JM. 2005. Principles of the atmospheric pathway for invasive species applied to soybean rust. *Bio Sci*. 55(10):851–861. DOI: [http://dx.doi.org/10.1641/0006-3568\(2005\)055\[0851:POTAPF\]2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1641/0006-3568(2005)055[0851:POTAPF]2.0.CO;2).
- Kumudini S, Godoy CV, Board JE, Omielan J, Tollenaar M. 2008. Mechanisms involved in soybean rust-induced yield reduction. *Crop Sci*. 48:2334–2342. DOI: <http://dx.doi.org/10.2135/cropsci2008.01.0009>.
- Maphosa M, Talwan H, Tukamuhabwa P. 2013. Assessment of comparative virulence and resistance in soybean using field isolates of soybean rust. *J Agric Sci*. 5(5):249–257. DOI: <http://dx.doi.org/10.5539/jas.v5n5p249>.
- Marchetti MA, Uecker FA, Bromfield KR. 1975. Uredial development of *Phakopsora pachyrhizi* in soybeans. *Phytopathology*. 65:822–823. DOI: <http://dx.doi.org/10.1094/Phyto-65-822>.
- Miles MR, Frederick RD, Hartman GL. 2003. Soybean rust: is the US soybean crop at risk?. <http://www.apsnet.org/publications/apsnetfeatures/Pages/SoybeanRust.aspx> [diakses 11 Des 2015].
- Nunkumar A, Caldwell PM, Pretorius ZA. 2009. Development of *Phakopsora pachyrhizi* on soybean at controlled temperature, relative humidity and moisture periods. *South Afr J Plant Soil*. 26(4):225–230. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/02571862.2009.10639959>.
- Oz M, Karasu A, Goksoy AT, Turan ZM. 2009. Interrelationship of agronomical characteristic in soybean (*Glycine max*) grown in different environments. *Int J Agric Biol*. 11:85–88.
- Pham TA, Hill CB, Miles MR, Nguyen BT, Vu TT, Vuong TD, VanToai TT, Nguyen HT, Hartman GL. 2010. Evaluation of soybean for resistance to soybean rust in Vietnam. *Field Crop Res*. 117:131–138. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.fcr.2010.02.011>.
- Pham TA, Miles MR, Frederick RD, Hill CB, Hartman GL. 2009. Differential responses of resistant soybean entries to isolates of *Phakopsora pachyrhizi*. *Plant Dis*. 93(3):224–228 DOI: <http://dx.doi.org/10.1094/PDIS-93-3-0224>.
- Tukamuhabwa P, Maphosa M. 2010. *State of knowledge on breeding for durable resistance to soybean rust disease in the developing world*. Rome (IT): FAO.
- Twizeyimana M, Hartman GL. 2010. Culturing *Phakopsora pachyrhizi* on detached leaves and urediniospore survival at different temperatures and relative humidities. *Plant Dis*. 94(12):1453–1460. DOI: <http://dx.doi.org/10.1094/PDIS-02-10-0131>.
- Twizeyimana M, Ojiambo PS, Ikotun T, Ladipo JL, Hartman GL, Bandyopadhyay R. 2008. Evaluation of soybean germplasm for resistance to soybean rust (*Phakopsora pachyrhizi*) in Nigeria. *Plant*

- Dis. 92(6):947–952 DOI: <http://dx.doi.org/10.1094/PDIS-92-6-0947>.
- Twizeyimana M, Ojiambo PS, Ikotun T, Paul C, Hartman GL, Bandyopadhyay R. 2007. Comparison of field, greenhouse, and detached-leaf evaluation of soybean germplasm for resistance to *Phakopsora pachyrhizi*. *Plant Dis.* 91(9):1161–1169 DOI: <http://dx.doi.org/10.1094/PDIS-91-9-1161>.
- Valencia-Ramirez RA, Ligarreto-Moreno GA. 2012. Phenotypic correlation and path analysis for yield in soybean (*Glycine max* (L.) Merrill). *Acta Agron.* 61(4):322–332.
- Yorinori JT, Paiva WM, Frederick RD, Costamilan LM, Bertagnolli PF, Hartman GE, Godoy CV, Nunes Jr J. 2005. Epidemics of soybean rust (*Phakopsora pachyrhizi*) in Brazil and Paraguay from 2001 to 2003. *Plant Dis.* 89(6):675–677 DOI: <http://dx.doi.org/10.1094/PD-89-0675>.